

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**Marcelo Medeiros Pereira**

***OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY: ESTUDO DE CASO A PARTIR  
DA PREVISÃO APLICADA AO PROCESSO DE GESTÃO E FALHAS***

Santa Maria, RS  
2018

**Marcelo Medeiros Pereira**

***OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY: ESTUDO DE CASO A PARTIR DA  
PREVISÃO APLICADA AO PROCESSO DE GESTÃO E FALHAS***

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título **de Mestre em Engenharia de Produção**.

**Orientador: Prof. Dr. Adriano Mendonça Souza**

Santa Maria, RS  
2018

Medeiros Pereira, Marcelo  
OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY: ESTUDO DE CASO A PARTIR  
DA PREVISÃO APLICADA AO PROCESSO DE GESTÃO E FALHAS /  
Marcelo Medeiros Pereira.- 2018.  
92 p.; 30 cm

Orientador: Adriano Mendonça Souza  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, RS, 2018

1. Paradas de Produção 2. Série Intermitente 3. Modelo  
de Croston 4. Modelos AR - ARCH I. Mendonça Souza, Adriano  
II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Marcelo Medeiros Pereira. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Pedro Santini, n. 3497, Bairro Cerrito, Santa Maria, RS. CEP: 97060-480

Fone (0xx)55 999612573; E-mail: [professormarcelomedeiros@gmail.com](mailto:professormarcelomedeiros@gmail.com)

**Marcelo Medeiros Pereira**

***OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY: ESTUDO DE CASO A PARTIR DA  
PREVISÃO APLICADA AO PROCESSO DE GESTÃO E FALHAS***

Dissertação apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Aprovado em 2 de março de 2018:**

---

**Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Roselaine Ruviaro Zanini, Dra. (UFSM)**

---

**Lorena Vicini, Dra. (UFFS)**

Santa Maria, RS  
2018

## **DEDICATÓRIA**

A todas as pessoas que torceram e vibraram com minhas vitórias, sem elas não haveria motivação para seguir em frente, principalmente, aquelas que fazem parte da minha família.  
Amo vocês.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que iluminou meu caminho durante esta árdua jornada, dando serenidade aos meus pensamentos, direcionando todas as minhas decisões com muita sabedoria.

Agradeço, a minha família, que acreditou na minha vitória, mesmo ausente do convívio familiar, sempre estiveram ao meu lado, em especial aos meus pais, Rogério de Alvarenga Pereira e Genilda Medeiros Pereira. Em especial a minha avó Geny da Silva Medeiros, que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida, e que hoje cuida de mim lá do céu, tenha certeza que contribuiu muito para formação da pessoa que sou hoje, por meio dos seus ensinamentos e exemplos.

Agradeço a Professora Roselaine Ruviano Zanini por sua recepção no PPGEP, sempre incentivando seus alunos com grande carinho e generosidade. Levarei para minha vida docente todas as alegrias compartilhadas durante as aulas e o convívio no Laboratório de Análise e Modelagem Estatística, além do grande exemplo de conduta docente.

Agradeço ao Professor Adriano Mendonça Souza, por ter aceitado ser meu orientador, sempre incentivando o desenvolvimento de pesquisas de grande impacto. Agradeço pelos ensinamentos transmitidos, indispensáveis ao desenvolvimento desse trabalho. E, principalmente, por todo carinho e amizade demonstrado durante o mestrado que foram fundamentais para motivação e conclusão do estudo apresentado nesta dissertação.

Aos amigos, mesmo que em vários momentos de ausência, tiveram compreensão e me auxiliaram em todos os momentos. Em especial, a minha amiga Tanise Possobon, por sua generosidade em dividir o conhecimento em pesquisa. Agradeço seus incentivos para participar da seleção do mestrado, sentirei falta do teu abraço no dia da minha defesa, mas tenho certeza que estarás assistindo no céu junto às estrelas.

Agradeço ao Diego Marques Gonçalves, por sua paciência, lealdade, compreensão, sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e conturbados da minha vida, demonstrando o real significado do amor e carinho.

## RESUMO

### ***OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY: ESTUDO DE CASO A PARTIR DA PREVISÃO APLICADA AO PROCESSO DE GESTÃO E FALHAS***

AUTOR: Marcelo Medeiros Pereira  
ORIENTADOR: Dr. Adriano Mendonça Souza

Para desenvolver o diferencial competitivo, as empresas precisam identificar as oportunidades no processo de produção, por meio do desenvolvimento de novas concepções para as estratégias de gestão, utilizando a informação em todos os seus níveis hierárquicos, para ter conhecimento pleno dos gargalos no processo fabril. Isso é possível a partir de uma sólida gestão empresarial, cujo objetivo é potencializar os investimentos realizados pela organização. A implantação de melhorias contínuas no processo de produção, conjuntamente com a utilização de ferramentas que visam auxiliar a tomada de decisão, por meio do fornecimento de informações capazes de permitir o gerenciamento da produção em tempo real, possibilitam a empresa melhorar seu gerenciamento da capacidade de produção evitando o impacto financeiro que paradas de fabricação não planejadas podem ocasionar. Dessa forma, este estudo objetivou avaliar o comportamento dos registros horários de paradas de produção, em uma série intermitente com presença de volatilidade, de uma indústria de fabricação de bebidas, por meio da utilização de modelos econométricos, aplicada em conjunto à análise da eficiência global dos equipamentos, no período de 2012 a 2016. Os dados foram obtidos dos relatórios técnicos utilizados pela empresa para gestão das suas linhas de envase, por meio de uma série temporal intermitente, ajustada pelo método de Croston, objetivando preencher a série intermitente para os valores iguais a zero. Utilizou-se para previsão o modelo AR(1) – ARCH(1), sendo o melhor ajuste entre os modelos investigados para os registros horários de parada de máquina, podendo ser utilizado como referência para indústrias que possuem séries intermitentes para gestão de falhas. A eficiência global dos equipamentos e produtividade do período, foram afetadas pela variabilidade nas paradas de produção no parque de máquinas.

**Palavras-chave:** Modelos AR –ARCH. Série Intermitente. Parada de Produção

## ABSTRACT

### ***OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY: CASE STUDY FROM FORECAST APPLIED TO MANAGEMENT AND FAILURE PROCESS***

AUTHOR: Marcelo Medeiros Pereira  
ADVISOR: Dr. Adriano Mendonça Souza

To develop or differentiate competitively, companies need to identify production opportunities, to develop new conceptions for management strategies, using information from all hierarchical levels, to fully understand their processes. This is possible from a business enterprise, with the purpose of boosting the investments by the organization. The implementation of a law continued in the process of production, together with the use of tools that aim to aid decision making, by providing information the possibility of production. Thus, this study aimed to analyze the behavior of the records from production stops, in an intermittent series with presence of volatility, to issue an opinion about the beverage industry, through the use of econometric models, applied in conjunction with the analysis of overall efficiency. of the equipment, in the period from 2012 to 2016. The data were sent to the intermittent time, adjusted by the Croston method, aiming to fill an intermittent series for the values equal to zero. It was used to predict the AR (1) - ARCH (1) model, being the best fit between the investigated models for the machine shutdown times records, and it can be considered as a reference for industries that there are intermittent series for the fault management. The overall efficiency of the equipment and products of the period were affected by the variability in the production stops in the machine park.

**Keywords:** AR-ARCH models. Intermittent Series. Production stop



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índices de Expectativa.....	18
Figura 2 - Causas da perda da eficiência.....	31
Figura 3 - Eficiência global dos equipamentos (OEE).....	33
Figura 4 - Observações de uma série temporal com previsões de origem (t) e horizonte (h).....	36
Figura 5 - Decomposição da série temporal.....	37
Figura 6 - Método Box-Jenkins.....	43
Figura 7 - Séries estacionárias e não-estacionárias.....	44
Figura 8 - Séries com volatilidade.....	51
Figura 9 - <i>Status</i> do grupo de máquinas.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	<i>Akaike Information Criterion</i>
ANFIS	<i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i>
AR	Autorregressivo
ARCH	Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva
ARIMA	Autorregressivo Integrado de Média Móvel
ARMA	Autorregressivo de Média Móvel
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
CIP	Custos Fixos de Produção
CNI	Confederação Nacional da Indústria
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FAC	Função de Autocorrelação
FACP	Função de Autocorrelação Parcial
MA	Média Móvel
MAE	Erro Absoluto Médio
MAPE	Erro Percentual Absoluto Médio
MME	Ministério Minas e Energia
MQ	Mínimos Quadrados
MQE	Erro Quadrático Médio
MV	Máxima Verossimilhança
OEE	<i>Overall Equipment Efficiency</i>
PIB	Produto Interno Bruto
RMSE	Raiz do Erro Quadrático Médio
TPM	Manutenção Produtiva Total
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
1.1	TEMA DA PESQUISA.....	10
1.2	JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DA PESQUISA.....	10
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.4	OBJETIVOS.....	11
<b>1.4.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>11</b>
1.5	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1	GESTÃO ESTRATÉGICA DA PRODUÇÃO E DA INFORMAÇÃO.....	13
2.2	ANÁLISE DE PERDAS SOB A ÓTICA DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL.....	19
<b>2.2.1</b>	<b>Indicadores de gestão desempenho industrial.....</b>	<b>27</b>
<i>2.2.1.1</i>	<i>Indicador de eficiência global de equipamentos.....</i>	<i>30</i>
2.3	MODELOS DE PREVISÃO.....	35
<b>2.3.1</b>	<b>Previsão Ingênua.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Modelo de médias móveis simples.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Modelo de alisamento exponencial simples.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Metodologia Box-Jenkins.....</b>	<b>42</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Modelo de Croston.....</b>	<b>47</b>
<b>2.3.6</b>	<b>Modelo ARCH.....</b>	<b>50</b>
2.4	CRITÉRIOS DE ACURÁCIA.....	52
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>ARTIGO: THE IMPORTANCE FOR THE DETERMINATION OF VOLATILITY IN INTERMITTENT SERIES OF PRODUCTION STOP TIMES.....</b>	<b>61</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>
	<b>APÊNDICE A - QUADRO DE PARÂMETROS DE SUAVIZAÇÃO PARA <math>\alpha</math> COM MENOR ERRO QUADRÁTICO MÉDIO.....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A economia globalizada e a grande competitividade do mercado impõe às indústrias maior adequação às exigências dos consumidores. Um dos desafios mais comuns para as organizações que pretendem permanecer ativas é atingir alto nível de produção com o mínimo de recursos possíveis. Para isso, Silva e Silva (2016) ressaltam que as organizações precisam criar sistemas sofisticados que permitam acesso a informações confiáveis, eliminando erros nos processos de produção, evitando interrupções nas áreas operacionais, reduzindo o tempo e o custo na gestão dos seus ativos.

O estudo macroeconômico realizado pelo Ministério Minas e Energia - MME (2016), com as perspectivas setoriais para a economia entre os anos 2016 a 2025, concluiu que a projeção para o desempenho da indústria de transformação será modesto neste período, com taxa média de 1,6% a.a.. O citado estudo ainda projeta para os primeiros cinco anos um crescimento baixo de 0,6% a.a. , impactado pelas condições internas desfavoráveis do país, e também, pelo impacto direto da concorrência externa aliado a intensidade tecnológica do setor. Os resultados da pesquisa da Confederação Nacional da Indústria – CNI (2016) corroboram com as perspectivas apontadas pelo MME, quando

evidenciam que a indústria de transformação brasileira está utilizando, em média, 76,6% da sua capacidade instalada, representando uma redução de 8,4% na produção física no país.

Diante disso, Guimarães et al. (2015) destacam que a gestão das indústrias brasileiras deve estar alicerçada em ferramentas que possibilitem auxílio no processo de tomada de decisão para cenários competitivos e que forneça aos seus administradores conhecimentos para avaliação de ambientes em crise, identificando estratégias que proporcionem melhores oportunidades no segmento. O aprimoramento da gestão, controle e redução de custos são relevantes para garantir as margens de lucro e também permitir maior competitividade no mercado. As contribuições de Silva e Lins (2014) enfatizam que economias de livre concorrência e aumentos nos preços refletem de forma negativa no volume de vendas, direcionando para busca de informações gerenciais que possam contribuir para a redução dos custos e, assim, aumentar os lucros.

Estas informações devem contribuir para a gestão das perdas de produção, visto ao seu reflexo no resultado das empresas. A identificação e mensuração de suas causas são fatores estratégicos para o desenvolvimento do planejamento da organização, principalmente quando

se referem às perdas ocasionadas por falhas no parque de máquinas que reduzem a produtividade e aumentam os custos de produção. Modgil e Sharma (2016) apontam que as organizações têm inserido o exame das atividades de manutenção a fim de melhorar o desempenho, reunindo esforços para otimizar a produtividade, qualidade e a redução dos seus custos de produção.

Para Becker, Borst e Van der Veen (2015), medir continuamente a eficácia dos equipamentos permite melhor monitoramento da produção pelos gestores, possibilitando traçar ações ágeis em eventuais distúrbios do processo e também para estabelecer programas de melhoria contínua de médio e longo prazo. Na visão dos citados autores, o indicador desempenho representa o quão bem uma máquina está realizando sua função durante um intervalo de tempo.

Em consequência, a avaliação da eficiência possui destaque para correção de falhas e desenvolvimento de planos de melhoria contínua nos processos de fabricação. Assim, manutenção produtiva total requer medidas de desempenho adequadas para quantificar estas melhorias. Na contribuição de Wudhikarn (2016), a medida de desempenho chamada eficiência global dos equipamentos (*OEE – Overall Equipment Efficiency*) permite medir diretamente a eficácia de uma máquina, utilizada para avaliar o desempenho dos equipamentos e atividades do processo fabril.

Diante do alto custo que as paradas de máquinas ocasionadas por falhas durante o processo de fabricação representam para as indústrias, faz-se necessário utilizar a modelagem econométrica para implementação de melhorias no processo produtivo, visando identificar as principais causas das paradas de produção e evidenciar seu impacto financeiro por meio da análise da eficiência global dos equipamentos (*OEE – Overall Equipment Efficiency*). Entre as várias metodologias existentes para investigações e análise de séries temporais, Rossi e Neves (2014) destacam a abordagem de Box e Jenkins que procura utilizar na representação de uma série histórica, modelos matemáticos parcimoniosos, que busquem captar o comportamento da correlação e autocorrelação dos dados, com intuito de realizar previsões futuras.

O uso da previsão estatística como ferramenta de apoio a tomada de decisão contribui para o gerenciamento do plano de manutenção e definições de estratégias para propor medidas preventivas à ocorrência de falhas no processo produtivo, reduzindo os custos e ampliando a capacidade de produção. Difundir e ampliar o uso da modelagem, a partir da análise de indicadores de eficiência, permite a discussão de novos métodos para gerenciamentos de falhas e contribui para a implantação de melhorias na gestão industrial.

## 1.1 TEMA DA PESQUISA

Esta pesquisa possui como temática o uso da modelagem econométrica aplicada à gestão de falhas em equipamentos da linha de produção automatizada de alta velocidade de processamento utilizada para fabricação de bebidas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

Para atender às necessidades e anseios dos consumidores, as indústrias de transformação precisam realizar grandes investimentos em ativos fixos para cumprir os requisitos mínimos impostos pelo mercado como a qualidade e baixo preço de venda. Isso se faz possível a partir de uma sólida gestão empresarial, cujo objetivo é potencializar os investimentos realizados pela organização.

A implantação de melhorias contínuas no processo de fabricação, conjuntamente com a utilização de ferramentas que visam auxiliar a tomada de decisão, através do fornecimento de informações capazes de permitir o gerenciamento do chão de fábrica em tempo real, possibilitam a empresa melhorar seu gerenciamento da capacidade de produção evitando o impacto financeiro que paradas não planejadas podem ocasionar.

Muitos estudos abordam as contribuições dos indicadores para a eficiência global dos equipamentos (OEE – *Overall Equipment Efficiency*), ressaltando as evoluções obtidas nos processos produtivos após sua implementação nas plantas industriais, principalmente relacionados aos ganhos nas taxas de desempenho, disponibilidade e qualidade. As pesquisas que adotam o OEE como indicador estratégico para a gestão industrial visam obter informações para identificar as discrepâncias operacionais e traçar ações para atingir o desempenho ótimo dos equipamentos, facilitando o gerenciamento da produção.

A importância do estudo reside nas oportunidades para implantação de melhorias no plano de manutenção, a partir do desenvolvimento de estratégias preventivas que reduzam os custos de parada e manutenção, possibilitando aos gerentes a criação de novas ferramentas para monitorar as perdas, retrabalhos, máquinas paradas e velocidades reduzidas. Este trabalho pretende propor novas reflexões sobre a combinação de modelos de previsão e seus impactos na gestão de falhas de equipamentos industriais.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A formulação do problema de pesquisa pode se dar por meio de um processo contínuo de questionar e responder, sendo formulado de maneira clara e concisa, fundamentado na literatura da pesquisa (MOREIRA E CALEFFE, 2008).

Neste estudo, o intuito é ajustar o melhor modelo de previsão de falhas em máquinas de uma indústria de bebidas na região central do Rio Grande do Sul e identificar como podem contribuir para a gestão de falhas e melhorias na eficiência global dos equipamentos. Os estudos desenvolvidos sobre OEE buscam identificar a contribuição deste para implantação de melhorias no processo produtivo. Contudo, os resultados apresentados por outros pesquisadores em seus estudos revelam que apenas o indicador não é suficiente para potencializar a gestão industrial, sendo necessário difundir o uso da previsão aliado a OEE para apoio a decisão.

### 1.4 OBJETIVOS

Para Moreira e Caleffe (2008) os objetivos de uma pesquisa são o seu propósito investigativo que estão focados em um assunto específico para evidenciar uma nova informação. A seguir, são apresentados os objetivos do projeto, partindo do objetivo geral para os objetivos específicos; relacionados a ele.

#### 1.4.1 Objetivo geral

Prever o tempo de paradas de produção, em série intermitente em uma indústria de fabricação de bebidas, por meio da utilização de modelos econométricos, aplicados em conjunto à análise da eficiência global dos equipamentos (OEE – *Overall Equipment Efficiency*).

#### 1.4.2 Objetivos específicos

Para o alcance do objetivo geral e desenvolvimento da pesquisa, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- i) Inserção de dados intermitentes por meio do método Croston;
- ii) Realizar modelagem ARIMA para obter horizonte de previsão de 24h;

- iii) Ajustar uma modelagem ARIMA-ARCH com intuito de estimar a volatilidade do processo em estudo;
- iv) Analisar o impacto das paradas de produção na eficiência global dos equipamentos e produtividade da indústria.

## 1.5 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Na ótica de Moreira e Caleffe (2008), a delimitação do problema possui relação com os meios disponíveis para investigação. Ocorre quando um processo é muito amplo para ser examinado nas diversas situações possíveis em que pode ocorrer, sendo necessário selecionar um processo específico que será objeto de estudo.

A partir do problema exposto, serão analisadas as séries temporais intermitentes referentes aos tempos de paradas de máquinas e identificando como podem contribuir para a gestão de falhas e melhorias na eficiência global dos equipamentos, ajustando o melhor modelo de previsão linha de produção automatizada de alta velocidade de processamento utilizada para fabricação de bebidas

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa foi estruturada em cinco capítulos conforme apresentação que segue: no primeiro é apresentado a introdução; o tema da pesquisa; a justificativa e a importância do trabalho; o problema de pesquisa; o objetivo geral e objetivos específicos; a delimitação do tema e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo o referencial teórico é explorado, por meio de uma revisão da literatura e citações de autores que trabalham com a temática. Com isso, o capítulo dois demonstra a importância da análise econômica sobre o assunto.

O terceiro capítulo contempla os materiais e métodos utilizados para desenvolver o trabalho.

No quarto capítulo apresenta-se o Artigo: A importância para a determinação da volatilidade em séries intermitentes dos tempos de parada de produção.

O capítulo quinto é composto pela conclusão da dissertação.

Finalize-se o trabalho com a apresentação das referências bibliográficas utilizadas.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo estão descritos os estudos necessários para a efetivação da pesquisa em questão. Na contribuição de Moreira e Caleffe (2008), o referencial teórico ajuda enfocar mais diretamente o problema de pesquisa, assim como, permite identificar as principais tendências de pesquisa na área de interesse e conceitos importantes que estão sendo utilizados.

### 2.1 GESTÃO ESTRATÉGICA DA PRODUÇÃO E DA INFORMAÇÃO

Na incessante busca pela otimização dos resultados, muitas vezes, as empresas enfrentam momentos de crise e estagnação do mercado, como ocorre atualmente nos diversos setores da economia brasileira, influenciados pela falta de credibilidade no governo e o colapso econômico. Esses momentos são decisivos para o desenvolvimento de estratégias que possam assessorar os gestores na percepção de oportunidades no mercado. Nunes (2011) corrobora com esta reflexão, em sua análise histórica, quando em 1950 o consultor americano Edward Deming foi ao Japão contribuir para o esforço de recuperação da economia no país. Deming trabalhou na Toyota Motor Company com o desenvolvimento de controles estatísticos da qualidade para indústria, que auxiliaram na redução das perdas do processo produtivo, através de uma minuciosa análise nas variações das especificações de qualidade dos produtos, diminuindo o número de itens danificados, oportunizando a unidade industrial capacidade para atingir seus objetivos com alto padrão de qualidade (NUNES, 2011).

Com isso, percebe-se a importância da gestão em ambientes em crise e a relevância da informação como fonte subsidiária para o processo de tomada decisão. Silva e Silva (2016) ressalta que o mundo globalizado vem presenciando relevantes transformações no panorama econômico, principalmente no que tange ao desenvolvimento de novas tecnologias. Nesse cenário, a informação torna-se recurso vital para adaptação às constantes mudanças. Além disso, os autores destacam que o setor industrial utiliza grande volume de informação, tornando viável o estudo desse recurso, no que diz respeito aos seus aspectos e ao papel que desempenha na gestão do processo produtivo. (SILVA E SILVA, 2016)

Na ótica de Oliveira, Perez Jr. e Silva (2015), o processo de gestão precisa ser alimentado por informações prospectivas e qualitativas, que devem ser obtidas no ambiente operacional da empresa, para promover mudanças e o desenvolvimento de estratégias vantajosas em novos mercados. Estas informações são vistas como um processo de

aprendizagem sistemática preocupada em modelar o futuro, tendo como vantagem competitiva o aperfeiçoamento da capacidade dos gestores em perceber e compreender as mudanças do ambiente e o desenvolvimento de estratégias.

Para Rajarathinam, Chellappa, Nagarajan (2015), estratégia é integrar as atividades organizacionais e alocar os recursos dentro do ambiente empresarial de modo que possibilite o alcance dos objetivos conforme as necessidades atuais. Ao planejar uma estratégia, é essencial considerar que as decisões englobem todas as possibilidades de mudanças no ambiente com o qual a organização se relaciona. Estas transformações no ambiente sempre tiveram como base a informação estratégica, conforme exemplifica Nunes (2011), a partir do século XVII, quando uma nova forma de fabricação começou a desenvolver-se e, conseqüentemente, um novo modelo de organizações produtivas denominadas indústrias surgiram e, ao mesmo tempo, novas necessidades de gestão, controle e planejamento emergiram na área de produção. O conjunto dessas necessidades foram denominadas de gestão de produção e operações, possuindo como objetivos principais planejar e controlar o processo de fabricação e transformar matérias-primas em produtos (NUNES, 2011).

A partir desta reflexão histórica, percebe-se que as organizações sempre fizeram uso da informação para a evolução dos seus processos de gestão, construindo conhecimento, criando e ampliando suas competências na direção de soluções de problemas, integrando novos métodos e ferramentas estratégicas para gestão. Para Oliveira, Perez Jr. e Silva (2015), as mudanças requerem a potencialização do desempenho e controle empresarial, visando auxiliar os gestores com informações estratégicas que fazem parte do modelo de gestão que representará os princípios básicos norteadores da organização, servindo como base para os processos de planejamento, controle e tomada de decisão. O último, por sua vez, sofrerá influências das informações na elaboração de planos e no direcionamento das decisões para o futuro que, do ponto de vista de Hansen e Fulglsang (2014), deverá ser apoiado por técnicas de previsão garantindo maior assertividade no processo de gestão.

Conforme Rajarathinam, Chellappa, Nagarajan (2015), o processo de gestão refere-se ao planejamento e controle do desempenho ou execução de qualquer tipo de atividade. Os autores elencam como os três principais pilares deste processo a governança corporativa, a gestão estratégica e a tomada de decisão. Seu objetivo é garantir uma abordagem disciplinada e consistente para a análise e tomada de decisão. Estes pilares permitem o uso de um processo de pensamento lógico que é consistente com os objetivos da empresa.

A pesquisa de Silva e Silva (2016) em uma indústria de embalagens mostra que as informações internas e externas possuem várias funções operacionais, táticas e estratégicas dentro da organização, confirmando que a eficiência na gestão da informação possibilita a diminuição das incertezas no processo de tomada de decisão, facilita as definições de estratégias para inovação e competitividade e melhoram a utilização dos recursos no chão de fábrica. Na visão de Slack et al. (2010), as estratégias de produção precisam possuir um padrão global de decisões e ações para definir o papel, os objetivos e atividades de cada parte da produção de forma que apoiem e contribuam para as estratégias do negócio.

Neste contexto, Guimarães et al. (2015) ressaltam que as atividades de gestão, controle e redução de custos são fundamentais para assegurar as margens de lucro e também garantir a competitividade no mercado global. Os sistemas de custeio, que são formados por redes de informações sobre o processo produtivo, possibilitam a mensuração e controle do custo de produção dos diferentes bens de consumo. Segundo Mark, Ozer e Arindam (2013) a gestão e controle de custos em relação à produção é fundamental para o sucesso da empresa. O desenvolvimento dessa estratégia de gestão de custos requer a seleção e o apoio de um plano responsável por descrever: os recursos produtivos necessários, conciliar as necessidades da área comercial, adquirir matérias-primas, insumos e mão de obra, para assim, criar um diferencial competitivo em relação à concorrência (MARK, OZER e ARINDAM, 2013).

Para desenvolver o diferencial competitivo, as empresas precisam identificar as oportunidades no processo de produção, por meio do desenvolvimento de novas concepções para as estratégias de gestão, utilizando a informação em todos os seus níveis hierárquicos, para ter conhecimento pleno dos gargalos no processo fabril. Nunes (2011) complementa que a administração produtiva é uma atividade organizacional e necessita ser realizada de forma integrada às demais áreas da empresa, principalmente relacionada com os setores de finanças, marketing, vendas e desenvolvimento de produtos.

Para Ecobici, Dina e Busan (2014), a informação é necessária para que a tomada de decisão ocorra em todos os níveis da organização, levando em conta as perspectivas de curto e longo prazo. Os planos são implementados por decisões cujo propósito é materializado pela formulação de conclusões obtidas como resultado de análises financeiras e quantitativas. Assim, para tomada de decisão, um requisito básico é a existência de um sólido sistema de informação, capaz de fornecer dados fundamentais sobre o fluxo operacional industrial, possibilitando aos gestores embasamento informacional para tomada decisões.

De acordo com Silva e Silva (2016), os sistemas de gestão e de informação são considerados ativos estratégicos que auxiliam a reduzir e a eliminar erros nos processos de compras, de estocagem, de produção, nos setores administrativos, financeiros e de recursos humanos, evitando interrupções nas áreas operacionais e reduzindo o tempo e o custo, principalmente no setor produtivo. Para que o sistema de informação seja eficaz e forneça informações úteis ao processo de gestão, deverá atender alguns requisitos básicos, destacados na pesquisa de Ecobici, Dina e Busan (2014), tais como: ser adequado do ponto de vista da produção, as informações necessitam ser relevantes e também devem ocorrer em intervalos regulares, de forma suficientemente e detalhada. A tomada de decisões é um processo contínuo de avaliação de situações e problemas, considerando alternativas, fazendo escolhas e seguindo as ações necessárias. Todo o processo depende da informação estar disponível para as pessoas certas nos momentos certos, conforme elucidam Rajarathinam, Chellappa, Nagarajan (2015).

Promover a reflexão sobre a importância da informação para a gestão industrial ressalta o papel que esta desempenha na engenharia de produção, auxiliando em todos os níveis de decisão. Quando Batalha (2008) define que todo projeto, implantação e aperfeiçoamento de sistemas integrados que envolvem pessoas, matérias, equipamentos e energia são tratados pela engenharia de produção, estes são enriquecidos pelo uso da informação de diferentes áreas do conhecimento para especificar, prever e avaliar os resultados obtidos por estes sistemas. O estudo de Silva e Silva (2016) contextualiza essa afirmativa quando verifica a significância da informação na gestão da produção em uma indústria de embalagens, concluindo que o uso da informação contribui com o controle de qualidade, gerando informações que participam dos processos de decisão. Os autores destacam que a utilização da informação está direcionada para resolução de problemas com objetivo de potencializar e desenvolver as atividades operacionais, tática e estratégicas.

Para Santos, Leal e Miranda (2014), o gestor da empresa precisa de uma série de informações para tomar suas decisões. Estas devem refletir a confiabilidade e fidedignidade das operações que poderão ser esclarecidas e previstas pela utilização de métodos quantitativos em apoio à gestão empresarial. Estes métodos quantitativos representam um conjunto de ferramentas estatísticas, matemáticas e de pesquisa operacional, utilizados na análise, tratamento e apresentação de prováveis soluções a problemas ou esclarecimento acerca do comportamento de séries de dados diversas.

A gestão empresarial sofre impactos das incertezas sobre a realização da demanda e os seus reflexos sobre a otimização dos custos indiretos de produção (CIP). Segundo Silva e Lins

(2014), a composição dos CIP, em geral, é formada pelo gasto de depreciação dos equipamentos, gasto com manutenção, horas de supervisão entre outros. Os autores destacam que ao longo dos anos o mundo empresarial vem dando maior importância a gestão dos custos fixos, decorrente do aumento significativo do CIP em razão dos gastos crescentes com a capacidade instalada e maior sofisticação do processo produtivo.

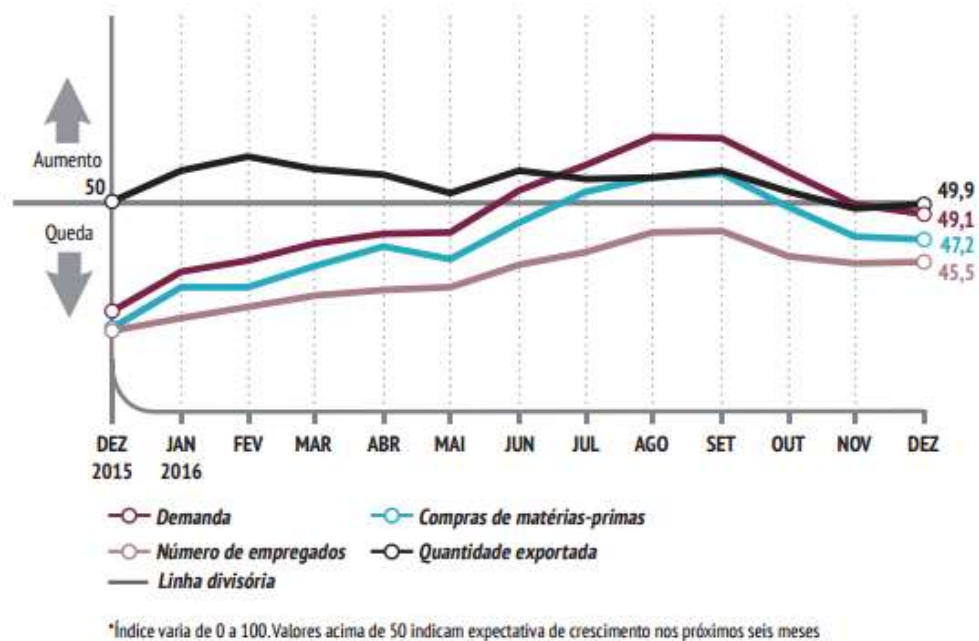
Silva e Lins (2014) destacam que nas indústrias, com uso intensivo da tecnologia, os custos fixos podem representar mais da metade dos custos totais. Para Slack et al. (2013), gerenciar as redes de processos internos, quando a demanda é independente, envolve fazer melhores estimativas para tentar alocar os recursos quando a demanda real for diferente da previsão.

Slack et al. (2013) ressaltam que a demanda independente possui um elemento aleatório não óbvio que obriga as decisões de forma rápida, onde a impossibilidade no aumento da produção e na eficiência dos processos, como meio para melhorar a lucratividade, são impactados pela redução na demanda. Neste cenário, as empresas precisam utilizar a informação como base para reconhecer oportunidades, tanto na redução de custos como na identificação de falhas no processo produtivo.

A pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (2016), destaca que a expectativa de demanda no Brasil reduziu 1,6% no último mês do ano 2016 em relação ao anterior. Além disso, a pesquisa utiliza como indicador padrão uma escala de 0 a 100 pontos, para mensurar a força da demanda no país. A escala não ultrapassou 50 pontos, durante maior parte do ano de 2016, conforme mostrado na Figura 1 a seguir, não evidenciando perspectiva de crescimento para o primeiro semestre de 2017.

Neste sentido, a redução do custo de produção é uma alternativa viável e seus resultados são positivos quando a empresa dispõe de um conjunto de informações que sejam capazes de criar um clima organizacional e antecipar tendências, contribuindo para o processo de tomada de decisão. Com aumento da concorrência entre as organizações motivadas pela globalização e as recentes crises mundiais, a gestão da informação desempenha papel fundamental para a redução dos custos e implementação de melhorias no controle dos processos industriais. Segundo Silva e Lins (2014), em economias de concorrência livre o aumento dos preços geralmente refletem de forma negativa no volume de vendas, o que direciona as empresas na busca de informações gerenciais que possam contribuir para a redução dos custos e aumentar os lucros.

Figura 1 – Índices de Expectativa



Fonte: Confederação Nacional da Indústria (2016).

Percebe-se que possuir informações em cenários com incerteza sobre a demanda é fator decisivo para tomada de decisões e planejamento de atividades futuras. Principalmente quando a informação possibilita a redução de custos. Ecobici, Dina e Busan (2014) destacam que a informação de custos para ser útil para a tomada de decisões no processo de gestão em uma organização deve atender às seguintes características: relevância, credibilidade, inteligibilidade e comparabilidade. A gestão estratégica deve fornecer as informações necessárias que reflitam os efeitos da tomada de decisões de incertezas e os resultados mais prováveis

Diante dos conceitos acima expostos, destaca-se a representatividade que a gestão estratégica da informação exerce sobre o processo de tomada decisão, contribuindo para a resolução de problemas e a identificação de oportunidades. Além disso, é notável a contribuição da estatística com suas ferramentas para auxiliar outras ciências na obtenção de resultados, parâmetros, organização de séries de dados e representações gráficas que auxiliam o processo de tomada decisão. A partir disso, o estudo sobre a gestão de falhas em equipamentos com a utilização de técnicas de previsão estatística auxiliarão na obtenção de informações para melhorias na eficiência global dos equipamentos, avaliando seus impactos no gerenciamento de falhas, sendo uma fonte de informação valiosa para que gestores e administradores possam estar embasados em suas decisões.

## 2.2 ANÁLISE DE PERDAS SOB A ÓTICA DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

As perdas de produção possuem impacto significativo na gestão do resultado das empresas. A identificação e mensuração de suas causas são fatores estratégicos para o desenvolvimento do planejamento da organização a curto e médio prazo. Perdas ocasionadas por falhas no parque de máquinas, reduzem a produtividade e aumentam os custos de produção. O estudo de Modgil e Sharma (2016), aponta que as organizações têm inserido o exame das atividades de manutenção a fim de melhorar o desempenho, reunindo esforços para otimizar a produtividade, qualidade e a redução dos seus custos de produção.

Neste sentido, Becker, Borst e Van der Veen (2015) ressaltam que a medida que os mercados se tornam mais complexos, as organizações necessitam melhorar seus processos para permanecerem competitivas. Um dos principais gargalos deste processo é a incidência paradas de máquinas, ocasionadas por falhas mecânicas e operacionais que acarretam o incremento financeiro no setor industrial. Para otimizar esse processo, faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema de manutenção, definido por Sellito e Fachini (2014) como um conjunto de atividades estratégicas integradas para direcionar a atuação da equipe na resolução da causa do problema, gerando um fluxo de informações para antecipar as falhas.

Segundo Lazim e Ramayah (2010), a utilização da manutenção como decisão estratégica pode eliminar qualquer potencial dos equipamentos para deterioração, falhas, avarias e paradas. Além disso, contribui para o aumento da importância das equipes, visto a redução das falhas operacionais. Para Peixoto e Bastos (2012) novas práticas como a manutenção produtiva total (*Total Productive Maintenance* - TPM), quando implementadas em uma planta industrial, oportunizam o desenvolvimento das equipes frente as novas responsabilidades de trabalho. Para os autores, o principal impacto sobre a sua aplicação está relacionado a forte integração entre os setores.

A gestão da manutenção pode ser conceituada como as ações tomadas no gerenciamento técnico e suas influências no planejamento da organização. Relaciona-se com o direcionamento das atividades e com a implementação de melhorias, através do monitoramento de todas as etapas envolvidas na manutenção, já que, a medida que as atividades de um projeto crescem, seus impactos na gestão da organização crescem na mesma proporção (SLACK et al., 2010).

A relevância da manutenção no que tange as estratégias das empresas, segundo Gonçalves Jr, Ribeiro e Franco (2015), ocorre em virtude do aumento da complexidade e a inserção da automação nos sistemas de produção, exigindo que máquinas e equipamentos

mantenham os níveis de desempenho desejados, objetivando diminuir as paradas por manutenção, e assim, atingir a eficiência na gestão dos custos. Estes determinam as ações adotadas para manter a disponibilidade operacional e a eficiência dos equipamentos. Kardec e Nascif (2010) complementam que a manutenção dos ativos exerce função estratégica para obtenção dos resultados, sendo responsável pelo suporte ao gerenciamento e à solução de problemas ocorridos na produção, proporcionando a empresa atingir maior competitividade, qualidade e produtividade. Neste contexto, as estratégias de manutenção devem ser estabelecidas pela empresa, de acordo com seus objetivos organizacionais, tornando-se fator determinante para o sucesso do planejamento da produção e, conseqüentemente, melhorando a produtividade.

Oliveira e Silva (2013) destacam que a missão da manutenção é possibilitar a funcionalidade dos equipamentos e instalações, afim de possibilitar o processo de produção com maior confiabilidade, segurança e preservação do meio ambiente. Além disso, para Modgil e Sharma (2016), a manutenção deve ser capaz de gerar vantagem competitiva sobre concorrentes e promover a integração efetiva da função manutenção e das práticas de qualidade, gerando economia dos recursos financeiros. Os autores enfatizam que diferentes organizações adotam diferentes estratégias de manutenção, com propósito para redução de falhas em máquinas e equipamentos. Estas estratégias podem se desenvolver em qualquer forma, como: manutenção preventiva, manutenção corretiva ou manutenção preditiva (MODGIL E SHARMA, 2016).

A manutenção produtiva total (TPM) foi desenvolvida inicialmente no Japão, com a finalidade em atuar na redução de paradas de produção, almejando eliminar as perdas no processo de fabricação e garantir maior qualidade e eficiência nos sistemas de custeio. A partir da obra de Nakajima (1988), é possível identificar os principais pilares para implementação da TPM, são o desenvolvimento de um sistema de manutenção preventiva para os equipamentos em processo de produção; a otimização na eficácia global do equipamento (OEE); e o desenvolvimento de ações estratégicas em todos os níveis organizacionais, a partir do alto escalão de gestão até o chão de fábrica.

Na formulação sobre a conceituação da manutenção produtiva total, Nakajima (1988) designou a palavra “Total” para representar o envolvimento empregado para eficácia da metodologia, visto que, a grande complexidade para implementação de um programa de TPM relaciona-se ao grau de comprometimento dos colaboradores, sendo fator preponderante para o sucesso do programa. O estudo de Becker, Borst e Van der Veen (2015) aponta que a



manutenção produtiva total possui como objetivo melhorar a eficácia do equipamento de produção, através identificação dos processos e o planejamento de ações para reduzir as falhas do equipamento, tempos de ajuste, marcha lenta e paradas menores, velocidade reduzida do equipamento, defeitos e rendimento reduzido do processo.

A TPM reúne princípios da manutenção preventiva relacionados aos conceitos japoneses para controle da qualidade total e envolvimento dos colaboradores, visando melhorar o sistema de manutenção dos equipamentos, com intuito de otimizar a eficácia das ações de manutenção, através do acompanhamento do desempenho dos equipamentos (NAKAJIMA, 1988). Este sistema de monitoramento de máquinas visa a aperfeiçoar o desempenho da produção, atrelado a utilização de ferramentas de gestão de falhas, para identificar com maior precisão os desperdícios no processo.

Para Slack, Chambers & Johnston (2008), estas perdas envolvem a queda na produtividade devido a redução das horas disponíveis de produção, influenciadas pelas quebras, setup, tempo ocioso, baixa velocidade, qualidade insatisfatória e perdas com start-up. Nesta ótica, ressalta-se a importância da TPM para gestão de falhas nas indústrias, pois suas ações, conforme Yuniawan, Ito e E Bin (2013), estão direcionadas para restaurar o equipamento a sua condição ideal de trabalho e alterar o ambiente para que esta condição seja mantida, garantido maior produtividade das plantas industriais. Jain, Bhatti, Singh (2015), corroboram com este conceito, destacando que a TPM possui como direcionador alinhar os objetivos da organização para evitar as quebras inesperadas, perdas de velocidade e defeitos de qualidade que ocorrem a partir do processo de fabricação.

Com isso, melhorar a gestão da manutenção possibilita maior eficiência operacional, visto que, um baixo desempenho de máquinas implica na redução da qualidade do produto e da produtividade. A definição de políticas para a manutenção é crucial para o desenvolvimento dos sistemas de fabricação. A inexistência de políticas de manutenção ou a ineficiência das ações estratégicas reduzem a confiabilidade das máquinas e, conseqüentemente, sua disponibilidade (GONÇALVES JR; RIBEIRO e FRANCO, 2015). A confiabilidade dos equipamentos está relacionada com a análise e redução dos diversos tipos de falhas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Modgil e Sharma (2016) ressaltam que a manutenção centrada na confiabilidade segue um processo lógico para desenvolver os requisitos importantes da TPM, como proporcionar aumento na produtividade e reduzir os custos de manutenção, através do gerenciamento da manutenção, embasado por uma gama de informações sobre inventário de peças de reposição

e cronograma reparação de máquinas. Os autores ainda destacam que a manutenção do equipamento é crucial para os operadores, onde avarias e acidentes podem ser evitados pelo desenvolvimento de um programa de manutenção bem elaborado. As organizações buscam destaque no cenário mundial em termos de qualidade, custo e entrega. Para isso, seus ativos precisam ser mantidos de forma disciplinar, firmando compromisso com a qualidade de seus produtos (MODGIL; SHARMA, 2016).

O programa de manutenção produtiva total possibilita maior atribuição de responsabilidade aos funcionários da produção para detectar falhas, executar manutenções básicas, e manter suas áreas operacionais organizadas. As práticas para implementação da TPM são chamadas de pilares ou fases, classificadas por Nakajima (1988) como quatro importantes momentos da TPM.

Na fase 1, refere-se à preparação, o nível hierárquico de gestão possui a responsabilidade para anunciar as decisões para introdução do programa TPM e organizar o ambiente de forma adequada. Assim, há o desenvolvimento do plano mestre de manutenção a fim de reduzir as perdas de equipamentos, criar um programa de manutenção autônoma, melhorar o controle de qualidade e proporcionar a toda a equipe treinamento e qualificação (NAKAJIMA, 1988).

Na fase 2, refere-se à implementação preliminar, os operadores estão envolvidos nas atividades de manutenção e as principais habilidades e competências são fornecidas para todo o grupo de trabalho. Contudo, os operadores deverão seguir o plano para identificar as principais tarefas e seguir o plano definido pelos gestores (NAKAJIMA, 1988).

Na fase 3, refere-se a implementação da TPM, o foco principal é melhorar a eficácia do equipamento por meio de técnicas específicas. Nesta fase, os operadores estão envolvidos no programa de manutenção autônoma, exigindo melhoria dos seus níveis de habilidade. (NAKAJIMA, 1988).

Na fase 4, refere-se à estabilização, a organização deve perpetuar o programa de TPM por meio da melhoria contínua. Nesta fase, os objetivos de manutenção são incorporados à estratégia dos negócios. Pois o acompanhamento dos resultados também é garantia de que a TPM pode diagnosticar o desempenho do grupo. (NAKAJIMA, 1988).

A partir da análise das 4 fases propostas por Nakajima, percebe-se a importância das pessoas para o êxito do programa de manutenção produtiva total, principalmente no que tange a qualificação do quadro de pessoal. Peixoto e Bastos (2012) elencam a qualificação do quadro de pessoal contribuem para melhorias na produtividade, redução de falhas e acidentes, e o

surgimento de novas ideias que oportunizam o aperfeiçoamento das atividades de forma contínua.

De acordo com Panneerselvam (2012), a formação e educação para os empregados em todos os níveis dentro da organização é um fator chave de sucesso para a implementação do TPM. O autor destaca que a abordagem mais eficaz para garantir a força de trabalho é através do envolvimento dos empregados. A contribuição de suas opiniões e ideias durante a implementação do programa proporciona um trabalho seguro e encorajador, reconhecendo os esforços das equipes para reforçar suas competências em relação a suas funções. Assim, estimulando um senso de propriedade e desenvolvendo um sistema de capacitação dos funcionários. Panneerselvam (2012), ressalta que o comprometimento da alta direção é essencial para promover a motivação dentro da organização e criar consciência sobre o verdadeiro potencial da filosofia TPM.

Além disso, Lazim e Ramayah (2010) destacam que a alta gestão possui papel importante para garantir que os objetivos e metas da TPM estão alinhados com os objetivos gerais do negócio. Para Gonçalves Jr, Ribeiro e Franco (2015), as perdas de operação, ocasionadas por falhas nos equipamentos, reduzem a eficiência operacional e podem produzir prejuízos econômicos para a empresa. Sellito e Fachini (2014) apontam que o bom desempenho dos equipamentos no setor produtivo reflete diretamente nos resultados, pois paradas não programadas geram queda na receita, podendo se converter em prejuízos. Neste contexto, fica evidente a importância que o setor de manutenção de ativos representa para estratégia financeira da organização, pois, visa garantir o pleno funcionamento dos equipamentos, dentro dos padrões técnicos estabelecidos, durante toda sua vida útil.

Outro fator importante, para dirimir os riscos ocasionados por falhas nos equipamentos é a definição do modelo de manutenção que será adotado pela organização. As falhas inesperadas, o tempo de inatividade, paralisação de linha, perda de produção e os custos de manutenção, são os principais problemas em qualquer planta de processo, conforme aponta o estudo de Bekar, Cakmakci e Kahraman (2015). Este estudo evidencia que a medição do risco de manutenção ajuda a desenhar a estratégia para minimizar as falhas, auxiliando na construção do modelo mais adequado de manutenção para organização. Para Samat, Kamaruddin e Azid (2012), ponto importante para a definição do modelo de manutenção é o processo de identificação de falhas que pode ocorrer por meio da análise dos registros históricos que geralmente são mantidos pela empresa. Estes dados são os documentos de manutenção diária, contendo as informações coletadas pelo departamento de manutenção. O objetivo é registrar e

calcular a ocorrência, frequência ou taxa de perdas que ocorrem no setor de manufatura. As ocorrências podem ser contadas em uma base semanal, mensal ou anual.

Com isso, os modelos de manutenção mais utilizados pelas empresas envolvem os conceitos da manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Para embasar esta discussão, será utilizado a pesquisa de Sellito e Fachini (2014) e Kardec e Nascif (2010), as quais discorrem sobre as importantes diferenças destes modelos.

Para Sellito e Fachini (2014), a manutenção corretiva refere-se à manutenção não planejada, que tem como objetivo corrigir falhas após a sua ocorrência, implicando em perdas de produção, qualidade do produto e aumentando os custos de produção. Kardec e Nascif (2010) complementam este conceito caracterizando a manutenção corretiva em fato passado, ou seja, uma falha ou um desempenho menor do que o esperado, este modelo tem como característica o alto custo em ambos sentidos: peças e indisponibilidade.

Kardec e Nascif (2010) conceituam a manutenção preventiva como a procura incessante em evitar a ocorrência de falhas, objetivando prevenir as paradas indesejadas nos equipamentos, reduzir os custos por indisponibilidade. Contudo, se não estiver planejado de forma adequada, poderá ocasionar o maior custo em peças e serviços. Sellito e Fachini (2014) definem a manutenção preventiva como o conjunto de atividades efetuadas em intervalos pré-determinados, seguindo os critérios do plano de manutenção, repetidos em um intervalo definido como: tempo, número de horas trabalhadas, número de partidas de um sistema qualquer.

Na ótica de Sellito e Fachini (2014) a manutenção preditiva utiliza controles estatísticos como mecanismo para prever a ocorrência de uma possível quebra ou para corrigir o desempenho insatisfatório observado. Kardec e Nascif (2010) complementam que o objetivo da manutenção preditiva é a prevenção de falhas nos equipamentos, por meio do monitoramento contínuo, possibilitando a utilização ininterrupta do equipamento pelo maior tempo possível. Este modelo aplica maior precisão nas informações, oportunizando melhores resultados, facilitando a gestão da indisponibilidade e dos custos de peças e serviços.

A partir desta reflexão teórica sobre a importância da manutenção produtiva total e sua relevante contribuição para a gestão de falhas no processo produtivo, destaca-se o impacto que boas práticas de manutenção podem exercer sobre o resultado financeiro das organizações. Além disso, a TPM estimula maior competitividade entre as empresas devido as exigências da economia mundial, pela incessante busca da redução de custos de produção e melhorias na qualidade do produto. Fica evidente a contribuição da manutenção baseada na confiança para

definição de estratégias, a fim de reduzir as perdas por paradas indesejadas ou falhas no processo de operação de máquinas, criando direcionadores para gestão empresarial. Inúmeras pesquisas têm discutido as contribuições da manutenção produtiva total para redução de falhas no processo de operação, evidenciando diferentes aplicabilidades desta ferramenta para melhorar o desempenho das plantas industriais.

A contribuição de Modgil e Sharma (2016) na indústria farmacêutica ressaltou que TPM desempenha papel determinante para redução de sucata e defeitos na linha de produção. O estudo revelou que a qualidade dos produtos farmacêuticos é influenciada pelo nível de conservação das máquinas, sendo a manutenção uma estratégia para alcançar a qualidade e cronograma de conformidade para executar operações contínuas. Os autores concluíram que se uma empresa possui bom estado de conservação do seu parque de máquinas, então essa empresa é capaz de fornecer produtos de boa qualidade para a sociedade.

A pesquisa de Gonçalves Jr, Ribeiro e Franco (2015), realizada em uma empresa de autopeças, destaca que a manutenção de ativos deve ser entendida como um fator estratégico para as empresas com potencial para redução dos custos totais do processo de produção devido ao ganho em disponibilidade e eficiência operacional.

A pesquisa destaca a necessidade para realização de uma profunda análise no sistema produtivo, para compreensão sobre o ciclo de vida dos equipamentos para definir a política de manutenção a ser adotada e, conseqüentemente, o modelo de custeio que dê uma maior precisão da previsão de custos de manutenção.

O estudo de Sellito e Fachini (2014), realizado em uma indústria metal-mecânica, apontou que a melhor estratégia de manutenção está em manter um equilíbrio entre os tipos de manutenções que são realizadas. Para isso, é necessário aumentar o número de manutenções preventivas, dando ênfase as manutenções preditivas, para que ocorra a redução das manutenções corretivas, aumentando a disponibilidade dos equipamentos aptos a produzir em 86% atendendo as metas de produção e reduzindo os custos com manutenção.

Oliveira e Silva (2013) concluíram, a partir da análise estatística sobre documento nacional manutenção 2011, que em relação à aplicação de recursos por tipo de manutenção, a maior média encontra-se na aplicação dos recursos no tipo de manutenção preventiva que representa baixo nível de planejamento e baixo custo inicial.

A manutenção preditiva tem o menor valor da série, provocados pelos altos custos de investimento inicial e pelo paradigma da mudança de cultura. A partir disso, percebe-se a necessidade para expansão dos estudos sobre a manutenção preditiva, utilizando a estatística

para elaboração de modelos econométricos que possam contribuir de maneira efetiva para as estratégias do plano de manutenção. Outra contribuição importante para definição de estratégias para solução de paradas do processo produtivo é o estudo de Sevegnani (2010), realizado em uma linha de usinagem. Sevegnani utilizou um sistema de monitoramento automático de paradas, que melhorou o aproveitamento da máquina gargalo da linha de usinagem, aumentando em 14% a eficiência global do equipamento (OEE).

Este percentual foi considerado representativo pelo autor devido o aumento de produção sem novos investimentos em máquinas. Jain, Bhatti, Singh (2015) também chegaram a conclusões semelhantes sobre a implementação da manutenção produtiva total e sua contribuição para melhorar a eficiência global dos equipamentos (OEE), não apenas em grandes indústrias, mas também em indústrias de pequena escala, melhorando a disponibilidade, desempenho e velocidade dos equipamentos.

Bekar, Cakmakci e Kahraman (2015), utilizaram modelos econométricos, técnicas de soft computing e elementos da lógica fuzzy para detectar as instabilidades da métrica TPM. Os autores concluíram que a previsão é significativamente importante para reduzir as variações na produção que afetam o desempenho dos equipamentos. O processo de análise de falhas é importante para determinação dos planos de manutenção e conhecimento sobre as causas dos defeitos, que irão fornecer informações para a definição de estratégias e aumentar a confiabilidade dos ativos.

Este processo é eficaz por reunir os principais eventos relacionados ao desempenho dos ativos, proporcionando a criação de um banco de dados histórico que possibilitará informações para tomada de decisão ação, possibilitando que as práticas de manutenção sejam produtivas e eficazes para a organização. Diante do exposto, percebe-se a relevância do estudo da manutenção produtiva total e, principalmente, da expansão das pesquisas sobre as falhas de operação, embasados em modelos econométricos aliados aos conceitos de manutenção preditiva, possibilitando a análise de falhas de forma prévia.

A modelagem é uma ferramenta importante para auxiliar os gestores no processo de tomada decisão, traçando estratégias para redução dos custos de produção e maximização dos investimentos realizados em ativos fixos. No moderno cenário econômico é necessário promover a discussão sobre os métodos que possam auxiliar as indústrias a reduzir seus custos com manutenção e também ampliar sua capacidade de produção através da redução das paradas de produção.

### 2.2.1 Indicadores de gestão desempenho industrial

A avaliação do desempenho de uma organização deve estar mais focada nas decisões tomadas com relação ao uso de recursos do que nos próprios recursos financeiros, visto que, os indicadores somente mostram o comportamento destes. Os reflexos das decisões podem ser visualizados por meio da análise dos relatórios financeiros e gerenciais, focando no comportamento dos indicadores econômico-financeiros; resultados da produção; níveis de perdas, produtividade, grau de investimento e outros indicadores que possam traduzir em expressão numérica o reflexo das ações administrativas sobre a estrutura operacional, financeira e de capital (KAPLAN E NORTON, 1997).

Os indicadores de gestão possuem papel fundamental para auxiliar no monitoramento do desempenho, pois, contribuem para o processo de tomada de decisão no que tange a alocação dos recursos e correção de falhas nos processos. Por meio da identificação das variáveis que afetam o desempenho de uma organização é possível avaliar os impactos nos objetivos e metas que foram projetados. A partir disso, são estabelecidas estratégias para criação de um sistema de causa e efeito, englobando a combinação dos indicadores e as ocorrências que demonstram os reflexos nos resultados da entidade (KAPLAN E NORTON, 1997).

As pesquisas têm destacado a relevância dos sistemas que reúnem medidas de avaliação de desempenho para melhorar a performance e utilização dos recursos, direcionando as estratégias da organização em direção ao seu planejamento. Kaplan e Norton (1997) enfatizam que o desenvolvimento equilibrado destas medidas, possibilitam ampliar o alcance dos sistemas desempenho, permitindo as organizações reavaliar constantemente suas estratégias. Para Wudhikarn (2016) as medidas de desempenho podem ser usadas em diversas áreas, como finanças, produção, qualidade e gestão, sendo aplicadas em conformidade aos objetivos dos usuários da informação.

De acordo com Silva e Lima (2015), os indicadores de desempenho são índices para monitoramento de situações que permitem alterar, adaptar ou manter estratégias para tomada de decisão. A implantação de indicadores possibilitam melhorias no processo de gestão, pois sinalizam com menores índices os itens que necessitam de maior atenção e dedicação na empresa, permitindo que novas estratégias sejam desenvolvidas para traçar um plano de ação para os pontos fracos que foram identificados. Ferreira et al. (2008) ressaltam a relevância dos indicadores para os sistemas de gestão e de medição de desempenho, relacionados a maior visibilidade sobre o desempenho industrial e suas características de qualidade, tornando o

ambiente seguro e controlado, gerando transparência e confiabilidade nos processos, o que possibilita melhor atratividade para investimentos externos. Neste sentido, Ferreira et al. (2008) argumentam que para quantificar e avaliar o desempenho das operações fabris, é necessário a utilização de indicadores que expressem confiavelmente as características importantes do processo de fabricação como a produtividade, qualidade e capacidade de produção.

A utilização destes indicadores permite o fortalecimento da gestão empresarial, quando utilizados para o monitoramento da produção, visam a redução das falhas de operação e principalmente as paradas de produção. A partir desta análise, é possível identificar os gargalos na eficiência dos equipamentos que podem comprometer a capacidade de produção e sobre tudo o resultado financeiro da organização. Os autores Becker, Borst e Van der Veen (2015), salientam que medir continuamente a eficácia dos equipamentos permite melhor monitoramento da produção aos gerentes e operadores, possibilitando traçar ações ágeis em eventuais distúrbios de produção e, também, para estabelecer programas de melhoria contínua de médio e longo prazo.

Para Becker, Borst e Van der Veen (2015), o indicador desempenho representa o quão bem uma máquina está realizando sua função durante um intervalo de tempo. Assim, o fator desempenho deve ser visto como um gatilho para indicar um problema e não uma medida absoluta. Souza et al. (2012) complementam que medir o desempenho na maioria das organizações modernas está relacionado a indicadores como, por exemplo, a disponibilidade, confiabilidade dos equipamentos, o lucro e custo que são representativos para o direcionamento da entidade. Os autores evidenciam que para a manutenção, os indicadores de desempenho são definidos a partir dos objetivos traçados pela organização e aplicados para garantir que os resultados estejam em conformidade com o desempenho de produção almejado, tornando os indicadores elementos essenciais para a gestão na indústria (SOUZA et al., 2012).

Nas contribuições de Samat, Kamaruddin e Azid (2012), um sistema de manutenção efetiva é importante e requer monitoramento e avaliação para que seja possível desenvolver de forma eficiente o plano de melhoria. A pesquisa dos autores discorre sobre as várias reflexões e observações que surgem a partir da medição do desempenho da manutenção. Este, requer abordagens holísticas e eficazes para permitir o alcance de resultados confiáveis. Na visão de Oliveira e Silva (2013), a manutenção é uma função de apoio ao processo produtivo. Logo, deve estar no escopo das ações de todo sistema de gestão. Contudo, por desenvolver uma função estratégica, existem particularidades que necessitam ser analisadas de forma profunda e qualificada para se alcançar a eficácia nas ações realizadas.



Oliveira e Silva (2013) destacam a relevância da análise estatística para os indicadores de desempenho como grande contribuição para o processo de gestão da manutenção. Os autores conceituam diversas relações que contribuem para o processo de tomada decisão. Para eles, o custo é o impacto da utilização dos recursos financeiros empregados na manutenção sobre o custo dos ativos. A frequência de Falhas mede o número de ocorrências de falhas do recurso em um determinado período. Assim como, a satisfação do cliente mede o nível de satisfação com relação aos prazos de entrega, bem como a todo processo global de atendimento. E o retrabalho avalia o índice de produtos que retornam para a linha de produção para correções.

A pesquisa de Oliveira e Silva (2013) exemplifica a utilização do conceito de produtividade na manutenção com base na relação entre o faturamento e custos. Neste conceito, os indicadores de faturamento e custos possibilitam analisar um parâmetro de produtividade da manutenção. Este indicador apresenta a relação entre o custo da manutenção pelo faturamento bruto da empresa, fornecendo subsídios para análise da produtividade. Segundo os autores, baixos índices aliados a alta disponibilidade e confiabilidade, evidenciam a eficácia da manutenção. Para Souza et al. (2012), a implantação do sistema de Indicadores para manutenção depende do tipo de informação existente e da forma como ela se torna disponível para todos os setores da organização.

A partir da reflexão sobre as pesquisas já realizadas, percebe-se a importância da análise dos indicadores como ferramenta para mensurar a eficiência da manutenção industrial e, principalmente, avaliar o quanto as falhas no processo de operação e paradas não programadas afetam a produtividade das organizações. Os indicadores auxiliam os gestores no processo de tomada de decisão e permitem adequar as estratégias sempre que discrepâncias no processo são identificadas. O estudo de Oliveira e Silva (2013) realizou análise dos indicadores de qualidade e produtividade por meio de técnicas estatísticas, sobre o panorama nacional das indústrias brasileiras, no que se refere a manutenção. Tal estudo concluiu que é possível identificar o status atual da manutenção, estabelecendo a relação entre os indicadores de qualidade e produtividade e sua importância para a função manutenção e a análise de tendências. Os autores concluíram, através dos indicadores de qualidade e produtividade, que é possível medir a eficácia da manutenção, além disso, destacam que se for tratada estrategicamente permitem reflexos positivos na lucratividade e na produtividade da organização.

Souza et al. (2012) evidenciam na sua pesquisa em siderurgias que a implementação de indicadores de desempenho pode ser considerada uma ferramenta importante na investigação da gestão de desempenho dos processos e operações. A pesquisa destacou o nível de

reciprocidade entre a utilização dos indicadores de desempenho da função manutenção com a eficácia das tarefas da função manutenção, notadamente com relação à disponibilidade dos equipamentos, qualidade do produto e retorno de investimentos. Com isso, destaca-se a relevância em promover estudos para debate sobre o papel da análise de indicadores em auxílio ao processo de tomada decisão nas indústrias brasileiras.

#### *2.2.1.1 Indicador de eficiência global de equipamentos*

Diante da competitividade em que as indústrias estão inseridas, mensurar e potencializar constantemente seu desempenho é primordial para maximizar os resultados para os investidores e, acima de tudo, possibilitar a continuidade da organização, baseada em uma gestão eficiente dos recursos financeiros disponíveis. Além da concorrência normal em economias globalizadas, os gestores precisam ter subsídios informacionais para atuarem nos cenários de crise. Pois, se faz necessário produzir cada vez mais com menos recursos financeiros, o que se torna um grande desafio para continuidade das organizações no mercado atual.

Por essa razão, a avaliação da eficiência possui destaque para correção de falhas e desenvolvimento de planos de melhoria contínua nos processos de fabricação. Segundo o estudo de Wudhikarn (2016), como acontece com outros sistemas de gestão, a manutenção produtiva total requer medidas de desempenho adequadas para quantificar a melhoria. Uma vez que seu principal objetivo é aumentar a eficácia do equipamento, uma medida de desempenho é a eficiência global dos equipamentos (OEE – *Overall Equipment Efficiency*) que mede a eficácia de uma máquina e conseqüentemente o desempenho dos equipamentos utilizados no processo fabril.

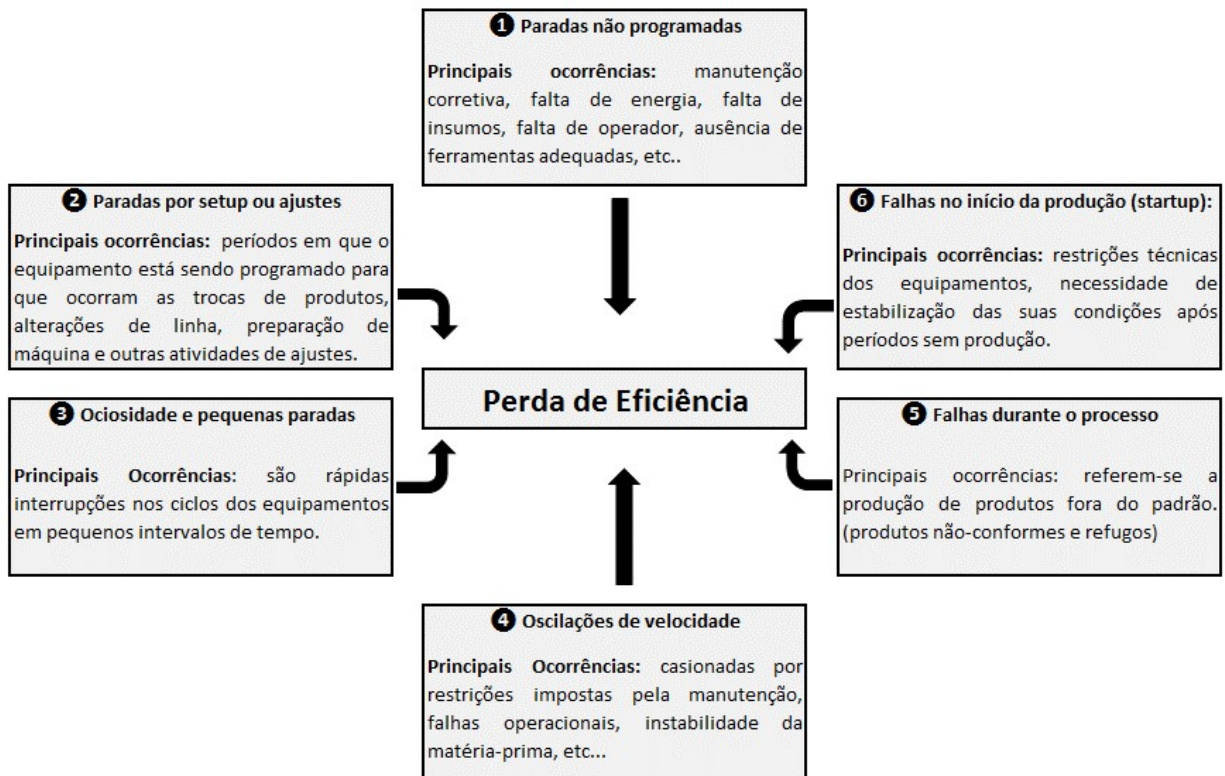
Para Bekar, Cakmakci e Kahraman (2015), muitos estudos concentraram-se no OEE, como uma métrica de eficiência conhecida que permite avaliar o impacto de perdas ocultas, comparando o desempenho real dos equipamentos com seu potencial teórico. A partir disso, a utilização do indicador OEE possibilita as empresas análise sobre as reais condições de uso dos seus ativos. Sendo possível a identificação das perdas incidentes durante o processo de fabricação, monitoradas por meio de índices de disponibilidade de equipamentos, desempenho e qualidade.

A eficiência global dos equipamentos (OEE), foi desenvolvida a partir dos anos 80 por Seichii Nakajima, com intuito em determinar o rendimento operacional das máquinas de forma direta para a obtenção do prêmio manutenção produtiva total. Segundos os autores Becker,

Borst e Van der Veen (2015), os avanços do OEE começaram na década de 1990 e início de 2000, quando começou a ser implementado em várias empresas, e também bastante discutido na academia. Wudhikarn (2016) complementa que embora OEE seja uma medida de desempenho eficaz, requer algumas modificações para se adequar às exigências das indústrias reais atualmente. A medição da eficácia global dos equipamentos pode ser utilizada em diferentes concepções e objetivos, possibilitando identificar os setores que requerem melhorias, bem como utilizado como ferramenta de *benchmark*.

Diante disso, ressalta-se a relevância em potencializar o funcionamento dos equipamentos e atuar de forma eficiente no combate as perdas de operação, visto que, a melhoria na eficácia das máquinas substitui a necessidade de novos investimentos. A partir da obra de Nakajima (1988), é possível definir seis tipos de perdas que interferem no desempenho dos equipamentos como um todo. As causas mais comuns de perda de eficiência no processo produtivo são as quebras, setups e ajustes, micro paradas, velocidade do equipamento reduzida, rejeitos de início de processo e rejeitos na produção conforme Figura 2.

Figura 2 – Causas da perda da eficiência



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Nakajima (1988).

Na contribuição de Samat, Kamaruddin e Azid (2012), a eficiência global dos equipamentos (OEE) e a confiabilidade são os principais requisitos adotadas para medir o desempenho baseado na eficiência. Os autores destacam que a eficácia das máquinas pode ser alcançada com ações estratégias de manutenção, onde a OEE exerce função de diagnóstico para os fatores como disponibilidade, taxa de desempenho e qualidade do produto.

A confiabilidade fornece a eficácia total sobre o desempenho da máquina durante sua operação, sendo seu principal objetivo reduzir as taxas de falhas e aumentar a disponibilidade tempo. Jain, Bhatti , Singh (2015), enfatizam que a eficiência global do equipamento pode ser aplicada para auxiliar na melhoria do desempenho de máquinas e processos, identificando as oportunidades com maior impacto no processo produtivo.

Os autores destacam três medidas importantes para mensuração do desempenho dos equipamentos, como a disponibilidade que é influenciada pelo tempo de inatividade, como paradas planejadas ou não. A eficiência de desempenho que relaciona a capacidade real do equipamento com a projetada e a taxa de qualidade que possui impactos dos índices de defeitos e retrabalhos, (JAIN, BHATTI , SINGH; 2015).

Slack et al. (2013) conceituam a medida da eficiência global dos equipamentos como um método para avaliação da eficácia da capacidade, considerando as perdas que podem afetar o desempenho das máquinas. Para calcular o OEE, conforme Equação 1, nas plantas industriais é necessário conhecer o tempo no qual o equipamento está disponível para operação, obtendo-se a taxa de disponibilidade (a), que mede a razão entre o tempo total de operação e o tempo de operação disponível.

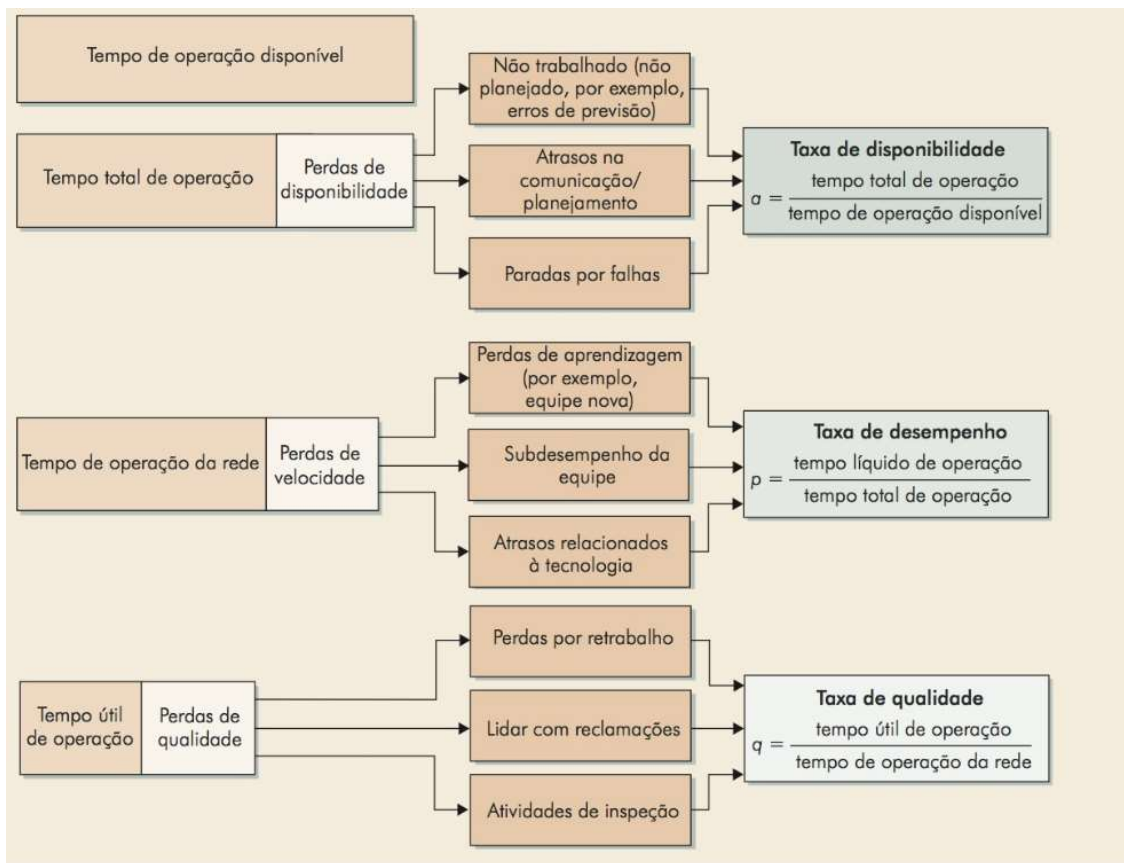
Além disso, deve-se conhecer a velocidade de processamento do equipamento por meio da taxa de desempenho (p), que expressa a razão entre tempo líquido de operação e o tempo total de fabricação. Outro fator é a qualidade do produto fabricado, mensurado a partir da taxa de qualidade (q), calculada entre a razão do tempo útil de produção e o tempo de operação da rede, a partir da figura 3 abaixo (SLACK et al., 2013).

Após o cálculo das taxas supracitadas pelo autor, a eficiência global dos equipamentos será calculada multiplicando-se a taxa de disponibilidade, a taxa de desempenho e a taxa de qualidade, conforme Slack et al. ( p. 280, 2013).

$$OEE = a \times p \times q \quad (1)$$

A partir do exposto da Figura 3 abaixo, percebe-se que a redução na capacidade disponível de equipamento é motivada pelas perdas de tempo, perdas na preparação e substituição e falhas de quebra. Na análise de Slack et al. (2013), para que o equipamento opere de forma eficaz, ele precisa alcançar altos níveis de desempenho nessas três dimensões, possibilitando através da combinação das taxas de disponibilidade, desempenho e qualidade a mensuração da OEE. Neste sentido, a gestão de falhas dos equipamentos exerce papel fundamental para melhorar os indicadores de eficiência dos processos produtivos, contribuindo para a redução de custos e maximização da capacidade de produção.

Figura 3 – Eficiência global dos equipamentos (OEE)



Fonte: Slack et al. (p. 279, 2013).

A reflexão teórica proposta sobre a eficiência global dos equipamentos, aplicada a gestão de falhas em plantas industriais, ressalta a significância das informações para o processo de tomada decisão. O estudo de Wudhikarn (2016) realizado em uma fábrica de forros de fibra de cimento, ratifica essa afirmação quando conclui que a OEE é uma das métricas mais

importantes e amplamente utilizados para mensurar o desempenho do processo produtivo, especialmente em sistemas que adotam a TPM. No entanto, o autor destaca que a OEE em sua forma original nem sempre expressa a exatidão para identificação de equipamentos problemáticos. Sendo necessário, assim, combina-lo com outras metodologias, principalmente estatísticas para potencializar sua exatidão.

Corroborando com Wudhikarn (2016), a pesquisa de Tsarouhas (2012) desenvolvida no processo produtivo de limoncello, no sul da Itália, analisou estatisticamente durante 8 meses o desempenho das máquinas e do processo de fabricação, calculando todos os componentes da OEE. O autor concluiu que a análise estatística forneceu uma perspectiva que auxiliou os gerentes a tomar melhores decisões sobre como melhorar os seus processos de forma mais eficiente e eficaz. As contribuições de Jain, Bhatti, Singh (2015), em indústria de tubos de irrigação na Índia, relacionam a alta qualidade do produto ao nível de satisfação dos clientes, alcançados por meio da adoção de uma boa estratégia de manutenção para manter as máquinas no chão de fábrica. Os autores, concluem que máquinas confiáveis produzem bens de maior qualidade, satisfazendo as necessidades dos clientes. Destacando como a gestão de falhas pode contribuir para a manutenção dos equipamentos, desenvolvendo estratégias preventivas com resultados relevantes nas indústrias de pequeno e médio porte.

Serra (2010) também evidenciou em sua pesquisa que a OEE é uma ferramenta eficaz para análise do desempenho dos processos de produção de condutores elétricos. O autor realizou análises sobre o processo de fabricação, identificando as perdas por utilização, velocidade e qualidade. A pesquisa apontou perdas relevantes como elevados tempos de máquinas paradas por setup e rupturas no material em processo. As interpretações contribuíram para o aprimoramento do indicador OEE e identificação de oportunidades para melhorias no processo de fabricação.

Para ressaltar as contribuições da modelagem aos estudos da eficiência global dos equipamentos - e principalmente para aprimorar a gestão de falhas e paradas de produção - o estudo de Bekar, Cakmakci e Kahraman (2015) utilizou a combinação da modelagem fuzzy e redes neurais, por meio da *adaptive neuro-fuzzy inference system* (ANFIS), para relacionar e inferir o mau funcionamento dos equipamentos, a má qualidade dos produtos e a gestão da manutenção de máquinas. Os autores concluíram que a TPM é realmente significativa para apoiar a produção enxuta, onde sua implementação pode eliminar os defeitos e variações na produção e aumentar a capacidade de fabricação. Além disso, ressaltam que a medição do OEE

promove boa orientação sobre qual problema representa maior oportunidade para implementação de melhorias e para a eliminação de riscos.

Ranjan e Mishra (2016), identificaram que OEE possibilita analisar de forma ampla as condições do equipamento, e também, detectar as principais falhas de operação, permitindo a organização concentrar-se no que é o mais importante sem perder tempo ou recursos. No estudo experimental, os autores elencaram algumas medidas corretivas para manutenção dos equipamentos, identificadas durante o processo de produção, estas, foram encaminhadas para o chão de fábrica, sendo observadas durante um mês. Após nova análise dos dados e cálculo da OEE, identificaram o aumento na eficiência dos equipamentos em de 10%. Jain, Bhatti, Singh (2015), concluem que o papel da manutenção nos sistemas de produção modernos está se tornando ainda mais importante para as organizações, trazendo a geração de lucro para o negócio. Uma ferramenta utilizada para análise dos custos de manutenção e para investigar as paradas de máquinas em produção são os modelos de previsão que possibilitam conhecer o comportamento futuro das variáveis envolvidas no processo produtivo.

### 2.3 MODELOS DE PREVISÃO

Para compreensão sobre o significado de previsão, inicialmente é necessário conceituar série temporal, definida por Rossi e Neves (2014), como uma sequência de observações arranjadas cronologicamente. A série temporal, também denominada de série histórica, apresenta período de observações constantes, podendo representar outras variáveis como: distância, horas, teor, comprimento entre outros. Rossi e Neves (2014) destacam que a característica peculiar dos métodos de séries temporais é a utilização do comportamento passado de uma variável, e com base neste, realizar previsões incondicionais e de curto prazo.

Rossi e Neves (2014) definem série temporal como um processo estocástico que na contribuição de Morettin e Tolo (2006) pode ser definido como o conjunto de possíveis trajetórias passível de observação, onde o processo estocástico corresponde a população e cada trajetória corresponde a uma amostra. Morettin e Tolo (2006) complementam que uma série temporal poderá ser discreta ou contínua, onde a primeira refere-se a observações em instantes de tempo igualmente espaçados e a segunda refere-se a observações que poderão ser registradas de forma irregular ou com perda de informação.

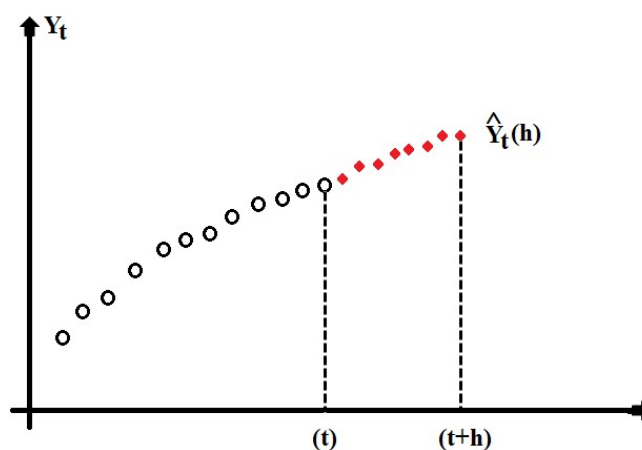
O que irá requerer a sua transformação em uma série discreta com tempo equiespaçado, através do processo de amostragem ou pelo acúmulo de informações em intervalos de tempos

iguais (MORETTIN e TOLOI, 2006). Os métodos para análise de séries temporais utilizam grande número de observações, principalmente na fase que antecede a modelagem, cada método tem sua forma de tratar estas observações e admitem diferentes premissas. A adequabilidade de cada um a determinada situação dependerá de fatores como tempo, disponibilidade dos dados, objetivos e perfil do analista (ROSSI E NEVES, 2014).

O objetivo da análise de séries temporais é identificar o comportamento não aleatório na série, investigando a variável objeto de estudo, onde a observação do seu comportamento passado possibilite realizar previsões sobre o seu futuro, otimizando o processo de tomada de decisão. Para análise de uma série temporal  $Y(t_1), \dots, Y(t_N)$ , observada nos instantes  $(t_1), \dots, (t_N)$ , os principais objetivos de interesse são: descrever o comportamento da série(a); investigar o mecanismo gerador da série temporal (b); avaliação da adequação do modelo em relação a previsão (c) e controle (d). (ROSSI E NEVES, 2014; MORETTIN E TOLOI, 2006).

Como já exposto, um dos objetivos da análise de séries temporais é a avaliação do modelo em relação a predição de observações futuras para a série em estudo. Além do modelo, será necessário especificar uma função-perda, o estudo de Bertolde et al., (2013) aponta a utilização reiterada do erro quadrático médio (EQM). Partindo do pressuposto da existência de uma série temporal até o instante  $(t)$  e desejando prever o valor da série no instante  $(t + h)$ ,  $(t)$  é a origem e  $\hat{Y}_t(h)$  é a previsão de  $Y_{(t+h)}$  com horizonte  $(h)$ , representado na Figura 4.

Figura 4 – Observações de uma série temporal com previsões de origem  $(t)$  e horizonte  $(h)$



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Morettin e Toloi (2006).

O erro quadrático médio será expresso conforme a Equação 2:

$$E[Y(t+h) - \hat{Y}_t(h)]^2 = E[e_t(h)]^2 \quad (2)$$



Onde  $e_t(h)$  representa o erro de previsão, assim, dado o modelo que descreve a série temporal até o instante (t), objetivando minimizar o erro quadrático médio, será obtido uma equação para  $\hat{Y}_t(h)$ .

O modelo usual de série temporal  $Y(t_1), \dots, Y(t_N)$ , é escrita com três componentes: uma tendência, uma componente sazonal e um termo aleatório segundo Morettin e Tolo (2006) conforme a Equação 3:

$$Y_t = T_t + S_t + a_t, \quad t=1, \dots, N \quad (3)$$

Onde:

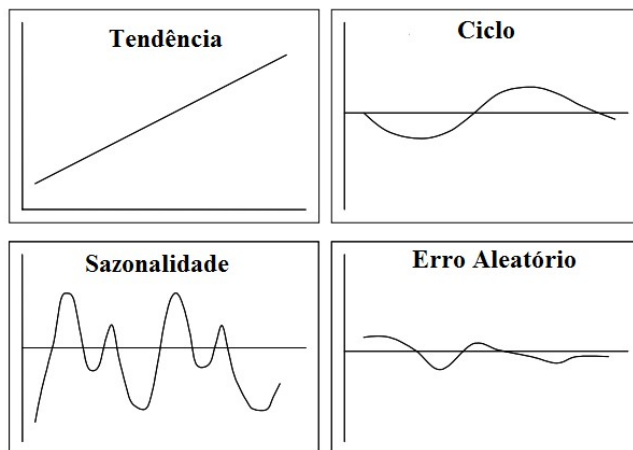
$T_t$  : tendência

$S_t$ : sazonalidade

$a_t$ : termo aleatório

Para aplicabilidade do modelo usual, a problema consiste em ajustar um modelo que permita a inclusão de vários tipos de padrões, possibilitando realizar as previsões. O ponto inicial é a realização da decomposição da série em padrões, conforme Figura 5.

Figura 5 – Decomposição da série temporal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Morettin e Tolo (2006).

A tendência de uma série sugere o seu comportamento de longo prazo, ou seja, indica seu crescimento, decrescimento ou sua estabilidade, e a velocidade destas alterações. Os ciclos são qualificados pelas oscilações de alta e baixa na série, podendo ocorrer de forma suave e repetida, ao longo da componente de tendência. A sazonalidade corresponde às oscilações de

alta e de baixa que ocorrem em determinado período do ano, do mês, da semana ou do dia. A sazonalidade possui movimentos previsíveis, ocorrendo em intervalos regulares de tempo, enquanto que movimentos cíclicos tendem a ser irregulares (MORETTIN E TOLOI, 2006).

O estudo de Babai et al., (2013) sobre a cadeia de suprimentos formada por um fabricante e um revendedor de uma grande rede de supermercado europeu, analisou a precisão de previsão e o desempenho do inventário, juntamente com a investigação sobre os potenciais benefícios do compartilhamento de informações de previsão entre o varejista e o fabricante. A pesquisa apontou que a redução no Erro Quadrático Médio (EQM) e no custo de inventário podem chegar a 84% e 70%, respectivamente, mostrando os benefícios substanciais que podem ser derivados de compartilhar informações através da utilização do modelo ARIMA (0,1,1).

Diante disso, justifica-se a importância dos métodos de previsão para o gerenciamento industrial, pois, as falhas no parque de máquinas, por causas mecânicas ou operacionais, geram paradas de produção que reduzem a produtividade e aumentam o custo dos produtos (Modgil and Sharma, 2016). A identificação e mensuração dessas causas são fatores estratégicos para o desenvolvimento do planejamento da organização a curto e médio prazo. A dificuldade para gerenciamento das paradas de produção encontra-se na incerteza de sua ocorrência, devido ao comportamento intermitente. Para Nikolopoulos et al., (2016) um dos maiores desafios para a gestão de operações é prever com maior precisão esse comportamento.

Além do comportamento intermitente, a série de parada de máquinas apresenta aglomeração de volatilidade, sendo possível perceber oscilações por um extenso período, seguidos por períodos de estabilidade. Para Gujarati, (2006) o conhecimento sobre a volatilidade é importante para as diversas áreas do conhecimento. Para Ewing e Thompson, (2008) os modelos ARCH possibilitam prever a volatilidade futura em uma série temporal quando a variância varia de tempo. Sua aplicabilidade na cadeia de suprimentos, aliado ao conhecimento das condições comerciais macroeconômicas podem ser relevantes para auxiliar as empresas na elaboração do seu planejamento.

Diante das incertezas para incidência de paradas de produção, em um horizonte de 24 horas, demonstrar novas aplicabilidades para os métodos de previsão contribuem para otimização do parque de máquinas e redução dos custos industriais. Considerando isso, justifica-se a opção pela escolha do método de suavização exponencial proposto por Syntetos e Boylan, (2005) para as séries intermitentes e aplicação do modelo de heterocedasticidade condicional autoregressiva (ARCH), como ferramenta para análise e previsão de volatilidade (Mousazadeh e Karimi, 2009).

A seguir, apresentam-se os métodos de previsão que serão utilizados nas análises dos dados desta pesquisa.

### 2.3.1 Previsão ingênua

O modelo de previsão ingênua é aquele em que a última observação conhecida é tomada como base para previsão do próximo período, sem considerar a sazonalidade da variável dependente. A utilização da previsão ingênua serve como medida de comparação de desempenho entre os resultados da sua previsão e modelagens mais sofisticadas, se o método ingênuo superar o modelo comparativo, este será considerado ineficiente (LAWRENCE, EDMUNDSON e O'CONNOR, 2000).

Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), ressaltam que o método pode ser ajustado para absorver características de sazonalidade na série de dados, sendo possível realizar previsões contendo comportamento sazonal nas observações. O modelo é dado pela Equação 4, onde a predição no tempo  $t$  é dada pelo último valor observado.

$$\hat{Y}_t = Y_{t-1} \quad (4)$$

A previsão ingênua será importante para realização deste estudo, pois servirá de parâmetro para qualidade das previsões obtidas, em comparação aos modelos de médias móveis e metodologia Box-Jenkins. Para isso, será utilizado análise do coeficiente U-Theil que mede a qualidade das previsões de modelos sofisticados com os resultados obtidos em uma previsão ingênua. Quando o coeficiente U for maior que 1 ( $U > 1$ ), o erro do modelo é maior do que o erro na previsão ingênua e quando U for menor que 1 ( $U < 1$ ), o erro do modelo é menor que o erro na previsão ingênua. Com isso, quanto mais próximo de zero forem os coeficientes analisados, melhor serão as estimativas da previsão (LAWRENCE, EDMUNDSON e O'CONNOR, 2000).

O modelo ingênuo ajustado, conforme a Equação 5, proposto no estudo de Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), visa a ajustar a previsão, suavizando as distorções que incidem ao modelo, por utilizar para a predição em um momento  $t+1$  e um fator multiplicativo ao valor observado  $Y_t$ , com objetivo para proporcionar uma previsão mais fundamentada na série ajustada, visto que, este fator multiplicativo utiliza os valores observados no tempo atual  $t$  e no tempo  $t-1$ .

$$\hat{Y}_{t+1} = Y_t \left( 1 + \frac{T_1 - Y_{t-1}}{Y_{t-1}} \right) \quad (5)$$

### 2.3.2 Modelo de médias móveis simples

Os modelos de médias móveis são considerados uma técnica simples de suavização exponencial para séries históricas, que na conceituação de Morettin e Toloí (2006) consiste em calcular a média aritmética das  $r$  observações mais recentes. Segundo os autores, a cada período a observação mais antiga é substituída por uma mais recente, obtendo-se uma nova média, conforme a Equação 6.

$$M_t = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-r+1}}{r} \quad (6)$$

Segundo Morettin e Toloí (2006), a previsão dos valores futuros da série, a partir da origem  $t$ , é expressa pela última média calculada, conforme notação  $\hat{Y}_t(h) = M_t$ . Este método dependerá do número  $r$  de observações utilizadas na média, onde um maior  $r$  impactará lentamente na previsão, seguindo as alterações do parâmetro  $\mu_t$  e um baixo valor ocasionará uma reação rápida. Se  $r=1$ , o valor mais recente da série é utilizado como horizonte de previsão, caracterizando um modelo simples de previsão denominado método ingênuo. Quando  $r = N$ , a previsão será igual a média aritmética de todas as observações, indicado quando a série é altamente aleatória e o valor de  $r$  deverá ser proporcional a aleatoriedade ( $a_t$ ). Neste método, expresso na Equação 7, deverá ser selecionado o valor de  $r$  que proporciona a melhor previsão, ou seja, encontrar o valor de  $r$  que segundo Morettin e Toloí (2006) minimize:

$$S = \sum_{t=\ell+1}^N (Z_t - \hat{Z}_{t-1}(r))^2 \quad (7)$$

Onde  $\ell$  deverá ser escolhido para que o valor inicial utilizado na Equação 7 não influencia a previsão.

Na ótica de Rossi e Neves (2014) este método apresenta como vantagens a facilidade na sua utilização, pode ser eficiente para um reduzido número de observações e grande flexibilidade pela variabilidade de  $r$ . Os autores destacam como desvantagens, a utilização em modelos estacionários e grande dificuldade em determinar o valor de  $r$ . Para Morettin e Toloí

(2006) apontam como vantagens para este método, sua utilização quando há um número pequeno de observações e a flexibilidade devido a variação de  $r$  conforme o padrão da série. Os autores destacam como desvantagens sua restrição à previsão de séries estacionárias e a dificuldade encontrada para determinar o valor de  $r$ .

O estudo de Provenza et al., (2015) analisou os registros de roubos e furtos no município do Rio de Janeiro entre 2009 e 2013, para estimar as previsões mensais pelos métodos de Alisamento Exponencial Simples e das Médias Móveis. Os modelos foram comparados por meio do erro médio absoluto e o erro médio percentual absoluto, o estudo apontou o Alisamento Exponencial Simples como o que melhor se adequou a série. O método é evidenciado a seguir.

### 2.3.3 Modelo de alisamento exponencial simples

Para Rossi e Neves (2014), os modelos de alisamento exponencial simples são apropriados para previsões e curto prazo, pois não apresentam tendência e sazonalidade. Realiza a previsão para um determinado período a partir do ajuste da previsão atual do período com o seu erro de previsão. Morettin e Toloi (2006) definem o alisamento exponencial simples como uma média ponderada que atribui pesos maiores às observações recentes, excluindo as desvantagens do método de médias móveis, conforme Equação 8.

$$\bar{Y}_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)\bar{Y}_{t-1}, \bar{Y}_0 = Y_1, t = 1, \dots, N, \quad (8)$$

Onde  $\bar{Y}_t$  é chamado de valor exponencial alisado e  $\alpha$  é a constante de alisamento  $0 \leq \alpha \leq 1$ . A partir das Equações 9 e 10, a previsão de todos os valores futuros da série com origem  $t$  é dada pelo último valor exponencialmente alisado, ou seja:

$$\hat{Y}_t(h) = \bar{Y}_t, h = 1, 2, 3, \dots, \quad (9)$$

$$\hat{Y}_t(h) = \alpha Y_t + (1 - \alpha)\hat{Y}_{t-1}(h + 1) \quad (10)$$

Para Morettin e Toloi (2006) a previsão realizada conforme a Equação 10, reduz o problema de armazenamento das observações, pois poderá ser calculada utilizando apenas a observação mais recente ( $Y_t$ ), a previsão imediatamente anterior ( $\bar{Y}_{t-1}$ ) e o valor de  $\alpha$ .

Rossi e Neves (2014), destacam que quando o valor de  $\alpha$  for baixo, será obtido previsões finais estáveis, devido à atribuição de pesos maiores às observações passadas, em

virtude disso, oscilações aleatórias exerceram peso menor na previsão final. Morettin e Tolo (2006) esclarecem que quanto mais aleatória for a série estudada, menores serão os valores da constante de alisamento. As principais vantagens deste modelo relacionam-se com seu fácil entendimento, aplicação não dispendiosa, flexibilização possibilitada pela variação de  $\alpha$ , porém, sua principal desvantagem é a grande dificuldade para determinar o valor apropriado da constante de alisamento.

O estudo recente sobre a utilização de séries temporais em relação aos estoques atacadistas nos EUA, elaborado por Sbrana e Silvestrini (2014), apresentou as propriedades de previsão analítica do modelo de suavização exponencial de coeficiente aleatório na estrutura de "fonte múltipla de erro". Foram comparadas a precisão da previsão do modelo sugerido em relação a outros modelos de benchmark, tanto no ARIMA quanto na classe de suavização exponencial. Sbrana e Silvestrini, (2014) concluíram que a forma reduzida do modelo de alisamento exponencial do coeficiente aleatório tende a ser superior aos modelos concorrentes, ressaltando a importância dos modelos de suavização exponencial como ferramenta de previsão para os negócios e para a macroeconomia.

A pesquisa de Vidotto et al., (2009) avaliou a utilização de ferramentas de previsão para auxiliar investidores no mercado financeiro. O estudo comparou o desempenho do método de médias móveis e o alisamento exponencial, para suavizar os ruídos das flutuações dos preços de curto prazo das ações. Na análise dos preços das ações, os autores concluíram que o método das médias móveis simples não é o método mais adequado para análise. O alisamento exponencial apresentou melhor desempenho para acompanhamento da tendência em relação às médias móveis simples. O estudo identificou que o alisamento exponencial atribui maior peso aos dados mais recentes e reage com maior rapidez às mudanças do que as médias móveis simples.

#### **2.3.4 Metodologia Box-Jenkins**

O desenvolvimento de pesquisas que se propõe a investigar um determinado conjunto de observações ordenadas no tempo, conceituada por Morettin (2011) como série temporal, visa a indagação do comportamento destes dados para a realização de inferências estatísticas.

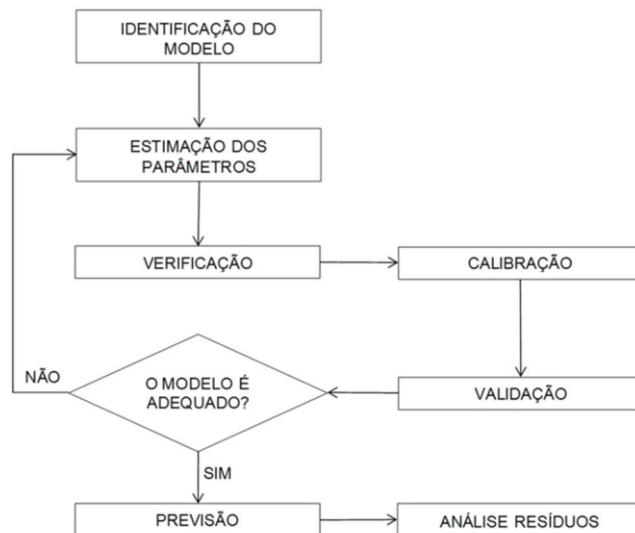
Segundo Morettin (2011), para que isso ocorra é necessário atentar ao caráter cíclico e iterativo da abordagem científica, ressaltando a importância da estatística na fase da coleta das observações e no comparativo das previsões realizadas pelo modelo com os dados originais.

Rossi e Neves (2014) destacam que a metodologia Box-Jenkins possui diversas aplicações, estudando fenômenos econômicos, industriais, aplicações em ciências naturais, que consolidaram esta forma de modelar observações em séries históricas.

Para o estabelecimento de modelos para uma série temporal é necessário considerar quatro estágios importantes: identificação, estimação, diagnóstico e previsão, que serão conceituadas na ótica Gujarati (2006) e esquematizados a partir da Figura 6.

A **Identificação**: encontrar os valores adequados de (p), (d) e (q). **Estimação**: após identificar os valores adequados de (p) e (q), estima-se os parâmetros dos termos autoregressivos e de médias móveis incluídos no modelo. **Verificação de diagnóstico**: Depois de escolhido um dado modelo ARIMA e de estimados seus parâmetros, é preciso verificar o ajuste do modelo escolhido aos dados. Para isso, verifica-se os resíduos estimados, a partir do modelo escolhido, são ruídos brancos. **Previsão**: As previsões obtidas por este método são mais confiáveis que aquelas obtidas pela modelagem econométrica tradicional, especialmente no caso das previsões de curto prazo.

Figura 6 – Método Box-Jenkins



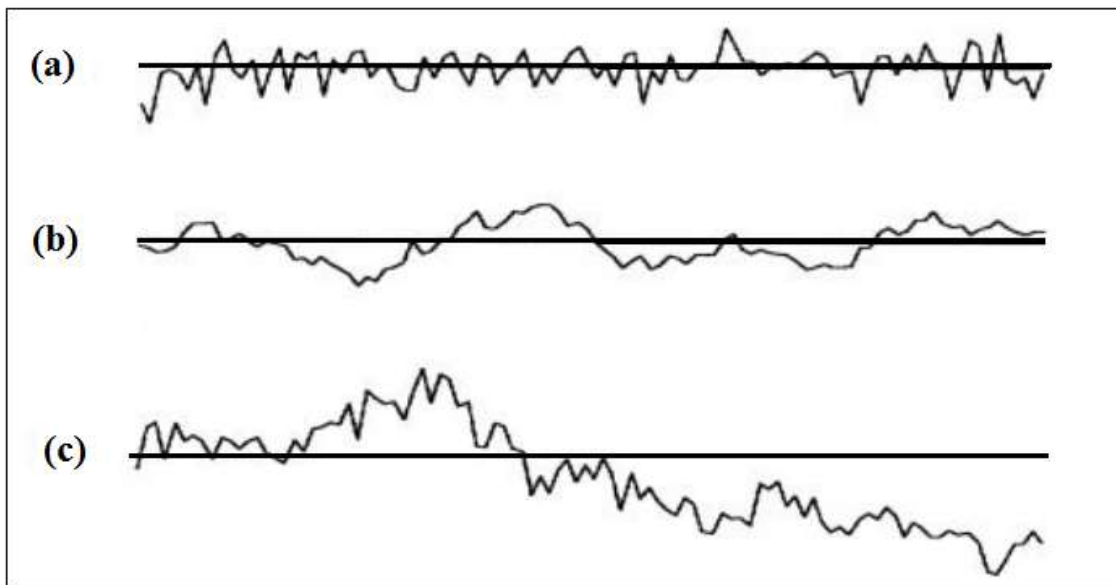
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Box e Jenkins (1970).

A inspeção gráfica é uma ferramenta de grande relevância para determinar processos estacionários e não-estacionários. Observando a correspondência entre modelos autoregressivos e de médias móveis, usando o princípio da parcimônia, os pesquisadores tem como objetivo a utilização de um menor número de parâmetros possíveis, propondo como representação um processo estocástico estacionário. Ocorrendo a não-estacionariedade da

média, quando a estrutura autoregressiva  $\phi(L)$  apresenta raízes no círculo unitário. Será necessário o processo de diferenciação para eliminar tendências polinomiais na média (ROSSI E NEVES, 2014).

A Figura 7 mostra séries temporais com comportamentos distintos, os gráficos (a) e (b) representam séries temporais com variação estacionária, variam de forma estável no tempo, com média constante. O gráfico (c) evidencia uma série temporal não estacionária, a qual não se desloca no tempo com média constante. O gráfico (a) representa uma série com ruído aleatório, onde, as diferenças entre as observações e a média são estatisticamente independentes, seguindo alguma distribuição de probabilidade. O gráfico (b) também é estacionário, porém apresenta ruídos auto-correlacionados, onde as diferenças entre observações e a média não são estatisticamente independentes entre si. A série representada no gráfico (c), mostra uma variação não estacionária, séries encontradas com frequência em aplicações na indústria, em estudos de negócios e economia.

Figura 7 – Séries estacionárias e não-estacionárias



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Box e Luceño (1997).

Para desenvolvimento desta pesquisa foi utilizada a suposição básica para análise de séries temporais que o processo é estacionário, ou seja, oscila ao redor de uma média constante e variância constante, o que possibilita fixar parâmetros no modelo válidos para previsão do futuro a partir do passado (ROSSI E NEVES, 2014).



Os processos estacionários mais utilizados são os autoregressivos de ordem  $p$ , representados por  $AR(p)$ , de médias móveis de ordem  $q$ , representados por  $MA(q)$  e os autoregressivos e de médias móveis de ordem  $p$  e  $q$ , representados por  $ARMA(p,q)$ , (MORETTIN, 2011). Os modelos podem ser descritos em sua forma genérica conforme as Equações 11, 12 e 13.

**AR(p):**

$$Y_t = \mu + \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (11)$$

Onde:

$\mu$ : constante ou ponto de intercepto

$\phi_p$ : é o fator do coeficiente autoregressivo

$\varepsilon_t$ : são os erros aleatórios

**MA(q):**

$$Y_t = \mu + \theta_0 + \varepsilon_t - \theta_1 Y \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (12)$$

Onde:

$\mu$ : constante ou ponto de intercepto

$\theta_q$ : é o fator do coeficiente média móvel

$\varepsilon_t$ : são os erros aleatórios

**ARMA (p,q):**

$$Y_t = \mu + \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 Y \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (13)$$

Porém, Morettin (2011) alerta que muitas séries financeiras não são estacionárias, expressam médias ou variâncias não constantes, variando com o tempo. No caso de não estacionariedade da média, o nível médio não constante pode ser modelado através de um processo autorregressivo integrado e de médias móveis ARIMA, onde certas transformações logarítmicas usualmente estabilizam a variância, entendidas como a incorporação de diferenças

$(D^d Y_t)$  no modelo ARMA. O modelo pode ser descrito em sua forma genérica conforme a Equação 14.

### ARIMA (p,d,q)

$$W_t = \phi_1 W_{t-1} + \dots + \phi_p W_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (14)$$

Onde:  $Y_t = \Delta^d W_t$

Este estudo baseou-se no ciclo iterativo para construção de vários modelos para escolha parcimoniosa do mais adequado. Para Box e Jenkins (1970) consiste na escolha do modelo com menor número de parâmetros. A identificação do modelo é realizada com base nas funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelações parciais (FACP) que para Morettin (2011, p.73):

- i) um processo AR(p) tem f.a.c. infinita em extensão que decai de acordo com exponenciais e/ou senoides amortecidas;
- ii) um processo MA(q) tem f.a.c. finita, no sentido que ela apresenta um corte após a defasagem q;
- iii) um processo ARMA(p,q) tem f.a.c. infinita que decai de acordo com exponenciais e/ou senoides amortecidas após a defasagem (q-p).

O autor complementa que estas observações são importantes no procedimento de identificação do modelo, calculando-se estimativas da (FAC) que acredita-se reproduzir adequadamente as verdadeiras (FAC) desconhecidas e comparando seu comportamento para cada modelo, primando escolher aquele que descreva a serie observada. A função de autocorrelação (FAC) é útil para identificação de modelos MA(q), porém em modelos ARMA(p,q) apresentam (FAC) complexa, propõe-se a utilização da função de autocorrelação parcial (FACP), definido por Morettin (2011, p.76):

- i) em um processo AR(P) a f.a.c.p é da forma  $\phi_{kk} \neq 0$ , para  $k \leq p$  e  $\phi_{kk} = 0$ ,  $k > p$
- ii) em um processo MA(q) a f.a.c.p. se comporta de maneira similar à f.a.c. de um processo AR(p), isto é, composta por exponenciais e/ou senoides amortecidas;
- iii) um processo ARMA(p,q) tem f.a.c.p. que se comporta como a f.a.c.p. de um processo MA puro.

Cabe ressaltar que a utilização da função de autocorrelação parcial é útil para modelos AR puros, não sendo funcional para identificação e modelos MA e ARMA. Diante do exposto, demonstra-se a relevância das técnicas de previsão para colaborar com o gerenciamento da industria, auxiliando no processo de tomada decisão e atuando na redução de custos. A pesquisa

de Breitung e Hafner, (2016) para estimar as volatilidades diárias do retorno dos índices de preços das ações da S & P 500 propôs um modelo simples para as volatilidades de representação ARMA, específica dos retornos quadrados log-transformados, que permite estimar a volatilidade atual como uma função dos retornos atuais e passados. Segundo os autores, a investigação pode ser vista como um modelo de volatilidade estocástica com perfeita correlação entre os dois termos de erro. Concluindo que a atualidade da volatilidade é invariante para essa correlação e, portanto, as volatilidades estimadas coincidem.

### **2.3.5 Modelo de Croston**

Em geral, as pesquisas que utilizam modelos econométricos para desenvolvimento de previsões, partem do pressuposto que as observações são contínuas. Entretanto, as séries podem apresentar valores intermitentes, caracterizado por Petropoulos et al. (2016) como tamanhos de demanda variáveis, juntamente com chegadas de demanda irregulares, contendo observações iguais a zero. Syntetos e Boylan, (2005) caracterizam como demanda intermitente, aquela que aparece esporadicamente em alguns períodos de tempo, evidenciando demanda zero.

Para analisar o comportamento das paradas de produção, realizou-se o agrupamento dos tempos de parada de produção em períodos equiespaçados de 24 horas. Onde observou-se a ocorrência de 301 casos em que não foram registrados tempos de parada de máquina. A incerteza na ocorrência destas paradas de produção, igualando-se a demanda zero, dificulta o gerenciamento da indústria e o desenvolvimento de estratégias, sendo necessário buscar na modelagem e previsão, melhorias nas informações gerenciais para tomada decisão.

O método de alisamento exponencial simples é frequentemente utilizado para tratar séries intermitentes, contudo, Croston (1972) propôs realizar separadamente duas suavizações exponenciais. Uma sobre a previsão, estimando a previsão média futura. E a outra, aplicada a suavização exponencial simples sobre o intervalo entre as observações, estimando o intervalo médio futuro. Syntetos e Boylan,(2005) comprovaram o viés do modelo de Croston, evidenciando que se não ocorrer demanda no espaço entre uma revisão do período e outro (período  $t$ ), o método somente incrementa a contagem dos períodos desde a última demanda.

Syntetos e Boylan (2005) desenvolveram um novo estimador de demanda média, a partir do método de Croston, utilizando a mesma constante de suavização para atualizar tamanhos de demanda e intervalos de demanda, baseado na suposição de estacionariedade da série

A suavização exponencial simples (SES) e as médias móveis simples (SMA) são constantemente utilizadas em previsões para demanda intermitente, porém, sua aplicabilidade em séries intermitentes é bastante discutida (Wallström and Segerstedt, 2010). Para Lolli et al., (2017), o viés do alisamento exponencial simples como preditor de demanda intermitente levou à investigação de novos métodos, destacando o estudo de Croston, (1972) que evidenciou a natureza tendenciosa do alisamento exponencial simples (SES) quando aplicado em a demanda intermitente.

Para Wallström e Segerstedt, (2010) o modelo de Croston é mais assertivo do que a (SES), propondo realizar separadamente duas suavizações exponenciais. Uma sobre a previsão, estimando a previsão média futura. E a outra, aplicada a suavização exponencial simples sobre o intervalo entre as observações, estimando o intervalo médio futuro.

A estimativa de suavização exponencial do tamanho médio da demanda, conforme Equação 15, é dada por:

$$\hat{Z}_t, E(Z_t) = E(\hat{Z}_t) = \mu \quad (15)$$

O intervalo médio entre as incidências da demanda, conforme Equação 16, é dado por:

$$\hat{P}_t, E(P_t) = E(\hat{P}_t) = P \quad (16)$$

A previsão para o próximo período, conforme Equação 16, é dada por:

$$\hat{Y}_t = \frac{\hat{Z}_t}{\hat{P}_t} \quad (17)$$

A estimativa esperada para a demanda para o período, conforme equação 18, é dada por:

$$E(\hat{Y}_t) = E\left(\frac{\hat{Z}_t}{\hat{P}_t}\right) = \frac{E(\hat{Z}_t)}{E(\hat{P}_t)} = \frac{\mu}{P} \quad (18)$$

Syntetos e Boylan,(2005) comprovaram a existência de um viés do modelo de Croston, evidenciando que se não ocorrer demanda no espaço entre uma revisão do período e outro (período t), o método somente incrementa a contagem dos períodos desde a última demanda. A comprovação é apresentada nas Equações 19 e 20.

$$E\left(\frac{\hat{Z}_t}{\hat{P}_t}\right) = E(\hat{Z}_t) E\left(\frac{1}{\hat{P}_t}\right) \quad (19)$$

$$E\left(\frac{1}{\hat{P}_t}\right) \neq \frac{1}{E(\hat{P}_t)} \quad (20)$$

Syntetos e Boylan (2005) desenvolveram um novo estimador de demanda média, a partir do método de Croston, utilizando a mesma constante de suavização para atualizar tamanhos de demanda e intervalos de demanda, baseado na suposição de estacionariedade da série.

Syntetos e Boylan, (2005) apresentaram um procedimento aproximadamente imparcial que, no entanto, é caracterizado por um menor erro de estimação paramétrico (variância das estimativas) do que o associado ao método anterior. Este estimador é conhecido na literatura como o método SBA (Babai et al., 2014), expresso nas Equações 21, 22 e 23.

$$E(Y_t) = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\hat{Z}_t}{\hat{p}_t} \quad (21)$$

$$\hat{Z}_t = \alpha Z_t + (1 - \alpha)\hat{Z}_{t-1} \quad (22)$$

$$\hat{P}_t = \alpha P_{t+1} + (1 - \alpha)\hat{P}_{t-1} \quad (23)$$

$E(Y_t)$ : previsão de demanda

$\hat{Z}_t$  : previsão do tamanho da demanda

$Z_t$ : tamanho da demanda

$\hat{P}_t$ : previsão do intervalo da demanda

$P_t$ : intervalo da demanda

$\alpha$ : coeficiente de suavização

Os estudos atuais ressaltam as dificuldades para a realização de previsões em séries intermitentes, propondo combinações com vários procedimentos econométricos para obtenção de melhores ajustes e maior assertividade nas previsões. Para Nikolopoulos et al., (2016) um dos maiores desafios para a gestão de operações é prever com maior precisão possível a demanda intermitente. Em seu estudo utilizou uma estrutura conceitual para aplicação do método do vizinho mais próximo *nearest neighbors* (NN), evidenciando melhora na

previsibilidade de séries temporais quando aplicado de forma seletiva. Contudo, o método perde desempenho com elevados níveis de intermitência na série.

Com base nos conceitos expostos, para tratar os 301 casos de intermitência na série temporal formada pelo agrupamento das horas de parada de produção, foi utilizado o modelo proposto por Croston (1972) modificado por Syntetos e Boylan (2005), visto que, grande parte dos softwares estatísticos utilizam como pressuposto que a série observada é contínua ao invés de intermitente. Além disso, percebeu-se que a série de parada de máquinas apresenta variâncias que mudam ao longo do tempo. O comportamento da série é semelhante ao comportamento dos retornos dos ativos financeiros, que segundo Rossi e Neves (2014) podem apresentar alta volatilidade por diversos períodos consecutivos, em seguida, apresentarem baixa volatilidade para os próximos períodos. Para Gujarati (2006) conhecer a volatilidade é muito importante para as diversas áreas do conhecimento, principalmente, quando os dados apresentam aglomeração de volatilidade com extensos períodos de oscilação, seguidos por períodos de estabilidade. Justificando a utilização dos modelos ARCH, apresentados a seguir.

### 2.3.6 Modelo ARCH

O modelo de heterocedasticidade condicional autoregressiva (ARCH) é uma importante ferramenta para análise e previsão de volatilidade (Mousazadeh e Karimi, 2009). Esta técnica parametriza a variação condicional no tempo usando valores absolutos ao quadrado, considerando a acumulação de volatilidade e o excesso de curtose (Mousazadeh e Karimi, 2009). Isso permite aplicação do ARCH para modelar a imprevisibilidade; a forte dependência da variabilidade instantânea de uma série temporal em seu próprio passado.

Séries sobre retornos de ativos financeiros tem variâncias que mudam ao longo do tempo. Tais retornos podem apresentar alta volatilidade por vários períodos seguidos, e posteriormente, apresentar baixa volatilidade por outros períodos seguidos. Isso significa que a variância condicionada a série é heterocedástica, representada pela equação de erro dada por (ROSSI E NEVES, 2014), conforme Equação 24.

$$\varepsilon_{t+1} = \sigma_t \nu_{t+1} \quad (24)$$

Em que  $\nu_{t+1}$  é um ruído branco com variância constante.

O modelo ARCH de ordem  $q$  é definido como um modelo AR( $q$ ) onde  $\{r_t\}$  é condicionado à informação avaliada no tempo  $t-1$ , ou seja, tem heterocedasticidade condicionada autoregressiva, conforme proposto por Engle (1982) na Equação 25.

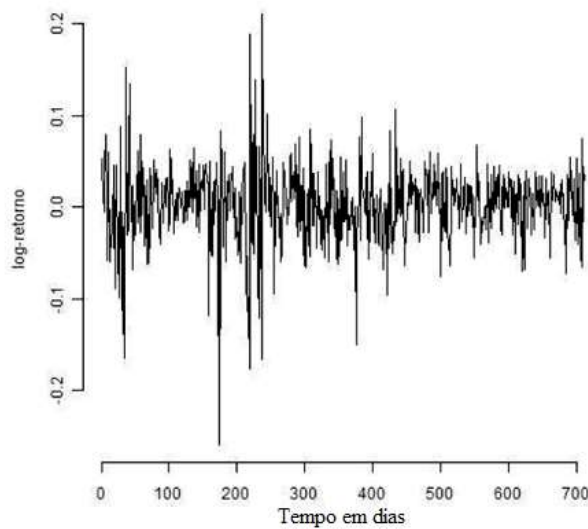
$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2, \text{ com } \alpha_0 > 0 \text{ e } \alpha_i \geq 0 \quad (25)$$

A partir disso, a formulação do modelo ARCH é apresentada na Equação 26.

$$z_t = \varepsilon_t \left[ \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

Para verificar adequação do modelo estimado, pode-se calcular a estatística Q de Ljung-Box para a sequência de  $Z_t$  ou calcula-se os coeficientes de assimetria e curtose estimados. A partir da Figura 8, pode-se verificar a inspeção gráfica da série temporal com presença de volatilidade.

Figura 8 – Séries com volatilidade



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Gujarati (2006).

Para Ewing e Thompson, (2008) os modelos ARCH possibilitam prever a volatilidade futura em uma série temporal quando a variância varia de tempo. Sua aplicabilidade na cadeia de suprimentos, aliado ao conhecimento das condições comerciais macroeconômicas podem ser relevantes para auxiliar as empresas na elaboração do seu planejamento. Os resultados

evidenciaram que a volatilidade da produção é variável no tempo e pode ser prevista na maioria dos casos examinados, além disso, a superestimação da produção impacta em maior aumento de volatilidade do que a subestimação (EWING ETHOMPSON, 2008).

A pesquisa de Ginama, (1996) utilizou uma abordagem condicional de segundo momento para a hipótese de suavização de produção do investimento em estoques em uma indústria no Japão. Por meio da utilização de um modelo ARCH, evidenciou a importância em explicar as regras de decisão de produção e inventário, com relação aos erros de antecipação de vendas. Uma abordagem para riscos financeiros proposta por Noureldin et al., (2014) apresenta uma nova classe de modelos de volatilidade multivariada, utilizando a segmentação de covariância. Os autores designaram o modelo ARCH girado (RARCH). A pesquisa investigou uma técnica de rotação para retornos brutos, o que leva a modelos de volatilidade multivariada de fácil ajuste através da segmentação de covariância.

Hafner e Preminger, (2015) indagou em seu estudo a teoria da estimativa de um modelo ARCH sem o termo de intercepção estritamente positivo. Considerando como um caso especial não degenerado uma caminhada aleatória de volatilidade logarítmica, atribuída pelos autores como caso de estabilidade. Para o modelo ARCH (1) sem interceptação, o estudo deriva a teoria assintótica do estimador de máxima verossimilhança e propõe um teste da hipótese de estabilidade. A evidência numérica ilustra as propriedades da amostra finita do estimador de máxima verossimilhança e o teste de estabilidade (HAFNER AND PREMINGER, 2015).

Para Gujarati, (2006) o conhecimento sobre a volatilidade é importante para as diversas áreas do conhecimento. No mercado financeiro, influencia o planejamento das empresas expostas as flutuações das taxas de câmbio. Além disso, os investidores do mercado de ações possuem interesse na volatilidade das cotações, podendo implicar em grandes perdas ou ganhos, devido à incerteza do mercado. As reflexões teóricas realizadas, ratificam a importância para realização de novos estudos, propondo outras aplicações para os modelos de heterocedasticidade condicional auto-regressiva – ARCH, em séries industriais com comportamento semelhante as séries financeiras.

#### 2.4. CRITÉRIOS DE ACURÁCIA

Partindo da premissa que o modelo investigado seja a expressão simplificada de uma situação real, destinado a investigar aspectos sobre o problema, surgem necessidades para definição de qual melhor modelo representa a série em estudo. Para Lemos (2006), a escolha



do melhor modelo é realizada a partir do *Akaike Information Criterion* (AIC), definido como critério que fornece pontuação para o modelo, baseado em sua adequação aos dados e na ordem proposta. Neste sentido, a escolha do modelo mais parcimonioso será aquele que minimizar o AIC, apresentando o menor valor conforme Equação 27.

$$AIC = \hat{\ell}_n \delta^2 \varepsilon_t + \frac{2(p+q)}{n} \quad (27)$$

Onde  $\hat{\ell}_n \delta^2 \varepsilon_t$  é o estimador de máxima verossimilhança de  $\delta^2$

Após a identificação do modelo provisório, é necessário a estimação dos seus parâmetros, sendo indicado para análise dos modelos AR, MA e ARMA o método dos mínimos quadrados (MQ) e máxima verossimilhança (MV).

Rossi e Neves (2014), esclarece que uma das formas para monitorar o desempenho do modelo é por meio da verificação do comportamento do indicador de erro de previsão. O erro percentual absoluto médio (MAPE), considera desvios relativos ou percentuais no cálculo do erro, expressando a diferença entre o valor atual e o previsto dividido pelo valor atual. O módulo deste cálculo, é então, somado para cada previsão e dividido pelo número total de pontos previstos, conforme Equação 28.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Z_t} \right| \times 100 \quad (28)$$

Outra medida de acurácia conforme Rossi e Neves (2014), é a raiz do erro quadrático médio (RMSE) que mede a magnitude média do erro. Como os erros são elevados ao quadrado antes de ser calculada a média, o RMSE fornece um peso maior aos erros maiores. Isso significa que o RMSE é mais útil quando grandes erros são particularmente indesejáveis, conforme expresso na Equação 29.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (29)$$

Na ótica de Rossi e Neves (2014), nenhuma das medidas citadas anteriormente fornece boa base de comparação ordinal quanto aos ganhos de acuracidade auferidas pelo uso de determinado método de previsão em detrimento de outro. Dentro deste contexto, a estatística

U-Theil é adequada, pois permite uma comparação relativa entre métodos de previsão formais, expresso conforme Equação 30.

$$UTheil = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Z_t - \hat{Z}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Z_t - Z_{t-1})^2}} \quad (30)$$

Quanto mais próximo o valor de U-Theil for de zero, maior será o ajustamento da série prevista em relação a série original. Em contrapartida, valores mais próximos da unidade indicam que o modelo não conseguiu fazer boas previsões (MAKIDRAKIS; WHEELWRIGHT; HYNDMAN, 1998).

Esta métrica mede o quanto os resultados estão melhores que uma previsão ingênua. Decide-se a qualidade de uma previsão pela seguinte regra, se  $U \geq 1$ , o erro do modelo é maior que o erro ingênuo; ou se  $U < 1$ , o erro do modelo é menor que o erro ingênuo, e considera-se adequada a previsão. Portanto, quanto mais próximo de zero for U, melhor será o modelo de previsão proposto pelo estudo. Um dos objetivos da análise de séries temporais é avaliar os modelos em relação a previsibilidade de valores futuros, onde a previsão não constitui-se de um fim, e sim, de um meio para fornecer informações que auxiliam no processo de tomada decisão, visando atender aos objetivos traçados nos diversos estudos, das diferentes áreas do conhecimento (MORETTIN E TOLOI, 2006).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

São apresentados, neste capítulo, os procedimentos metodológicos, bem como os aspectos necessários para caracterização do estudo, relacionados ao problema de pesquisa e aos procedimentos utilizados para atender aos objetivos propostos, explicitando as condições materiais e temporais para o desenvolvimento do estudo (MOREIRA E CALLEFFE, 2008).

A pesquisa pode ser entendida como um processo formal que direciona o método científico para o conhecimento da realidade ou para a descoberta de verdades parciais (MARCONI E LAKATOS, 2004). Moreira e Caleffe (2008) ressaltam que a característica essencial da pesquisa é primar pelo desenvolvimento do conhecimento, buscando a compreensão dos eventos e processos, incluindo: descrições, explicações, interpretações, orientações, como também, os métodos para se chegar a esse conhecimento. Pode-se definir o método como fases dispostas de forma ordenada para investigar uma verdade, a fim de atingir determinada finalidade, conforme conceitua Silva (2003). A partir dos conceitos expostos, a pesquisa foi classificada quanto a abordagem, aos objetivos e os procedimentos técnicos.

A pesquisa se caracteriza, quanto a abordagem do problema, como quantitativa, definida por Sampieri, Collado e Lucio (2013) como aquela que visa explicar e prever fenômenos, buscando regularidades e relações causais entre elementos, tendo como meta principal a construção e a demonstração de teorias, onde os dados gerados terão padrões de validade e confiabilidade e suas conclusões contribuirão para gerar conhecimento. Os autores destacam que a pesquisa quantitativa ocorre a partir da realidade externa do indivíduo, o que permite uma explicação sobre como a realidade é entendida com essa abordagem de pesquisa.

Moreira e Caleffe (2008) conceituam a abordagem quantitativa como aquela que explora as características e situações de que dados numéricos podem ser obtidos e mensurados com métodos estatísticos. Esta abordagem almeja a quantificação das coletas de informações e o tratamento delas por meio de técnicas estatísticas. Richardson (1999) destaca que o método quantitativo anseia a precisão dos resultados, evitando distorções nas análises e interpretações, permitindo uma margem de segurança quanto as inferências.

Na ótica de Sampieri, Collado e Lucio (2013), as pesquisas quantitativas pretendem generalizar os resultados encontrados em um grupo ou amostra, para uma coletividade maior, considerada o universo da população, permitindo que os estudos realizados possam ser replicados. Diante do exposto, a pesquisa utilizou abordagem quantitativa para prever o tempo de parada de produção, em série intermitente em uma indústria de bebidas, por meio da

utilização de modelos econométricos, aplicados em conjunto à análise da eficiência global dos equipamentos.

O objetivo de uma pesquisa, de forma geral, é obter a resposta para um determinado problema, evidenciando a solução para alguma necessidade humana. Para se classificar uma pesquisa é necessário a definição de critérios, onde usualmente se utilizam os seus objetivos gerais. Para Sampieri, Collado e Lucio (2013) as pesquisas descritivas são aquelas que buscam especificar as propriedades, as características e os perfis de pessoas, grupos, comunidades, processos, objetos ou qualquer outro fenômeno que se submeta a uma análise. Bem como, especificar características e traços importantes de qualquer fenômeno, descrevendo tendências de um grupo ou população (SAMPIERI, COLLADO E LUCIO, 2013).

Na contribuição de Moreira e Caleffe (2008), a pesquisa descritiva é um estudo de status que é amplamente utilizado, pois baseia-se na premissa de que os problemas podem ser resolvidos e as práticas melhoradas por meio da observação objetiva e minuciosa da análise e descrição. A partir disso, o estudo foi caracterizado como descritivo que segundo Gil (2007), tem como objetivo principal a descrição das características de determinada população, fenômeno ou o estabelecimento de relações entre as variáveis.

Um aspecto importante para a metodologia da pesquisa é a definição do tipo de estudo que será desenvolvido, de acordo com as necessidades do pesquisador, pois é ele que auxiliará no alcance dos objetivos definidos, conforme Silva (2003). Este estudo utilizou fundamentos da pesquisa documental, visto que, foram pesquisados materiais que não receberam tratamento analítico. Nesta etapa da pesquisa, foram analisados os relatórios gerenciais da produção, fornecidos pelo *Enterprise Resource Planning (ERP)* utilizado pela empresa, assim como, informações sobre o processo produtivo, plano de manutenção e principalmente sobre os indicadores de desempenho dos equipamentos.

Gil (2010) conceitua documento como qualquer objeto capaz de comprovar um fato ou acontecimento, como regulamentos, boletins, documentos de órgãos públicos, memorandos, folhetos, manuais e cartilhas que contribuam para o desenvolvimento do estudo. Ainda quanto ao delineamento da pesquisa, classifica-se como estudo de caso, que na concepção de Gil (2010), consiste no estudo profundo de um ou poucos objetos, de forma que possibilite seu amplo e detalhado conhecimento com propósito em permitir uma visão global do problema, identificando possíveis fatores que o influenciam ou são influenciados por este (GIL, 2010).

Neste estudo, inicialmente, realizou-se uma revisão de literatura sobre a gestão estratégica da produção e da informação. Além disso, foram discutidas as principais

contribuições de outras pesquisas em relação à análise de perdas sob a ótica da manutenção produtiva total e os indicadores de gestão industrial e eficiência global dos equipamentos. Também foram pesquisadas literaturas sobre os modelos de previsão e critérios de acurácia, elencando contribuições de outros estudos já realizados.

Os dados utilizados para análise desta pesquisa foram obtidos por meio dos relatórios gerenciais fornecidos pelo *Enterprise Resource Planning (ERP)*, utilizado pela empresa para gerenciamento das suas 4 linhas de envase, sendo denominadas: Linha 1 – Produção Retornável; Linha 2 – Produção Descartável; Linha 3 – Produção Pet 3 e Linha 4 - Produção Lata. Para viabilizar o estudo, foi utilizado como critério de seleção a representatividade financeira no imobilizado industrial total das 4 linhas de envase. Sendo a Linha 3 – Produção Pet 3, o maior investimento realizado em ativos fixos, possuindo 19% dos 43 milhões de reais aplicados ao setor produtivo.

O período em análise compreende o ano de 2012 a 2016, com informações diárias. Os dados foram analisados em comparação às horas totais para o período referido, totalizando 40.947 horas disponíveis para produção, organizados por *status* designação de operação de máquinas conforme Figura 9.

Figura 9 – Tempo em horas e significância percentual para designação de máquinas

<b>Designação de Operação</b>	<b>Horas</b>	<b>(%)</b>
Produção	17.742,73	43,33%
Sem Programação	15.552,64	37,98%
Manutenção Mecânica	1.900,89	4,64%
Parada Operação	1.680,09	4,10%
Parada Set Up	1.331,56	3,25%
Parada Cip	1.213,41	2,96%
Parada Manutenção Elétrica	642,10	1,57%
Parada Externas	444,83	1,09%
Parada Qualidade	224,53	0,55%
Parada do Grupo de Status	92,36	0,23%
Parada Programada	91,32	0,22%
Parada Não Identificado	23,85	0,06%
Parada de Máquina	5,70	0,01%
Parada Almoxarifado	1,16	0,00%
<b>Total</b>	<b>40.947,17</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do relatório gerencial de paradas produção

Atualmente, a gestão da fábrica dispõe de um *software* denominado *PC - Factory* desenvolvido pela *PPI-Multitask*, focado no gerenciamento das operações de manufatura, organização do planejamento e controle da produção, qualidade, manutenção e estoques, com base na automação da coleta de dados e monitoramento online do chão de fábrica. Os dados consistem nas informações sobre os registros dos tempos horários de parada de produção nos grupos de máquinas da Linha 3, em formato de hora centesimal, gerados a partir do módulo de controle estatístico de produção do ERP.

Para compor a série histórica diária das paradas de produção, foram desconsideradas as horas em que os equipamentos permaneceram em produção ou sem produção, sendo que os dados foram agrupados em períodos equiespaçados de 24 horas. O total de horas de paradas não previstas no processo produtivo totalizam 18,46% das horas totais disponíveis para o grupo de máquinas da Linha 3. Quando comparado ao tempo de produção efetiva, representam 42,61% das horas totais disponíveis ao processo de envase de bebidas.

Para analisar o comportamento das paradas de produção, optou-se pela utilização de séries temporais, ajustando o melhor método de previsão para as horas de parada de máquinas que afetam a eficiência global dos equipamentos e a produtividade. Com o agrupamento dos tempos de parada de produção em períodos equiespaçados de 24 horas, observou-se a ocorrência de 301 casos em que não foram registrados tempos de parada de máquina.

Para viabilizar a utilização de séries temporais, foi aplicado o método de suavização exponencial proposto por Croston modificado por Syntetos e Boylan, para tratar a intermitência da série. Nesta fase da pesquisa, foi utilizado o software Statistica 9.1 para análise da grade de parâmetros de suavização, sendo utilizado como critério de seleção para o alpha, aquele com menor valor para o erro quadrático médio. Após a identificação do alpha mais adequado, realizou-se a previsão do instante com demanda zero, com base da demanda real anterior. Este processo foi realizado individualmente para os 301 casos de intermitência, evitando a previsão de longos períodos com o mesmo valor previsto. Os dados da suavização realizada são apresentados no Apêndice A.

Posteriormente, com a série completa, realizou-se análise descritiva por ano, na qual foram apresentados a média, mediana, valor mínimo e o máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e curtose para os tempos de parada de produção de 2012 a 2016. Em seguida, realizou-se o teste de heterocedasticidade para verificar se há volatilidade significativa na série, utilizando o *software* *Eviews* 9.0. Foram analisados os modelos de médias móveis, alisamento exponencial simples, ARIMA e ARCH, utilizando o *software* *Eviews* 9.0.

O comportamento da série é semelhante ao comportamento dos retornos dos ativos financeiros, que segundo Rossi e Neves (2014) podem apresentar alta volatilidade por diversos períodos consecutivos, em seguida, apresentarem baixa volatilidade para os próximos períodos.

Para Gujarati (2006) conhecer a volatilidade é muito importante para as diversas áreas do conhecimento, principalmente, quando os dados apresentam aglomeração de volatilidade com extensos períodos de oscilação, seguidos por períodos de estabilidade. Desta forma, justifica-se a utilização, a partir da pesquisa proposta por Ewing e Thompson (2008), de modelos ARCH na série de paradas de produção, aliado ao conhecimento das condições comerciais macroeconômicas relevantes, para auxiliar as empresas na elaboração do seu planejamento.

Para verificar acurácia do ajuste do modelo proposto utilizou-se o *Akaike Information Criterion* (AIC) conceituado por Lemos (2006), objetivando selecionar o modelo mais parcimonioso. A qualidade da previsão do modelo foi verificada pela obtenção dos menores valores para o erro percentual absoluto médio (MAPE), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e a estatística U-Theil, definidos por Rossi e Neves (2014).

Os resultados e conclusões desta pesquisa, serão apresentados na próxima seção em formato de artigo científico intitulado: A importância para a determinação da volatilidade em séries intermitentes dos tempos de parada de produção/ *The importance for the determination of volatility in intermittent series of production stop times*, seguindo os padrões estabelecidos para publicação pelo *International Journal of Production Economics*, com qualis A1 para engenharias III, visando submissão futura. O artigo foi estruturado da seguinte forma: 1. Introdução, 2. Revisão de Literatura, 3. Procedimento de pesquisa, 4. Resultados e Discussões, 5. Conclusão e Referências.

A Seção 1 apresenta os objetivos do trabalho e a base para o desenvolvimento da pesquisa. A Seção 2 apresenta a base teoria, estabelecendo a fundamentação para o estudo a partir de outras pesquisas publicadas no periódico. A seção 3 evidencia a estratégia para o desenvolvimento do estudo, com apresentação conceitual dos modelos. A Seção 4 apresenta os resultados e discussões a partir da aplicação das teorias apresentadas. A Seção 5 conclui e apresenta sugestões para estudos futuros.

#### 4 ARTIGO:

##### THE IMPORTANCE FOR THE DETERMINATION OF VOLATILITY IN INTERMITTENT SERIES OF PRODUCTION STOP TIMES.

**A B S T R A C T** - To meet the needs and longings of consumers, such as processing industries and realizing large investments in stocks, apply to meet the minimum requirements imposed by the market as a quality and low selling price. This is possible, from a solid business management, whose objective is to boost the investments made by the organization. The implementation of continuous improvements in the production process, together with the use of tools to help decision making, through the provision of information, to allow the management of production in real time, enable an improved company its production capacity avoiding the financial impact that unplanned manufacturing stops can cause. Thus, this study aimed to evaluate the behavior of hourly records of production stops, in an intermittent series with presence of volatility, of a beverage manufacturing industry, through the use of economic models, applied together the analysis of the overall efficiency of the equipment, for that, were collected from 2012 to 2016. The study was developed through a literature review, of the descriptive and quantitative type. The data were obtained by the users, through an intermittent time series, adjusted by the Croston method, aiming at an intermittent series for the values equal to zero. The model AR (1) - ARCH (1) C was used to forecast the model, being the best fit among the models investigated for hourly machine stop records, and can be used as reference for industries that have intermittent series for fault management . The overall equipment efficiency and productivity of the period were affected by the variability in production shutdowns without a machine park.

**Keywords:** AR-ARCH models. Intermittent Series. Production stop



## 1. Introdução

Medir continuamente a eficácia dos equipamentos permite melhor monitoramento da produção, possibilitando aos gestores traçar ações ágeis em eventuais distúrbios no processo de fabricação, e também, estabelecer programas de melhoria contínua de médio e longo prazo (JAUREGUI BECKER et al., 2015). Essas informações devem contribuir para a gestão das paradas de produção, visto ao seu reflexo no resultado financeiro das empresas. A identificação e mensuração de suas causas são fatores estratégicos para o gerenciamento industrial, principalmente quando se referem às perdas ocasionadas por falhas no parque de máquinas que reduzem a produtividade e aumentam os custos de produção.

O estudo dos registros horários de paradas de produção com a utilização de técnicas de previsão estatística contribuem para obtenção de informações sobre o comportamento da série, possibilitando a inserção de melhorias na eficiência global dos equipamentos (OEE – *Overall Equipment Efficiency*). Na contribuição de Wudhikarn (2016) a OEE mede a eficácia dos equipamentos aplicados no setor produtivo, avaliando o desempenho das atividades fabris. Diante disso, as incertezas para incidência de paradas de produção, demonstram a relevância de novas aplicabilidades para os métodos de previsão, contribuindo para otimização do parque de máquinas e redução dos custos industriais. Nikolopoulos et al. (2016) ressaltam que a imprecisão enfrentada pelos gestores, torna a tarefa de previsão desafiante devido à natureza esporádica das paradas de produção e a ocorrência de períodos com demanda zero.

Isso aproxima o comportamento das paradas de produção aos itens de reposição dos estoques *stock keeping unit (SKUs)*, apresentando demanda intermitente, caracterizado no estudo de Petropoulos et al. (2016) como as variações irregulares ocorridas na demanda com observações iguais a zero. Ferbar Tratar (2015) destaca a grande aplicabilidade nos ambientes empresariais do método de suavização exponencial como ferramenta de previsão para demanda intermitente, principalmente aplicado nas projeções sobre os níveis de estoques e vendas. Contudo, a natureza tendenciosa da suavização exponencial foi comprovada por Croston (1972), onde seu método mostrou-se apropriado para a previsão de tempo intermitente, fornecendo melhores resultados aos métodos convencionais (KOURENTZES, 2013). As pesquisas de Syntetos e Boylan (2005) evidenciaram que o método original de Croston (1972) apresentava estimador tendencioso, propondo uma versão modificada do método de Croston com maior precisão nas previsões.

A série com os registros horários de paradas de produção, ainda podem apresentar o fenômeno de aglomeração de volatilidade, possuindo períodos de grandes oscilações, seguidos por períodos de estabilidade, o mesmo comportamento das séries de ativos financeiros (MOUSAZADEH; KARIMI, 2009).

Este estudo objetivou prever o tempo de paradas de produção, em série intermitente em uma indústria de fabricação de bebidas, ajustando modelos econométricos de médias móveis, alisamento exponencial simples, ARIMA e ARCH, analisados em conjunto à eficiência global dos equipamentos (OEE), abrangendo o período de 2012 a 2016, com dados agrupados em intervalos equiespaçados de 24 horas.

Justifica-se que os resultados deste estudo contribuirão para implantação de melhorias no plano de manutenção, a partir do desenvolvimento de estratégias preventivas que reduzam os custos de parada e manutenção de máquinas, propondo novas reflexões sobre a combinação de modelos de previsão e seus impactos na gestão de falhas dos equipamentos industriais.

Para melhor organização, o presente artigo está dividido em 4 sessões, as quais estão estruturadas da seguinte forma: primeiramente, a seção 2 apresenta a revisão de literatura. Em seguida, a seção 3 evidencia a estratégia da pesquisa, com apresentação conceitual dos modelos. A seção 4 apresenta os resultados e as discussões da aplicação prática das teorias apresentadas, por fim, à seção 5 cumpre concluir e apresentar sugestões para pesquisas futuras.

## 2. Revisão de Literatura

A revisão de literatura apresenta conceitos e reflexões que versam sobre a gestão das paradas de máquinas em produção e indicadores para medição do desempenho industrial.

### 2.1 Gestão de paradas de máquinas sob à ótica TPM

Na incessante busca pela otimização dos resultados as empresas enfrentam momentos de crise e estagnação do mercado, como ocorre atualmente nos diversos setores da economia brasileira, influenciados pela falta de credibilidade no governo e o colapso econômico. Esses momentos são decisivos para o desenvolvimento de estratégias que possam assessorar os gestores na percepção de oportunidades no mercado. Jauregui Becker et al., (2015), ressaltam que à medida que os mercados se tornam complexos, as organizações precisam melhorar seus processos para permanecerem competitivas, desenvolvendo estratégias para solucionar gargalos como a incidência de paradas de máquinas, ocasionadas por falhas mecânicas e operacionais, que incrementam o custo financeiro do segmento industrial.

As incertezas para ocorrências das paradas de produção prejudicam o gerenciamento das estratégias industriais, impactando nos planos e no direcionamento das decisões para o futuro, que do ponto de vista de Hansen e Fuglsang (2014), deverá estar apoiado por técnicas de previsão para garantir maior assertividade no processo de gestão. Slack, Chambers e Johnston (2008) complementam que estas perdas envolvem a queda na produtividade devido a redução das horas disponíveis para fabricação, influenciadas pelas quebras, *setup*, tempo ocioso, baixa velocidade, qualidade insatisfatória e perdas com *start-up*.

Nesta ótica, ressalta-se a importância da Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance - TPM*) para gestão de falhas, pois suas ações, conforme Yuniawan et al. (2013), estão direcionadas para restaurar o equipamento a sua condição ideal de trabalho e alterar o ambiente para que esta condição seja mantida, garantido maior produtividade das plantas industriais. Jain et al. (2015), corroboram com este conceito, destacando que a TPM possui como direcionador alinhar os objetivos da organização para evitar as quebras inesperadas, perdas de velocidade e defeitos de qualidade que ocorrem a partir do processo de fabricação.

Samat et al. (2012) destacam que o processo de identificação de falhas pode ocorrer por meio da análise dos registros históricos que geralmente são mantidos pela empresa. Estes dados são os documentos de manutenção diária, contendo as informações coletadas pelo departamento de manutenção. O objetivo é registrar e calcular a ocorrência, frequência ou taxa de perdas que ocorrem no setor de manufatura. As ocorrências podem ser contadas em uma base semanal, mensal ou anual (SAMAT et al., 2012).

Fica evidente a contribuição da manutenção baseada na confiança para definição de estratégias, a fim de reduzir as perdas por paradas indesejadas ou falhas no processo de operação de máquinas, criando direcionadores para gestão empresarial. O estudo de Sevegnani e Martins (2010) realizado em uma linha de usinagem utilizou um sistema de monitoramento automático de paradas de produção que melhorou o aproveitamento da máquina gargalo da linha de usinagem, aumentando em 14% a eficiência global do equipamento (OEE). Este percentual foi considerado representativo pelo autor devido ao aumento da produção sem novos investimentos em equipamentos.

Bekar et al. (2015), utilizaram modelos econométricos, técnicas de *soft computing* e elementos da lógica *fuzzy* para detectar instabilidades na eficiência global dos equipamentos (OEE). Os autores concluíram que a previsão é significativamente importante para reduzir as variações na produção que afetam o desempenho dos equipamentos. O processo de análise de falhas é importante para determinação dos planos de manutenção e conhecimento sobre as causas dos defeitos, que irão fornecer informações para a definição de estratégias e aumentar a

confiabilidade dos ativos (BEKAR et al., 2015). Este processo é eficaz por reunir os principais eventos relacionados ao desempenho dos ativos, proporcionando a criação de um banco de dados histórico que possibilitará informações para tomada de decisão, possibilitando que as práticas de manutenção sejam produtivas e eficazes para a organização.

A modelagem é uma ferramenta importante para auxiliar os gestores no processo de tomada decisão, traçando estratégias para redução dos custos de produção e maximização dos investimentos realizados em ativos fixos. O estudo de Senna e Souza (2016), utilizou o modelo de previsão vetorial de correções de erros (VEC), para verificar a existência de relação de longo prazo entre o investimento bem-estar e variáveis macroeconômicas.

No cenário econômico atual é necessário promover a discussão sobre os métodos que possam auxiliar as indústrias a reduzir seus custos com manutenção e também ampliar sua capacidade de produção por meio da redução das paradas de produção e da utilização de indicadores de desempenho industrial.

## 2.2 Indicadores para desempenho industrial

A implantação de indicadores para desempenho industrial possibilita melhorias no processo de gestão, pois sinalizam com menores índices os aspectos que necessitam de maior atenção e dedicação na empresa, permitindo que novas estratégias sejam desenvolvidas para traçar o plano de ação para os pontos fracos que foram identificados. Para Wudhikarn (2016) as medidas de desempenho podem ser usadas em diversas áreas, como finanças, produção, qualidade e gestão, sendo aplicadas em conformidade aos objetivos dos usuários da informação.

A utilização dos indicadores permite o fortalecimento da gestão empresarial, quando utilizados para o monitoramento da produção, visam a redução das falhas de operação e principalmente as paradas de produção. A partir desta análise, é possível identificar os gargalos na eficiência dos equipamentos que podem comprometer a capacidade de produção e sobre tudo o resultado financeiro da organização. Jauregui Becker et al. (2015), destacam que medir continuamente a eficácia dos equipamentos permite melhor monitoramento da produção aos gerentes e operadores, possibilitando traçar ações ágeis em eventuais distúrbios de produção e, também, para estabelecer programas de melhoria contínua de médio e longo prazo.

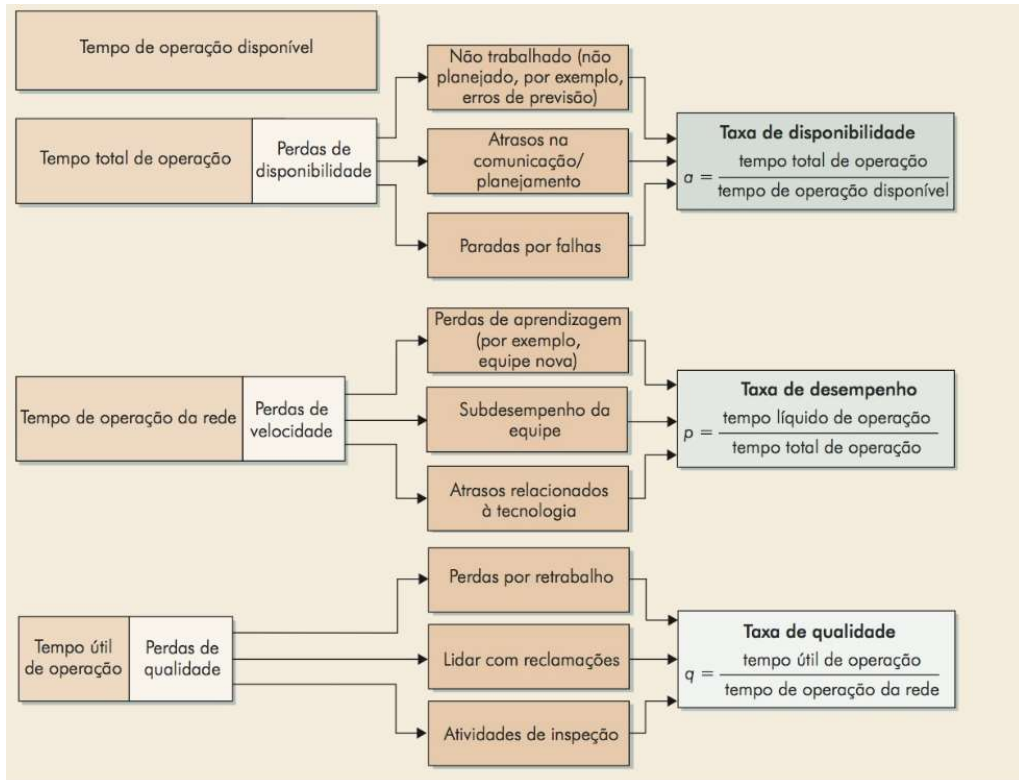
Na ótica de Bekar et al. (2015), muitos estudos concentraram-se na eficiência global dos equipamentos (*Overall Equipment Efficiency – OEE*), como métrica de desempenho para avaliar o impacto das perdas de produção, comparando a produtividade real dos equipamentos com seu potencial teórico. A utilização do indicador OEE permite as indústrias realizar análise sobre as reais condições de uso dos seus ativos. Possibilitando a identificação das perdas incidentes durante o processo de fabricação, monitoradas por meio de índices de disponibilidade, desempenho e qualidade.

Slack et al. (2013) conceituam a medida da eficiência global dos equipamentos como um método para avaliação da eficácia da capacidade, considerando as perdas que podem afetar o desempenho dos equipamentos. Para calcular o OEE, conforme Equação 1, nas plantas industriais é necessário conhecer o tempo no qual o equipamento está disponível para operação, obtendo-se a taxa de disponibilidade (**a**), que mede a razão entre o tempo total de operação e o tempo de operação disponível. Deve-se conhecer também a velocidade de processamento do equipamento por meio da taxa de desempenho (**p**), que expressa a razão entre tempo líquido de operação e o tempo total de fabricação. Outro fator é a qualidade do produto fabricado, mensurado a partir da taxa de qualidade (**q**), calculada entre a razão do tempo útil de produção e o tempo de operação da rede.

$$OEE = a \times p \times q \quad (1)$$

Após o cálculo das taxas **(a)**, **(p)** e **(q)**, a eficiência global dos equipamentos será calculada multiplicando-se a taxa de disponibilidade, a taxa de desempenho e a taxa de qualidade, conforme Figura 1 proposta Slack et al. (2013).

Figura 1 – Eficiência global dos equipamentos (OEE)



Fonte: Slack et al. (p. 279, 2013).

Jain et al. (2015), enfatizam que a eficiência global dos equipamentos pode ser aplicada para auxiliar na melhoria do desempenho de máquinas e processos, identificando as oportunidades com maior impacto no processo produtivo. Os autores corroboram com Slack et al. (2013), ressaltando as três medidas importantes para mensuração do desempenho dos equipamentos, como a disponibilidade que é influenciada pelo tempo de inatividade, como paradas planejadas ou não. A eficiência de desempenho que relaciona a capacidade real do equipamento com a projetada e a taxa de qualidade que possui impactos dos índices de defeitos e retrabalhos (JAIN et al., 2015). A partir disso, a reflexão teórica proposta sobre a eficiência global dos equipamentos, aplicada a gestão de falhas em plantas industriais, ressalta a significância das informações para o processo de tomada decisão.

As dificuldades encontradas para monitorar a OEE estão nas incertezas sobre a ocorrência das paradas de máquinas em produção. O que amplia as propostas científicas para a realização de combinações de procedimentos econométricos para obtenção de melhores ajustes e maior assertividade nas previsões. A pesquisa de Bekar et al. (2015) utilizou a combinação da modelagem *fuzzy* e redes neurais, por meio da *adaptive neuro-fuzzy inference system* (ANFIS), para relacionar e inferir o mau funcionamento dos equipamentos, a má qualidade dos produtos e a gestão da manutenção de máquinas. Os autores concluíram que a TPM pode eliminar os defeitos e variações na produção, além disso, ressaltam que a medição do OEE promove boa orientação sobre qual problema representa maior oportunidade para implementação de melhorias e para a eliminação de riscos.

### 3. Procedimento de pesquisa

Apresenta-se os procedimentos metodológicos da pesquisa, assim como, os procedimentos utilizados para atender aos objetivos propostos. Para analisar a série temporal  $\hat{Z}(t_1), \dots, \hat{Z}(t_N)$  composta pelos registros horários centesimais de paradas de máquinas, observada nos instantes  $(t_1), \dots, (t_N)$ , descreve-se o mecanismo gerador da série com a avaliação do modelo em relação a previsão.

A serie temporal para realização deste estudo consiste nas informações sobre os registros dos tempos horários de parada de produção nos grupos de máquinas da linha de envase em uma indústria de bebidas, em formato de hora centesimal, gerados a partir do módulo de controle estatístico de produção do *Enterprise Resource Planning (ERP)*, no ano de 2012 a 2016, com informações diárias.

Com o agrupamento dos tempos de parada de produção em períodos equiespaçados de 24 horas, observou-se a ocorrência de 301 casos em que não foram registrados tempos de parada de máquina. Para viabilizar a utilização de séries temporais, utilizou-se o método de suavização exponencial proposto por Croston (1972) modificado por Syntetos e Boylan (2005) para tratar a intermitência da série.

O modelo de Croston (1972) propõem a realização de duas suavizações exponenciais, uma sobre a previsão, estimando a previsão média futura, e a outra, aplicada a suavização exponencial simples sobre o intervalo entre as observações, estimando o intervalo médio futuro. A estimativa de suavização exponencial do tamanho médio da demanda, conforme Equação 2, é dada por:

$$\hat{Z}_t, E(Z_t) = E(\hat{Z}_t) = \mu \quad (2)$$

O intervalo médio entre as incidências da demanda, conforme Equação 3, é dado por:

$$\hat{P}_t, E(P_t) = E(\hat{P}_t) = P \quad (3)$$

A previsão para o próximo período, conforme Equação 4, é dada por:

$$\hat{Y}_t = \frac{\hat{Z}_t}{\hat{P}_t} \quad (4)$$

A estimativa esperada para a demanda para o período, conforme equação 5, é dada por:

$$E(\hat{Y}_t) = E\left(\frac{\hat{Z}_t}{\hat{P}_t}\right) = \frac{E(\hat{Z}_t)}{E(\hat{P}_t)} = \frac{\mu}{P} \quad (5)$$

Syntetos e Boylan (2005) comprovaram a existência de um viés no modelo de Croston, evidenciando que se não ocorrer demanda no espaço entre uma revisão do período e outro (período t), o método somente incrementa a contagem dos períodos desde a última demanda. A comprovação é apresentada nas Equações 6 e 7.

$$E\left(\frac{\hat{Z}_t}{\hat{P}_t}\right) = E(\hat{Z}_t) E\left(\frac{1}{\hat{P}_t}\right) \quad (6)$$

$$E\left(\frac{1}{\hat{P}_t}\right) \neq \frac{1}{E(\hat{P}_t)} \quad (7)$$

Syntetos e Boylan (2005) desenvolveram um novo estimador para a demanda média, a partir do método de Croston, utilizando a mesma constante de suavização para atualizar tamanhos e intervalos de demanda, baseado na suposição de estacionariedade. Este estimador é conhecido como o método SBA (BABAI et al., 2014), expresso nas Equações 8, 9 e 10.

$$E(Y_t) = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\hat{z}_t}{\hat{p}_t} \quad (8)$$

$$\hat{Z}_t = \alpha Z_t + (1 - \alpha) \hat{Z}_{t-1} \quad (9)$$

$$\hat{P}_t = \alpha P_{t+1} + (1 - \alpha) \hat{P}_{t-1} \quad (10)$$

$E(Y_t)$ : previsão de demanda

$\hat{Z}_t$  : previsão do tamanho da demanda

$Z_t$ : tamanho da demanda

$\hat{P}_t$ : previsão do intervalo da demanda

$P_t$ : intervalo da demanda

$\alpha$ : coeficiente de suavização

Nesta fase da pesquisa, foi utilizado o software Statistica 9.1 para análise da grade de parâmetros de suavização, sendo utilizado como critério de seleção para  $\alpha$  (*alpha*), aquele com menor valor atribuído ao erro quadrático médio. Após a determinação da constante de suavização  $\alpha$  (*alpha*), realizou-se a previsão do instante com demanda zero, com base da demanda real anterior. Este processo foi realizado individualmente para os 301 casos de intermitência, evitando a previsão de longos períodos com o mesmo valor previsto, posteriormente, os valores sem observações foram preenchidos pelas previsões realizadas.

Com a série completa, realizou-se análise descritiva por ano, na qual foram apresentados a média, mediana, valor mínimo e o máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e curtose para os tempos de parada de produção no período de 2012 a 2016. Em seguida, realizou-se o teste de heterocedasticidade para verificar há existência de volatilidade significativa na série e analisados os modelos de médias móveis, alisamento exponencial simples, ARIMA e ARCH, utilizando o software Eviews 9.0.

Para aplicação dos modelos de médias móveis baseou-se na conceituação de Morettin e Toloi (2006) calculando a média aritmética das  $r$  observações mais recentes conforme a Equação 11. Os modelos de alisamento exponencial simples são apropriados para previsões de curto prazo, pois não apresentam tendência e sazonalidade. Realizam a previsão para um determinado período, a partir do ajuste da previsão atual do período com o seu erro de previsão.

$$M_t = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-r+1}}{r} \quad (11)$$

Em relação a metodologia Box e Jenkins (1976) baseou-se nas suas diversas aplicações na economia, engenharia de produção e ciências naturais que consolidaram a forma de modelar observações em séries históricas. Neste estudo, o estabelecimento dos modelos para a série temporal considerou quatro estágios importantes, conceituados na ótica Gujarati (2006) como identificação (a): encontrar os valores adequados de (p), (d) e (q); estimação (b): após identificar os valores adequados de (p) e (q), estimar os parâmetros para os termos autoregressivos e de médias móveis incluídos no modelo. Verificação de diagnóstico (c): depois de escolhido um dado modelo ARIMA e de estimados seus parâmetros, verificou-se o ajuste do modelo. Para isso, foram analisados os resíduos estimados, a partir do modelo selecionado, identificando ruído branco.

A suposição de estacionariedade da série foi observada para fixar parâmetros válidos para previsão do futuro a partir do passado (ROSSI e NEVES, 2014). A identificação dos modelos foi realizada com base nas funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP). Os modelos autorregressivos de ordem (p), representados por AR(p), de médias móveis de ordem (q), representados por MA(q) e os autorregressivos e de médias móveis de ordem (p) e (q), representados por ARMA(p,q), podem ser descritos em sua forma genérica conforme as Equações 12, 13 e 14.

**AR(p):**

$$Y_t = \mu + \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (12)$$

Onde:  $\mu$  é a constante ou ponto de intercepto,  $\phi_p$  é o fator do coeficiente autorregressivo e  $\varepsilon_t$  são os erros aleatórios.

**MA(q):**

$$Y_t = \mu + \theta_0 + \varepsilon_t - \theta_1 Y \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (13)$$

Onde  $\mu$  é a constante ou ponto de intercepto,  $\theta_q$  é o fator do coeficiente média móvel e  $\varepsilon_t$  são os erros aleatórios.

**ARMA (p,q):**

$$Y_t = \mu + \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 Y \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (14)$$

Posteriormente, identificou-se que o comportamento dos resíduos da série é semelhante aos retornos dos ativos financeiros, que segundo Rossi e Neves (2014) podem apresentar alta volatilidade por diversos períodos consecutivos, em seguida, apresentarem baixa volatilidade para os próximos períodos. Assim, utilizou-se o modelo de heterocedasticidade condicional autorregressiva (ARCH) de ordem (q), definido como um modelo AR(q) onde  $\{rt\}$  é condicionado à informação avaliada no tempo t-1, ou seja, tem heterocedasticidade condicionada autorregressiva, conforme proposto por Engle (1982), sendo sua formulação apresentada na Equação 15.

$$z_t = \varepsilon_t \left[ \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Para verificar acurácia do ajuste do modelo proposto utilizou-se o *Akaike Information Criterion* (AIC), pois fornece pontuação para o modelo, baseado em sua adequação aos dados e na ordem do modelo proposto, neste sentido, a escolha do modelo mais parcimonioso será aquele que minimizar o AIC (AKAIKE, 1974), apresentando conforme Equação 16.

$$AIC = \hat{\ell}_n \delta^2 \varepsilon_t + \frac{2(p+q)}{n} \quad (16)$$

Onde  $\hat{\ell}_n \delta^2 \varepsilon_t$  é o estimador de máxima verossimilhança de  $\delta^2$ .

A qualidade para a previsão do modelo foi verificada pela obtenção dos menores valores para o erro percentual absoluto médio (MAPE), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e a estatística U-Theil, expressos nas Equações 17, 18 e 19 conforme Rossi e Neves (2014).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Z_t} \right| \times 100 \quad (17)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (18)$$

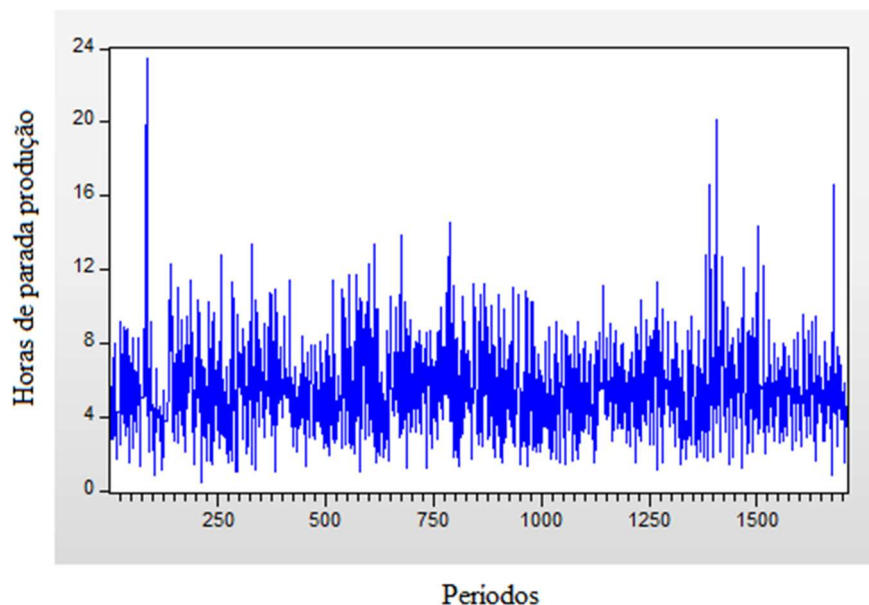
$$UTheil = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Z_t - \hat{Z}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Z_t - Z_{t-1})^2}} \quad (19)$$

Posteriormente, verificou-se também heterocedasticidade significativa para o período estudado, sendo considerado os modelos que apresentaram os menores valores para seleção do ajuste mais parcimonioso e com menores valores para os critérios de qualidade de previsão. Busca-se assim, preencher os valores dos dados faltantes pelo método proposto por Croston (1972) e prever o comportamento futuro da série.

#### 4. Resultados e Discussões

As incertezas sobre as ocorrências de paradas de máquinas durante o processo produtivo possuem impactos significativos na gestão industrial, dificultando o processo de tomada decisão e reduzindo a confiabilidade dos equipamentos. Observa-se na Figura 2 a variação dos registros horários de parada de produção em uma indústria de envase de bebidas, com variabilidade no período de 2012 a 2016.

Figura 2 – Horas de parada de produção em uma indústria de bebidas no período de 2012 a 2016.



A identificação do comportamento das paradas de máquinas, contribui para o desenvolvimento de ações que visam a redução dos custos de fabricação e impactam positivamente no nível de produtividade. Colaborando para o desenvolvimento de estratégias de manutenção que permitem aumentar a confiabilidade no equipamento e a taxa de disponibilidade horária para o processo de produção. Para isso, a empresa dispõe de um *Enterprise Resource Planning (ERP)*, utilizado para gerenciamento das suas 4 linhas de envase.



O software *PC-Factory* desenvolvido pela *PPI-Multitask*, é focado no gerenciamento das operações de manufatura, organização do planejamento e controle da produção, reunindo todas as informações sobre o comportamento dos equipamentos durante o processo de fabricação, fornecendo os dados para a análise descritiva realizada na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise descritiva das horas de parada de produção em uma indústria de bebidas no período de 2012 a 2016.

<b>MEDIDAS DESCRITIVAS</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Média</b>	5,41	5,53	5,64	5,33	5,65
<b>Mediana</b>	5,08	5,35	5,43	5,27	5,35
<b>Mínimo</b>	0,48	1,01	1,18	1,09	0,86
<b>Máximo</b>	23,51	12,32	14,54	11,34	20,14
<b>Desvio padrão</b>	2,55	2,27	2,28	1,95	2,41
<b>Curtose</b>	9,66	0,71	0,69	-0,10	9,48
<b>Coefficiente de Variação (%)</b>	47%	41%	41%	37%	43%

Com base nos registros históricos, observa-se na Tabela 1 que as paradas de produção ocorridas no ano de 2015 estão mais próximas a média, apresentando o menor desvio padrão da série no valor de 1,95, também apresentando a menor variabilidade entre os registros de parada com coeficiente de variação 37%. O ano de 2012 apresentou maior dispersão em relação à média com desvio padrão de 2,55, representando a maior variabilidade entre os registros de parada, indicado pelo coeficiente de variação de 47%. Com base nos resultados obtidos para o cálculo da curtose, percebe-se que os anos de 2012 e 2016 houve um excesso de curtose em relação a distribuição normal, com valores acima de 9, evidenciando possível volatilidade para a série dos registros de parada de máquinas.

Os maiores registros de paradas de máquinas foram observados nos anos de 2012 (23,51) e 2016 (20,14). Por meio da análise do controle de produção, identificou-se que o valor atribuído ao ano de 2012 possui relação com a inserção de novos produtos à linha de produção. As 23,51 horas de parada de máquina foram necessárias para configuração e regulagem dos equipamentos tais como: sopradora, transporte aéreo, enchedora, rotuladora, empacotadora, paletizadora e esteira. Essas configurações são exigidas para obedecer aos requisitos mínimos de qualidade estabelecidos pelo franqueador. Com relação ao ano de 2016 as 20,14 horas de parada de máquina relacionam-se a falhas elétricas ocorridas na enchedora da linha 3, conforme registro de manutenção.

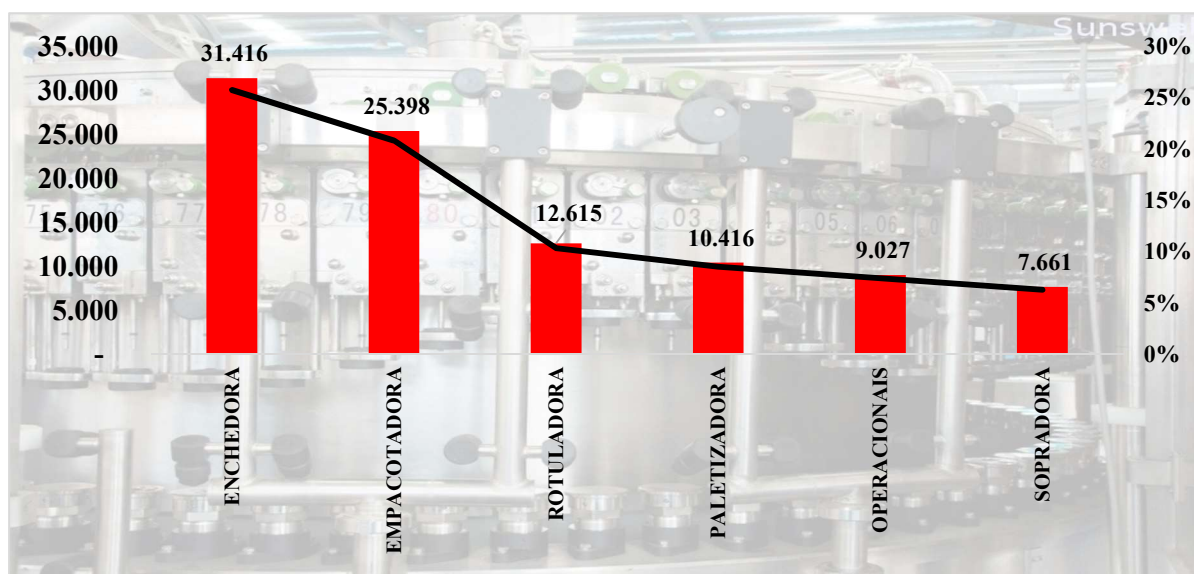
No ano de 2014, o valor máximo foi atribuído a falhas na rotuladora, empacotador, enchedora e sopradora, devido a manutenções corretivas para reestabelecer os equipamentos às condições de operação. Em relação ao ano de 2013 as 12,32 horas de paradas referem-se a problemas mecânicos na enchedora, empacotadora, rotuladora e sopradora. Para o ano de 2015 às 11,34 hs de parada, referem-se a problemas mecânicos na paletizadora, empacotadora, sopradora, enchedora e rotuladora. A partir disso, destaca-se a relevância que a manutenção produtiva total (TPM) possui para melhorar a eficácia dos equipamentos, na ótica de Jauregui Becker et al. (2015) a identificação das falhas do processo e o planejamento das ações contribuem para redução de fatores como: marcha lenta, velocidade reduzida do equipamento, quebras, perda de rendimento e queda na eficiência global dos equipamentos OEE.

Na perspectiva de Modgil e Sharma (2016), destaca-se a importância da manutenção para gerar vantagem competitiva sobre concorrentes e promover a integração efetiva da função manutenção e das práticas de qualidade, gerando economia dos recursos financeiros. A partir da dos autores, percebe-se que diferentes organizações adotam diferentes estratégias de manutenção, com propósito para implementar ações que visam a redução de falhas em

máquinas e equipamentos. Estas estratégias podem se desenvolver em qualquer forma, como: manutenção preventiva, manutenção corretiva ou manutenção preditiva (MODGIL E SHARMA, 2016).

Slack, Chambers e Johnston (2008), destacam que as paradas de produção afetam diretamente a produtividade devido a redução das horas disponíveis para fabricação, influenciadas pelas quebras, *setup*, tempo ocioso, baixa velocidade, qualidade insatisfatória e perdas com *start-up*. Diante disso, considerando cada parada de produção como uma ocorrência de falha nos equipamentos foi possível elaborar um ranking com a frequência de falhas incidente no período estudado, evidenciado na Figura 3.

Figura 3 – Número de ocorrências de parada de máquina em uma indústria de bebidas no período de 2012 a 2016.



Observa-se que a enchedora da linha de produção, responsável pelo envase dos produtos, apresentou maior índice de frequência de falhas, interrompendo o processo de fabricação 31.416 vezes, representando 26% das paradas totais para o período analisado. A empacotadora automática é responsável por 21% das paradas, com 25.398 ocorrências no período analisado. Em conjunto com a rotuladora, paletizadora, sopradora e falhas operacionais, representam 79% das interrupções no processo produtivo.

Evidencia-se a partir da Tabela 2, o comparativo sobre as principais causas de paradas de máquinas, onde a manutenção mecânica é responsável por 25% das causas das paradas de máquinas no período analisado. Em conjunto com as falhas de operação, *SET UP*, CIP e manutenção elétrica, representam 90% das causas de interrupção do processo produtivo. Melhorar a gestão da manutenção possibilita maior eficiência operacional, visto que, um baixo desempenho de máquinas implica na redução da qualidade do produto e da produtividade. A inexistência de políticas de manutenção ou a ineficiência das ações estratégicas reduzem a confiabilidade das máquinas e de sua disponibilidade produtiva.

Em relação as falhas de operação, impactaram 22% no processo de fabricação com 1.680 horas de máquinas paradas. Para Panneerselvam (2012), a qualificação e treinamento dos empregados é um fator chave para o desenvolvimento da manutenção produtiva total. A qualificação do quadro de pessoal contribui para melhorias na produtividade, redução de falhas e acidentes, oportunizando o aperfeiçoamento das atividades de forma contínua, reduzindo os índices de paradas por falhas de operação.

Tabela 2 – Principais causas para ocorrência de paradas de produção em uma indústria de bebidas no período de 2012 a 2016.

<b>Causas Parada Máquina</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Total</b>	<b>(%)</b>
Manutenção mecânica	307	397	465	396	335	<b>1.901</b>	<b>25%</b>
Falha operação	367	392	356	271	294	<b>1.680</b>	<b>22%</b>
Set up	168	250	270	313	330	<b>1.332</b>	<b>18%</b>
Cip	184	310	279	238	202	<b>1.213</b>	<b>16%</b>
Manutenção elétrica	34	143	185	136	144	<b>642</b>	<b>9%</b>
Paradas externas	47	57	86	148	107	<b>445</b>	<b>6%</b>
Qualidade	41	70	44	40	30	<b>225</b>	<b>3%</b>
Programada	-	35	29	12	15	<b>91</b>	<b>1%</b>
Não identificado	20	3	1	0	0	<b>24</b>	<b>0%</b>
Suprimento	0	0	0	0	0	<b>1</b>	<b>0%</b>
<b>Total de horas</b>	<b>1.168</b>	<b>1.658</b>	<b>1.716</b>	<b>1.554</b>	<b>1.457</b>	<b>7.554</b>	<b>100%</b>

A Linha de envase de garrafas de polietileno tereftalato – (PET) 3, objeto deste estudo, possui investimento de 43 milhões de reais em ativos fixos, representando 19% dos recursos financeiros totais aplicados ao imobilizado da empresa. No período de 2012 a 2016 a indústria atingiu custo de manutenção total de 19 milhões de reais, o que significa, que foram gastos para manter as condições normais de operação dos equipamentos, aproximadamente 44% do investimento realizado na Linha Pet 3. Na ótica de Wudhikarn (2016) a relevância das pesquisas sobre as falhas dos equipamentos industriais e a utilização da eficiência global dos equipamentos (*OEE – Overall Equipment Efficiency*), destaca-se por quantificar as melhorias introduzidas no processo de gestão e o desenvolvimento de ações que visam a redução dos custos de manutenção.

O estudo Ranjan e Mishra (2016), em uma indústria de baterias, acompanhou o desempenho dos seus equipamentos por meio da OEE, para detectar as principais falhas de operação, permitindo à organização concentrar-se no que é o mais importante sem perder tempo e recursos. Após acompanhar o comportamento das paradas de produção, os pesquisadores elencaram medidas corretivas para manutenção dos equipamentos, identificadas durante o processo de produção, as quais foram encaminhadas para o chão de fábrica, sendo observadas durante um mês. Após nova análise dos dados e cálculo da OEE, foi observado aumento na eficiência dos equipamentos em de 10%, destacando a relevância do indicador para a gestão.

Diante da representatividade dos custos de manutenção no resultado financeiro das organizações e o impacto que as paradas de produção exercem do processo de tomada de decisão. A elaboração das ações estratégicas para direcionamento das decisões para o futuro deverá ser apoiada por técnicas de previsão para garantir maior assertividade no processo de gestão (MODGIL e SHARMA, 2016). A identificação e compreensão dessas causas são fatores decisivos para o desenvolvimento do planejamento da organização a curto e médio prazo. Ressaltando-se a dificuldade para gerenciamento das paradas de máquinas em virtude da incerteza de sua ocorrência.

A pesquisa realizada Bekar et al. (2015) incorporou a modelagem econométrica aos estudos da eficiência global dos equipamentos para aprimorar a gestão de falhas e paradas de produção. Os autores utilizaram a modelagem para relacionar e inferir o mau funcionamento dos equipamentos, a má qualidade dos produtos e a gestão da manutenção de máquinas, indicando que a medição da OEE promove boa orientação sobre qual problema representa

maior oportunidade para implementação de melhorias e para a eliminação de riscos. Para contribuir com a investigação acerca do comportamento das paradas de produção podem ser observados com base na Tabela 3, os principais resultados relativos aos ajustes dos modelos propostos, onde apresentam-se os coeficientes e os respectivos critérios de qualidade de ajuste do modelo. Os dados foram organizados a partir do *ranking* para o critério AIC que fornece pontuação para o modelo, baseado em sua adequação aos dados e na ordem proposta.

O modelo selecionado com base nas premissas definidas foi o AR(1) ARCH(1), pois minimizou o critério AIC dentre os modelos concorrentes. Após a seleção do modelo por meio do critério AIC, foram calculadas as estatísticas de previsão (MAPE) e o U-Theil conforme Tabela 3. Verificou-se a presença de volatilidade significativa, por meio do teste de heterocedasticidade ( $p < 0,05$ ), o que torna apropriado a utilização do método de heterocedasticidade condicional autorregressiva (ARCH) para o ajuste dos modelos e a estimativa das respectivas previsões.

Tabela 3 – Coeficiente dos modelos e critérios de ajuste

<b>Modelo</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>P-Valor</b>	<b>AIC</b>	<b>U-THEIL</b>	<b>MAPE (%)</b>
<b>AR(1) ARCH(1)</b>	<b>(p) 0,15189</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>4,42652</b>	<b>0,625304</b>	<b>30,72654</b>
<b>C</b>	<b>5,48705</b>	<b>&lt;0,001</b>			
<b><math>e_{t-1}^2</math></b>	<b>0,11005</b>	<b>&lt;0,001</b>			
AR (1)	(p) 0,17538	<0,001	4,46205	0,626339	30,77087
C	5,51243	<0,001			
MA(1)	(q) 0,17372	<0,001	4,4625	0,627817	30,82596
C	5,51250	<0,001			
ARMA (1,1)	(p) 0,14691	0,27283	4,46321	0,626653	30,78246
	(q) 0,02935	0,82821			
C	5,51244	<0,001			
ARMA (1,1)	(p) 0,99984	<0,001	4,49391	0,630806	30,38861
	(q) -0,95936	<0,001			
AR (1)	(p) 0,87895	<0,001	4,93099	1,040548	41,94211
MA(1)	(q) 0,66114	<0,001	5,74148	1,551201	94,83644

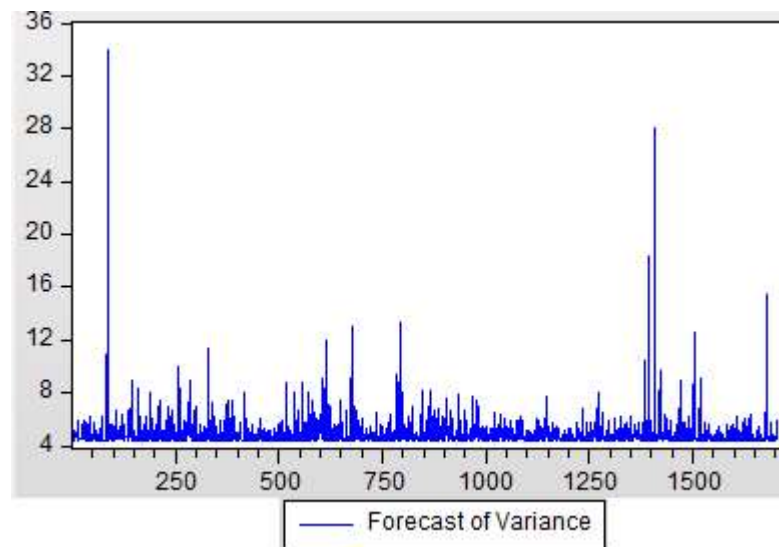
A estatística U-Theil, aponta que o modelo AR (1) - ARCH(1) apresenta o menor valor para o critério de qualidade de previsão (0,625304), sendo o valor mais próximo de zero, evidenciando melhor ajustamento da série prevista em relação aos dados. Em contrapartida, o modelo MA(1) apresentou o pior desempenho em relação a qualidade de previsão, com estatística U-Theil (1,551201), evidenciando que o erro do modelo é maior que o erro ingênuo.

A análise do valor calculado para o erro percentual absoluto médio (MAPE), indica que o modelo ARMA (1) apresenta o menor tamanho médio do erro com MAPE de (30,38861). Para confirmação sobre a qualidade de previsão do modelo ARMA (1), analisou-se as funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP). Identificou-se por meio da análise gráfica que o modelo ARMA (1) apresentou distorções no Lags 1, 2, 14 e 15 na (FAC) e (FACP), confirmando superioridade para a qualidade de previsão do modelo AR(1) - ARCH(1) C, que apresentou apenas distorção no lag 14.

Os modelos ARCH possibilitam verificar a volatilidade em uma série temporal e a sua relação de persistência. Sua aplicabilidade na série de paradas de máquinas em produção, aliado as informações sobre as causas das interrupções do processo produtivo podem ser relevantes

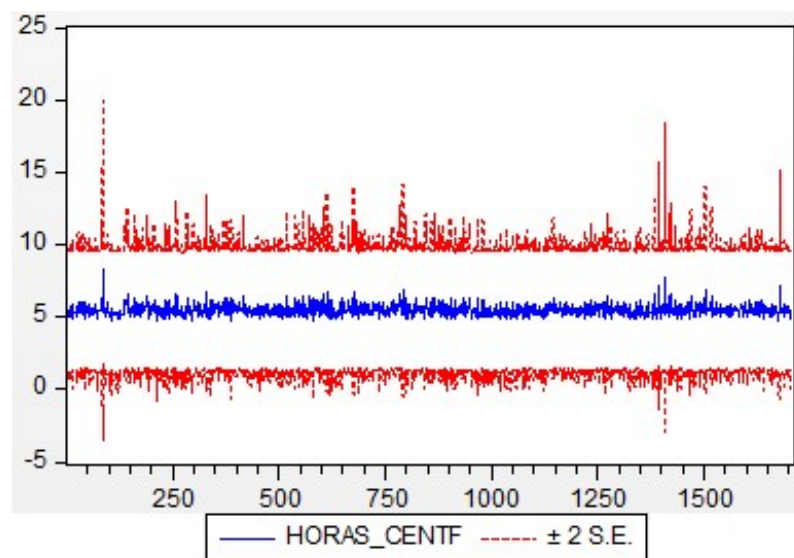
para auxiliar as empresas na elaboração do seu planejamento de manutenção. Os resultados evidenciaram que a volatilidade dos registros horários de paradas de produção captados pelo modelo ARCH, com parâmetro 0,11005, não é persistente, pois, observa-se que as paradas ocorrem e logo dissipam-se, não sendo transmitidas para períodos subsequentes. Observa-se as previsões do modelo selecionado AR(1) - ARCH(1) a partir da Figura 4.

Figura 4 - Previsões do modelo AR(1) - ARCH(1)



Observa-se na Figura 5, que as previsões do modelo AR(1) - ARCH(1) permanecem dentro do intervalo de confiança estabelecido.

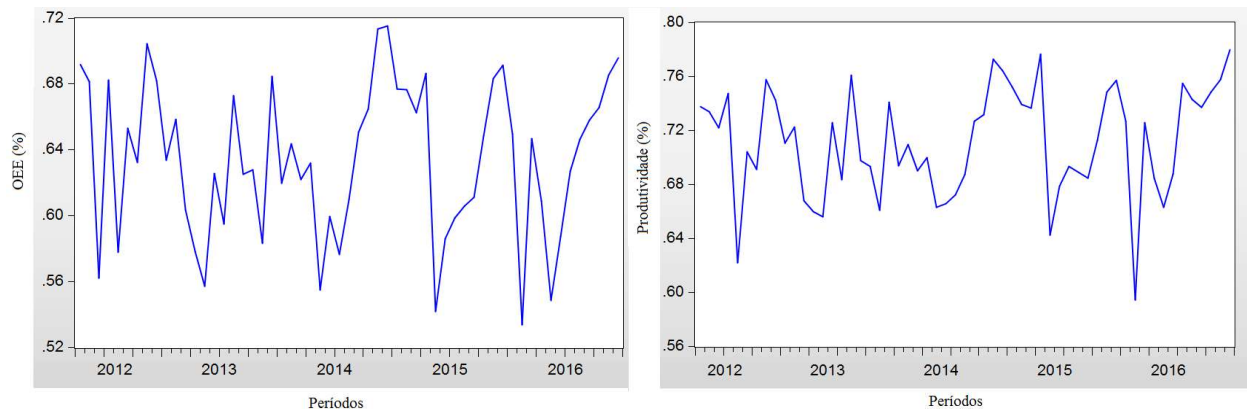
Figura 5 – Intervalo de confiança para previsão do modelo AR(1) - ARCH(1)



Bekar et al. (2015), destacam a eficiência global dos equipamentos, como uma métrica que permite avaliar o impacto de perdas, comparando o desempenho real dos equipamentos com seu potencial teórico. A partir disso, a utilização do indicador OEE possibilita as empresas a análise sobre as reais condições de uso dos seus ativos.

Podem ser observados na Figura 6 as variações na eficiência dos equipamentos e produtividade para o período de 2012 a 2016. Com base nos registros históricos de manutenção a OEE apresentou oscilações ao longo de todo período analisado, atingindo menor percentual de eficiência no ano de 2016 com índice de (53,39%) e o maior em 2015 com índice de (71,54%). A produtividade foi afetada nos mesmos períodos em que houveram os maiores valores para a curtose da série de horas de parada de máquinas, evidenciando que a volatilidade da série afetou a produtividade da fábrica, atingindo a menor produtividade no ano de 2016 com índice de (59,41%) e no ano 2012 com índice de (62,17%).

Figura 6 – Variação da eficiência global dos equipamentos e produtividade de 2012 a 2016



O processo de análise de paradas de produção é determinante para o desenvolvimento dos planos de manutenção e investigações sobre as causas das falhas no parque de máquinas. Fornecer informações para a definição de estratégias de manutenção que visam aumentar a confiabilidade dos ativos. Este processo é eficaz por reunir os principais eventos relacionados ao desempenho dos equipamentos, proporcionando a criação de um banco de dados histórico, com informações que serviram de subsídio para tomada de decisão, possibilitando que as práticas de manutenção sejam produtivas e eficazes para a indústria. A previsão fornece informações úteis ao processo de gestão, permitindo a implementação de melhorias na planta industrial, por meio do monitoramento das perdas de eficiência e produtividade. A qualidade da previsão investigada contribuirá para redução dos impactos financeiros que as paradas de produção ocasionam no resultado das empresas. Além disso, contribuirá para a inserção de melhoria no planejamento de *setup* para envase de novos produtos adicionados a linha de produção e controle das falhas de manutenção

## 5. Conclusão

Diante da competitividade em que as indústrias estão inseridas, mensurar e potencializar constantemente seu desempenho, é primordial para maximizar os resultados e, acima de tudo, possibilitar a continuidade da organização, baseada em uma gestão eficiente dos recursos financeiros. Além da concorrência normal em economias globalizadas, os gestores precisam de subsídios informacionais para atuarem nos cenários em crise, pois se faz necessário produzir cada vez mais com menos recursos financeiros, o que se torna um grande desafio para continuidade das empresas no atual mercado brasileiro.

A utilização da eficiência global dos equipamentos com indicador industrial, possibilita as organizações analisar as reais condições de uso dos seus ativos. A identificação do comportamento das perdas de produtividade, incidentes durante o processo de fabricação, são

relevantes para o desenvolvimento de estratégias para potencializar o funcionamento dos equipamentos e atuar de forma eficiente no combate as perdas de operação, visto que, a melhoria na eficácia das máquinas substitui a necessidade de novos investimentos.

O estudo ressaltou a importância do método de Croston para ajustar os 301 casos em que não foram registrados tempos de paradas de máquina. O comportamento intermitente das paradas de produção dificulta o gerenciamento da indústria e o desenvolvimento de estratégias de manutenção, sendo necessário o auxílio da modelagem para implementação de melhorias nas informações gerenciais que servirão de base para o processo de tomada de decisão.

O ajuste do modelo de série temporal revelou a existência de volatilidade no registro das horas de parada de máquinas, dessa forma, foi possível verificar que o comportamento da série apresentou variabilidade para os anos de 2012 e 2016. Posteriormente, verificou-se, também, heterocedasticidade significativa para o período estudado, sendo considerados os modelos que apresentaram os menores valores para seleção do AIC e com menores valores para os critérios de qualidade de previsão. Dessa forma, o modelo AR(1) – ARCH(1), foi o que melhor se ajustou, entre os modelos investigados para os registros horários de parada de máquina, podendo ser utilizado como referência para indústrias que possuem demandas intermitentes para parada de máquinas

A comparação gráfica das variações ocorridas na eficiência global dos equipamentos, evidenciou que a variabilidade ocorrida nas paradas de produção, afetou a produtividade da indústria no período estudado. Contribuindo para a discussão sobre novas estratégias de manutenção, visando reduzir as incidências de paradas no parque de máquinas e os custos de produção. O estudo também apontou que a enchedora da linha de produção apresenta o maior índice de parada, possuindo como principal causa as falhas mecânicas. Essas informações são relevantes para a empresa, pois permitem o desenvolvimento de estratégias que auxiliarão no gerenciamento industrial.

Neste sentido, sugere-se para estudos futuros a utilização do plano de manutenção preditiva, com base nos modelos de previsão, objetivando estabelecer análise sobre os ganhos na produtividade e eficiência global dos equipamentos, a partir da utilização de séries temporais para monitorar os tempos de parada de produção.

## Referências

- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 19, 716–723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Bekar, E.T., Cakmakci, M., Kahraman, C., 2015. An ANFIS Algorithm for Forecasting Overall Equipment Effectiveness Parameter in Total Productive Maintenance. *J. Mult. Log. Soft Comput.* 25, 535–554.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., 1976. *Time series analysis: forecasting and control*. Holden-Day, Michigan.
- Croston, J.D., 1972. Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. *Oper. Res. Q.* 23, 289–303.
- de Senna, V., Souza, A.M., 2016. Assessment of the relationship of government spending on social assistance programs with Brazilian macroeconomic variables. *Phys. A Stat. Mech. its Appl.* 462, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.05.022>
- Engle, R.F., 1982. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica* 50, 987–1007. <https://doi.org/10.2307/1912773>
- Ewing, B.T., Thompson, M.A., 2008. Int . J . Production Economics Industrial production , volatility , and the supply chain 115, 553–558. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.06.006>

- Ferbar Tratar, L., 2015. Forecasting method for noisy demand. *Int. J. Prod. Econ.* 161, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.019>
- Ginama, I., 1996. production economics Conditional volatility and the production smoothing hypothesis of inventory investment.
- Gujarati, D.N., 2006. *Econometria básica*, 5º. ed. Elsevier, Rio de Janeiro.
- Hafner, C.M., Preminger, A., 2015. An ARCH model without intercept. *Econ. Lett.* 129, 13–17. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2015.01.029>
- Hansen, H., Fuglsang, M., 2014. An Operational Web-Based Indicator System for Integrated Coastal Zone Management. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 3, 326–344. <https://doi.org/10.3390/ijgi3010326>
- Jain, A., Bhatti, R.S., Singh, H., 2015. OEE enhancement in SMEs through mobile maintenance: a TPM concept. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 32, 503–516. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2013-0088>
- Jauregui Becker, J.M., Borst, J., Van Der Veen, A., 2015. Improving the overall equipment effectiveness in high-mix-low-volume manufacturing environments. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 64, 419–422. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.126>
- Kourentzes, N., 2013. Intermittent demand forecasts with neural networks. *Int. J. Prod. Econ.* 143, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.009>
- Modgil, S., Sharma, S., 2016. Total productive maintenance, total quality management and operational performance. *J. Qual. Maint. Eng.* 22, 353–377. <https://doi.org/10.1108/JQME-10-2015-0048>
- Morettin, P.A., Toloi, C.C.M., 2006. *Análise de séries temporais*, 2º. ed. Bulcher, São Paulo.
- Mousazadeh, S., Karimi, M., 2009. Estimating multivariate ARCH parameters by two-stage least-squares method 89, 921–932. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2008.11.012>
- Nikolopoulos, K.I., Babai, M.Z., Bozos, K., 2016. Forecasting supply chain sporadic demand with nearest neighbor approaches. *Int. J. Prod. Econ.* 177, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.04.013>
- Noureldin, D., Shephard, N., Sheppard, K., 2014. Multivariate rotated ARCH models. *J. Econom.* 179, 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2013.10.003>
- Panneerselvam, M.K., 2012. TPM implementation to invigorate manufacturing performance : an Indian industrial rubric. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 3, 1–10.
- Petropoulos, F., Kourentzes, N., Nikolopoulos, K., 2016. Another look at estimators for intermittent demand. *Int. J. Prod. Econ.* 181, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.04.017>
- Ranjan, R., Mishra, A., 2016. Evaluation and optimization of overall equipment effectiveness on a pasting machine in a battery manufacturing industry. *Int. J. Performability Eng.* 12, 503–512.
- Rossi, J.W., Neves, C. das, 2014. *Econometria e séries temporais: com aplicações a dados da economia brasileira*. LTC, Rio de Janeiro.
- Samat, H.A., Kamaruddin, S., Azid, I.A., 2012. Integration of overall equipment effectiveness (OEE) and reliability method for measuring machine effectiveness. *South African J. Ind. Eng.* May 23, 92–113.
- Sevegnani, G., Martins, A., 2010. Sistema de Monitoramento de Paradas de Máquina em uma Linha de Usinagem—Um Estudo de Caso. *An. do XXX ...*
- Slack, N.; Chambers, S.; Johnston, R., 2008. *Administração da produção*, 2nd ed. Atlas, São Paulo.
- Slack, N. et al, 2013. *Gerenciamento de operações e de processos: princípios e práticas de impacto estratégico*, 2nd ed. Bookman, Porto Alegre.
- Syntetos, A.A., Boylan, J.E., 2005. The accuracy of intermittent demand estimates. *Int. J. Forecast.* 21, 303–314. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2004.10.001>



- Wudhikarn, R., 2016. Implementation of the overall equipment cost loss (OECL) methodology for comparison with overall equipment effectiveness (OEE). *J. Qual. Maint. Eng.* 22, 81–93. <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2011-0001>
- Yuniawan, D., Ito, T., Bin, M.E., 2013. Calculation of overall equipment effectiveness weight by Taguchi method with simulation. *Concurr. Eng. Res. Appl.* 21, 296–306. <https://doi.org/10.1177/1063293X13507938>

## 5 CONCLUSÃO

Diante da competitividade em que as indústrias estão inseridas, mensurar e potencializar constantemente seu desempenho é primordial para maximizar os resultados financeiros, permitindo a continuidade da empresa, baseada em uma gestão eficiente dos recursos. Além da concorrência normal em economias globalizadas, os gestores precisam ter subsídios informacionais para atuarem nos cenários de crise, pois a representatividade que a gestão estratégica da informação exerce sobre o processo de tomada decisão, contribui para a resolução de problemas e a identificação de oportunidades.

Além disso, é notável a contribuição da estatística com suas ferramentas para auxiliar outras ciências na obtenção de resultados, parâmetros, organização de séries de dados e representações gráficas que auxiliem o processo de tomada decisão. A partir disso, o estudo sobre a gestão de falhas em equipamentos com a utilização de técnicas de previsão estatística auxiliaram na obtenção de informações para acompanhamento da eficiência global dos equipamentos, avaliando seus impactos no gerenciamento das paradas de produção, sendo uma fonte de informação valiosa para que gestores e administradores possam estar embasados em suas decisões.

A evidenciação das principais causas para ocorrências de paradas de máquinas em comparação aos custos de manutenção, proporcionam a reflexão sobre a necessidade para desenvolvimento de práticas de manutenção que sejam produtivas e eficazes para a organização. Percebe-se a relevância da modelagem como ferramenta importante para auxiliar os gestores no processo de tomada decisão, traçando estratégias para redução dos custos de produção e maximização dos investimentos realizados em ativos fixos. No moderno cenário econômico é necessário promover a discussão sobre os métodos que possam auxiliar as indústrias a reduzir seus custos com manutenção e também ampliar sua capacidade de produção por meio da redução das paradas de produção.

A eficiência global do equipamento (OEE) e a confiabilidade são importantes requisitos para medir o desempenho baseado na eficácia dos equipamentos. A eficácia das máquinas pode ser alcançada com ações estratégicas de manutenção, onde a OEE exerce função de diagnóstico para os fatores como disponibilidade, taxa de desempenho e qualidade do produto.

Muitos estudos concentraram-se na OEE, como uma métrica de eficiência que permite avaliar o desempenho real dos equipamentos com seu potencial teórico. A utilização do indicador OEE possibilita as empresas a análise sobre as reais condições de uso dos seus ativos. A identificação do comportamento das perdas de produtividade, incidentes durante o processo

de fabricação, são relevantes para o desenvolvimento de estratégias para potencializar o funcionamento dos equipamentos e atuar de forma eficiente no combate as perdas de operação, visto que, a melhoria na eficácia das máquinas substitui a necessidade de novos investimentos.

Neste estudo, realizou-se inicialmente uma revisão de literatura sobre métodos para previsão de demanda intermitente, modelos de volatilidade e previsão, na qual foram apresentadas as principais contribuições para embasamento da pesquisa. Após, realizou-se o método de Croston, ajustado por Syntetos e Boylan, para realização do alisamento exponencial, objetivando preencher a série intermitente para os valores iguais a zero. Além disso, realizou-se análise descritiva sobre as horas de parada de máquina para o período de 2012 a 2016. O ajuste do modelo de série temporal revelou a existência de volatilidade no registro das horas de parada de máquinas, dessa forma, foi possível verificar que o comportamento da série apresentou variabilidade para os anos de 2012 e 2016.

Posteriormente, verificou-se também, heterocedasticidade significativa para o período estudado, sendo considerado os modelos que apresentaram os menores valores para seleção do ajuste mais parcimonioso e com menores valores para os critérios de qualidade de previsão. Dessa forma, o modelo  $AR(1) - ARCH(1)$ , foi o que melhor se ajustou, entre os modelos investigados para os registros horários de parada de máquina, podendo ser utilizado como referência para indústrias que possuem demandas intermitentes para parada de máquinas

Por fim, realizou-se a comparação das variações ocorridas na eficiência global dos equipamentos e produtividade para o período, identificando que a variabilidade nas paradas de produção, afetaram a produtividade da indústria no período.

Sugere-se para estudos futuros, a utilização do plano de manutenção preditiva, com base nos modelos de previsão, objetivando estabelecer análise sobre os ganhos na produtividade e eficiência global dos equipamentos, a partir da utilização de séries temporais para monitorar os tempos de parada de produção.

## REFERÊNCIAS

ABRANTES, J. **Gestão da Qualidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Caracterização do cenário econômico para os próximos 10 anos (2016 -2025). **Estudos Econômicos**. Rio de Janeiro, p. 1- 30, abr. 2016. Nota Técnica. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%200816%20%20Cen%C3%A1rio%20macroecon%C3%B4mico%202016-2025.pdf>>. Acesso em 11 mar. 2017.

BATALHA, M. O. **Introdução a Engenharia de Produção**. CAMPUS-ABEPRO. Rio De Janeiro: Elsevier, 2008.

BECKER, J. M.; BORST, J.; VAM DER VEEN, A. Improving the overall equipment effectiveness in high-mix-low-volume manufacturing environments. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**. v. 64, n.1, p. 419-422, apr. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.126>>. Acesso em: 17 jan. 2017

BEKAR, E. T.; CAKMAKCI, M.; KAHRAMAN, C. An ANFIS Algorithm for forecasting overall equipment effectiveness parameter in total productive maintenance. **J. of Mult.-Valued Logic & Soft Computing**. v. 25, p. 535–554. dec. 2015. Disponível em: <[http://link-periodicos-capesgovbr.ez47.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?ctx\\_ver=Z39.882004&ctx\\_enc=info:ofienc](http://link-periodicos-capesgovbr.ez47.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?ctx_ver=Z39.882004&ctx_enc=info:ofienc)>. Acesso em: 05 jan. 2017.

BOX, G. E. P.; LUCEÑO, A. **Statistical control by monitoring and feedback adjustment**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, Indicadores CNI. **Sondagem Industrial**. Brasília, 2016. Disponível em <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/publicacoes-estatisticas/estatisticas/2016/12/1,38499/sondagem-industrial.html>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

ECOBICI, N.; DINA I.C.; BUSAN G. Use of the information system costs under management process. **Annals. Economy Series**. Constantin Brancusi University, Faculty of Economics, v.6, p. 199-203, 2014. Disponível em: <[http://link-periodicos-capesgovbr.ez47.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?ctx\\_ver=Z39.88-2004&ctx\\_enc=info:ofi/enc=UTF-8&ctx\\_tim=2017-0312T22%3A50%3A49IST&url\\_ver=Z39.882004&url\\_ctx\\_fmt=infofi/fmt:kev:mtx:ctx&rfr\\_id=info:sid/primo.exlibrisgroup.com:primo3-Article](http://link-periodicos-capesgovbr.ez47.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info:ofi/enc=UTF-8&ctx_tim=2017-0312T22%3A50%3A49IST&url_ver=Z39.882004&url_ctx_fmt=infofi/fmt:kev:mtx:ctx&rfr_id=info:sid/primo.exlibrisgroup.com:primo3-Article)>. Acesso em: 05 jan. 2017.

FERREIRA, M. P. et al . Gestão por indicadores de desempenho: resultados na incubadora empresarial tecnológica. **Produção**, São Paulo, v.18, n. 2, 2008. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-6513200800200008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-6513200800200008&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 05 jan. 2017.

FOGLIATTO, F.; RIBEIRO J. **Confiabilidade e manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GAITHER, N.; FRAZIER, G.. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 2001.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

\_\_\_\_\_. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONÇALVES JR, J. J. M.; RIBEIRO, M. V.; FRANCO, B. C.. Custo de manutenção de ativos numa óptica operacional e estratégica no ambiente industrial. **XIISEGET – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, Resende/RJ, 28 a 30 out., 2015. Disponível em <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/arquivos/artigos15/23022234.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2017.

GUIMARÃES, L. da S. et al. Redução de custos no processo produtivo com a utilização do ABC e Ferramentas Lean: estudo de caso em uma indústria de componentes de refrigeração. **GEPROS: gestão da produção, operações e sistemas**, Bauru, Ano 10, n. 1, p. 157-175, jan/mar. 2015. Disponível em: <<http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1217/637>>. Acesso em 15 jan. 2017.

HANSEN, H.S.; FUGLSANG, M. An operational web-based indicator system for integrated coastal zone management. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, Copenhagen, v. 3, n. 1, p. 326-344, march., 2014. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2220-9964/3/1/326/htm>>. Acesso em: 06 jan. 2017.

JAIN, A.; BHATTI, R.S.; SINGH, H. OEE enhancement in SMEs through mobile maintenance: a TPM concept. **International Journal of Quality & Reliability Management**. v. 32, n.5, p. 503 – 516, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/IJQR-M-05-2013-0088>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **A Estratégia em Ação: Balanced Scorecard**. 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

KARDEC, A.; NASCIF, J.A. **Manutenção – função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 2010.

KARDEC, A.; LAFRAIA, J. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro. Qualitymark: ABRAMAN, 80 p., 2002.

KOENIG, A. **Previsão de Demanda em Séries Temporais Intermitentes Mediante a Utilização do Método de Croston / Armin Koenig; orientador, Robert Wayne Samohyl**. Florianópolis/SC. 2014. 192 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2014.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LAWRENCE, M.; EDMUNDSON, B.; O’CONNOR, M. A field study of sales forecasting accuracy and processes. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.122,

n.1, p.151-160, Apr. 2000. Disponível em: <<http://www-sciencedirect-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0377221799000855>>. Acesso em: 06 jan. 2017.

LAZIM, H.M.; RAMAYAH, T. Maintenance strategy in Malaysian manufacturing companies: a total productive maintenance (TPM) approach. **Business Strategy Series**, v. 11, n. 6, p. 387-396. june. 2010. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/17515631011093098>>. Acesso em: 07 jan. 2017.

MACHADO, R. R; RODRIGUES, M. D; NASCIMENTO, D. R. Previsão da demanda intermitente pelo método de Croston modificado e a distribuição de Erlang. **XXXI Encontro Nacional De Engenharia De Produção**. Disponível: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011\\_TN\\_STO\\_135\\_857\\_18595.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_135_857_18595.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2017.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E.V. **Metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2004.

MARK, A.; OZER, A.; ARINDAM, T. Use of precedent and antecedent information in strategic cost management. **Journal of Business Research**, v. 66, n. 5, May. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296312002366>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MODGIL, S.; SHARMA, S. Total productive maintenance, total quality management and operational performance An empirical study of Indian pharmaceutical industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 22, n. 4, p. 353 – 377, june. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/JQME-10-2015-0048>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira/Thomson Learning, 2004.

MOREIRA, H.; CALEFFE, L. G. **Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador**. 2. ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2008.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Bulcher, 2006.

NUNES, J. H. A. **Administração de Produção e Operações**. São Paulo: Editora Sol, 2011.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1988.

OLIVEIRA, J. C. S.; SILVA, A. P. da. Análise de indicadores de qualidade e produtividade da manutenção nas indústrias brasileiras. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 8, n. 3, p. 53-69, jul/set., 2013. Disponível em: <<http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/1021/501>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

OLIVEIRA, L. M. de; PEREZ Jr., J. H.; SILVA, C. A. dos S. **Controladoria Estratégica: textos e casos práticos com solução**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

PANNEERSELVAM, M.K. TPM implementation to invigorate manufacturing performance: an Indian industrial rubric. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v.3, n.6, p. 1-10. June. 2012. Disponível em: <<http://www.ijser.org/researchpaper%5CTPM-implementation-to-invigorate-manufacturing-performance-an-Indian-industrial-rubric.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

PEIXOTO, A. de L. A.; BASTOS, A. V. B. . Uso e efetividade de práticas de gestão da produção e do trabalho: um *survey* da indústria brasileira. **READ**, Porto Alegre, ed. 72, n. 2, p. 372-399, mai/ago, 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-23112012000200004&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-23112012000200004&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 10 jan. 2017.

RAJARATHINAM, V.; CHELLAPPA, S.; NAGARAJAN, A. Conceptual Framework for the mapping of management process with Information technology in a business process. **The Scientific World Journal**. v. 2015, p. 1- 7, jan. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2015/983832>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

RANJAN, R.; MISHRA A. Evaluation and optimization of overall equipment effectiveness on a pasting machine in a battery manufacturing industry. **International Journal of Performability Engineering**, v. 12, n. 6, p. 503-512. nov.2016. Disponível em:< <http://link-periodicos-capes-gov-br.ez47.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41/css/public/style.css>>. Acesso em 10 jan. 2017.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

RITZMAN, L; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

ROSSI, J. W.; Neves, C. das. **Econometria e séries temporárias: com aplicações a dados da economia brasileira**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

SAMAT, H. A.; KAMARUDDIN, S.; AZID, I. A. Integration of overall equipamento effectiveness (OEE) and reliability method for measurin machine effectiveness. **The South African Journal of Industrial Engineering**, v. 23, n. 1, . p.222-247.may. 2012. Disponível em: <<http://sajie.journals.ac.za/pub/article/view/222>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. D. P. B. **Metodologia de pesquisa**. Tradução de Daisy Vaz de Moraes, revisão técnica de Ana Gracinda Queluz Garcia, Dirceu da Silva, Marcos Júlio. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, C. R. dos; LEAL, E. A.; MIRANDA, G. J. A importância da gestão de custos na formação do preço de venda: um estudo de caso em uma indústria química de médio-grande porte. **Associação brasileira de custos**. São Leopoldo, v. 9, n.1, jan./abr. 2014. Disponível em: <<http://abcustos.emnuvens.com.br/abcustos/article/view/240>>. Acesso em: 19 jan. 2017.

SELLITO, M. A.; FACHINI, S. J. Análise estratégica da gestão da manutenção industrial de uma empresa de metal- mecânica. **E-tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 49 -66, 2014. Disponível em: <<http://revista.ctai.senai.br/index.php/edicao01/article/viewFile/400/337>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

SERRA, N. R. C. et al. Utilização do indicador OEE na análise do desempenho dos processos e melhoria contínua na produção de condutores elétricos. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente, São Carlos/SP. **Anais**. São Carlos/SP: ENEGEP, 2010. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_tn\\_stp\\_113\\_739\\_17096.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_stp_113_739_17096.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2017.

SEVEGNANI, et. al. Sistema de monitoramento de paradas de máquina em uma linha de usinagem - um estudo de caso. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção: maturidade e desafios da engenharia de produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente, 2010, São Carlos/SP. **Anais**. São Carlos/SP: ENEGEP, 2010. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_TN\\_STP\\_113\\_740\\_16608.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STP_113_740_16608.pdf)>. Acesso em: 05 jan. 2017.

SILVA, A. C. R. da. **Metodologia da pesquisa aplicada à contabilidade**: orientações de estudos, projetos, relatórios, monografias, dissertações, teses. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

SILVA, E. H. D. R. da; LIMA, E. P. de. O estudo de indicadores de desempenho sob o enfoque da gestão estratégica organizacional. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, n. 3, p. 159-175, jul-set., 2015. Disponível em: <<http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/12111>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

SILVA, J. F.; SILVA, A. A.. Informação no processo de produção: a experiência de uma indústria produtora de Big Bag. **Informação & Sociedade: Estudos**. João Pessoa: v.26, n.1, p. 103-114, jan./abr. 2016. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/index.php/ies/article/view/23000>> Acesso em: 21 jan. 2017.

SILVA, R. N. S.; LINS, L. dos S. **Gestão de Custos: Contabilidade, Controle e Análise**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2010.

SLACK, N. *et al.* **Gerenciamento de operações e de processos**: princípios e práticas de impacto estratégico. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; **Administração da produção**. Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fábio Alher; revisão técnica Henrique Luiz Corrêa. 2. ed. 9. reimpressão. São Paulo: Atlas, 2008.

SOUZA, J. B. et. al. Indicadores de desempenho da função manutenção: um enfoque em aciarias brasileiras. **GEPROS**. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v.7, n.3, p.75-89, jul./set., 2012. Disponível em: <<http://www.gepros.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/814/452>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

TSAROUHAS, P. H. Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: a case study. **International Journal of Production Research**, v.51, n.2, p. 515–523, mar., 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2011.653014>>. Acesso em 13 jan. 2017.



WUDHIKARN, R. Implementation of the overall equipment cost loss (OECL) methodology for comparison with overall equipment effectiveness (OEE). **Journal of Quality in Maintenance Engineering**. v.22, n.1, p.81-93, mar. 2016. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/JQME-12-2011-0001>>. Acesso em 05 jan. 2017.

YUNIAWAN, D.; ITO, T.; E BIN, M. Calculation of overall equipment effectiveness weight by Taguchi method with simulation. **Concurrent Engineering Research and Applications**. v.21, n. 4, p. 296 – 306. oct. 2013. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1063293X13507938>>. Acesso em 19 jan. 2017.

APÊNDICE A – QUADRO DE PARÂMETROS DE SUAVIZAÇÃO PARA  $\alpha$  COM MENOR ERRO QUADRÁTICO MÉDIO

Continua

$t$	$\hat{Z}_t$	$\alpha$	Mean	Mean Abs	Sums of	Mean	Mean %	Mean Abs
			Error	Error	Squares	Squares	Error	% Error
7	2,915000	0,7000	- 0,2774	1,0445	7,4824	1,2471	- 13,0918	27,2664
8	2,914972	0,7000	- 0,2038	0,9132	7,8561	1,1223	- 10,5371	23,6699
15	4,284400	0,1000	- 0,0009	1,4454	45,4155	3,2440	- 18,7088	40,1284
16	4,284426	0,1000	- 0,0008	1,3490	45,4156	3,0277	- 17,4605	37,4527
17	4,284412	0,1000	- 0,0007	1,2647	45,4156	2,8385	- 16,3682	35,1114
18	4,284401	0,1000	- 0,0006	1,1903	45,4156	2,6715	- 15,4045	33,0457
19	4,284392	0,1000	- 0,0006	1,1242	45,4156	2,5231	- 14,5479	31,2095
20	4,284384	0,1000	- 0,0005	1,0650	45,4156	2,3903	- 13,7816	29,5667
21	4,284378	0,1000	- 0,0005	1,0117	45,4156	2,2708	- 13,0920	28,0882
22	4,284374	0,1000	- 0,0004	0,9636	45,4156	2,1626	- 12,4681	26,7505
30	5,112100	0,1000	0,1608	1,2478	88,8902	3,0652	- 10,8048	30,1562
31	5,112785	0,1000	0,1505	1,2078	88,9300	2,9643	- 10,5716	29,2213
36	5,295400	0,1000	0,1369	1,3223	115,5801	3,3023	- 11,5623	30,9547
57	5,446700	0,1000	0,0466	1,5426	222,9264	3,9808	- 17,5853	37,8507
71	5,084800	0,1000	- 0,0129	1,4581	258,3562	3,6908	- 19,0924	37,8130
72	5,084875	0,1000	- 0,0126	1,4375	258,3459	3,6387	- 18,8190	37,2779
73	5,084874	0,1000	- 0,0122	1,4175	258,3365	3,5880	- 18,5533	36,7577
74	5,084873	0,1000	- 0,0119	1,3980	258,3273	3,5387	- 18,2950	36,2519
75	5,084873	0,1000	- 0,0116	1,3791	258,3184	3,4908	- 18,0437	35,7598
76	5,084872	0,1000	- 0,0113	1,3606	258,3097	3,4441	- 17,7993	35,2809
77	5,084872	0,1000	- 0,0110	1,3427	258,3013	3,3987	- 17,5614	34,8147
78	5,084872	0,1000	- 0,0107	1,3252	258,2931	3,3545	- 17,3298	34,3606
92	6,640900	0,1000	0,1188	1,7426	755,1396	8,2982	- 19,6576	38,7202
105	2,297600	0,3000	- 0,1001	1,9011	824,3978	7,9269	- 26,7970	47,0467
112	4,015570	0,2000	- 0,0602	1,8309	851,3879	7,6702	- 26,7864	46,5872
113	4,041645	0,9000	- 0,0129	1,9169	952,6044	8,5054	- 18,0049	43,9951
119	3,545351	0,2000	- 0,0725	1,7556	860,5330	7,2927	- 27,2684	46,2737
120	3,333254	0,9000	- 0,0178	1,8577	966,8882	8,1251	- 18,6957	44,4396
127	3,737271	0,2000	- 0,0561	1,7017	872,2911	6,9229	- 26,0956	45,3094
128	3,759938	0,9000	- 0,0121	1,8059	985,3864	7,7589	- 18,0958	43,5762
129	3,734871	0,2000	- 0,0544	1,6774	872,2440	6,8144	- 25,6649	44,6497
130	3,737378	0,9000	- 0,0119	1,7782	985,3885	7,6387	- 17,8168	42,9086
131	3,735372	0,2000	- 0,0528	1,6516	872,1565	6,7089	- 25,2490	43,9562
132	3,735573	0,9000	- 0,0115	1,7512	985,3909	7,5221	- 17,5417	42,2567
133	3,735412	0,2000	- 0,0512	1,6264	872,0741	6,6066	- 24,8468	43,2834
134	3,735428	0,9000	- 0,0112	1,7250	985,3941	7,4090	- 17,2747	41,6238
162	5,594564	0,3000	0,0052	1,7251	1.070,1376	6,6468	- 20,7686	41,2675

Continua

173	5,130028	0,3000	- 0,0047	1,7166	1.118,9469	6,5055	- 20,5026	40,8085
176	5,328614	0,3000	- 0,0007	1,7256	1.141,8747	6,5250	- 20,7127	41,2054
183	6,285746	0,3000	0,0162	1,7075	1.164,0756	6,3960	- 19,8502	40,3281
190	7,954476	0,3000	0,0435	1,6964	1.195,7079	6,3265	- 18,9289	39,4363
195	4,836433	0,3000	- 0,0112	1,7126	1.241,4290	6,3991	- 20,8801	40,9334
196	5,456864	0,2000	- 0,0007	1,6984	1.251,6790	6,4189	- 22,1529	41,6012
197	5,022562	0,3000	- 0,0078	1,6972	1.241,7892	6,3357	- 20,6019	40,5333
204	6,357641	0,3000	0,0142	1,6824	1.261,3354	6,2135	- 19,7455	39,8599
218	4,489151	0,3000	- 0,0156	1,6825	1.344,3298	6,1951	- 24,9870	44,7655
252	5,457963	0,2000	0,0002	1,6791	1.520,8520	6,0592	- 25,9959	45,7353
269	4,687459	0,2000	- 0,0144	1,7080	1.668,1416	6,2244	- 26,2592	45,9493
276	3,487101	0,2000	- 0,0350	1,7038	1.692,2160	6,1535	- 26,9522	46,4333
288	6,515326	0,2000	0,0189	1,7447	1.833,6382	6,3890	- 26,0419	46,4396
294	4,182523	0,2000	- 0,0208	1,7485	1.867,9845	6,3754	- 27,6331	47,6164
295	3,883484	0,9000	- 0,0057	2,0138	2.330,3432	7,9263	- 22,1919	50,2237
302	5,796901	0,2000	0,0065	1,7498	1.921,8721	6,3850	- 27,4433	47,8430
316	5,407787	0,2000	- 0,0001	1,7260	1.961,8174	6,2280	- 26,7990	46,8985
351	6,361544	0,2000	0,0130	1,7608	2.217,9748	6,3371	- 27,2735	47,9252
352	6,155854	0,1000	0,0200	1,7603	2.230,7874	6,3555	- 28,5199	48,6382
353	6,320405	0,2000	0,0123	1,7510	2.217,7969	6,3006	- 27,1228	47,6586
357	5,433350	0,2000	- 0,0003	1,7442	2.230,3688	6,2651	- 27,2104	47,5155
358	5,416500	0,2000	- 0,0005	1,7395	2.229,8999	6,2462	- 27,1292	47,3852
363	5,755100	0,2000	0,0041	1,7335	2.247,4071	6,2083	- 26,7785	47,0026
364	5,749579	0,2000	0,0040	1,7289	2.247,0323	6,1902	- 26,6977	46,8764
365	5,837698	0,1000	0,0103	1,7301	2.257,8898	6,2030	- 27,9148	47,5963
372	6,196070	0,2000	0,0096	1,7232	2.281,3911	6,1493	- 26,2061	46,3509
379	6,175121	0,2000	0,0090	1,7290	2.332,1854	6,1698	- 26,0933	46,2488
386	6,022223	0,1000	0,0135	1,7490	2.407,6528	6,2536	- 28,2684	48,1347
393	6,142679	0,1000	0,0159	1,7410	2.427,7855	6,1933	- 27,8262	47,6372
399	5,973448	0,1000	0,0113	1,7305	2.438,1355	6,1260	- 27,5615	47,2243
400	5,973464	0,1000	0,0113	1,7248	2.437,6676	6,1094	- 27,4975	47,0929
407	6,629063	0,1000	0,0265	1,7222	2.464,7416	6,0708	- 26,8936	46,6245
414	6,083850	0,1000	0,0129	1,7062	2.470,8850	5,9828	- 26,6886	46,0850
421	6,139602	0,1000	0,0137	1,7093	2.516,4611	5,9916	- 26,4672	45,8571
428	5,238680	0,1000	- 0,0073	1,7022	2.537,6872	5,9431	- 26,6827	45,7576
433	5,005795	0,1000	- 0,0124	1,6947	2.550,3052	5,9035	- 26,6942	45,6527
434	4,629034	0,2000	- 0,0105	1,6948	2.555,5193	5,9019	- 25,4729	45,0420
435	4,968119	0,1000	- 0,0131	1,6864	2.549,9278	5,8754	- 26,5920	45,4473
436	4,696851	0,2000	- 0,0096	1,6877	2.555,6124	5,8750	- 25,3391	44,8499
442	4,908107	0,1000	- 0,0140	1,6699	2.555,8107	5,7955	- 26,2434	44,9446
449	5,061406	0,1000	- 0,0102	1,6656	2.577,4886	5,7533	- 25,9306	44,6884
456	4,552477	0,1000	- 0,0208	1,6648	2.602,8057	5,7205	- 26,3070	44,9905
462	4,768711	0,1000	- 0,0157	1,6613	2.622,0644	5,6878	- 26,0174	44,7734
463	4,764525	0,1000	- 0,0157	1,6578	2.621,6040	5,6745	- 25,9627	44,6850

Continua

470	5,572425	0,1000	0,0015	1,6537	2.642,2719	5,6338	- 25,3531	44,3111
477	5,270795	0,1000	- 0,0047	1,6489	2.663,7472	5,5961	- 25,3114	44,1713
484	5,102868	0,1000	- 0,0080	1,6354	2.670,0076	5,5280	- 25,0635	43,7639
491	5,491808	0,1000	- 0,0000	1,6283	2.686,4709	5,4826	- 24,6546	43,4208
498	4,503796	0,1000	- 0,0194	1,6297	2.712,0319	5,4568	- 25,0463	43,6330
505	4,597671	0,1000	- 0,0170	1,6339	2.751,2364	5,4588	- 24,9945	43,6864
512	4,526420	0,1000	- 0,0180	1,6306	2.771,8770	5,4244	- 24,9440	43,6580
519	5,029243	0,1000	- 0,0080	1,6366	2.830,0902	5,4635	- 24,6743	43,5541
525	4,875260	0,1000	- 0,0107	1,6299	2.843,3281	5,4262	- 24,5746	43,3641
526	4,875254	0,1000	- 0,0107	1,6269	2.842,9178	5,4151	- 24,5281	43,2894
532	4,897518	0,1000	- 0,0100	1,6216	2.854,0758	5,3749	- 24,3441	43,1129
533	4,890132	0,2000	- 0,0051	1,6351	2.879,9440	5,4134	- 23,3031	42,8921
534	4,896776	0,1000	- 0,0099	1,6157	2.853,6563	5,3540	- 24,2529	42,9588
539	5,077942	0,1000	- 0,0065	1,6206	2.902,8557	5,3956	- 24,2379	42,9862
540	5,077504	0,1000	- 0,0065	1,6177	2.902,4526	5,3849	- 24,1935	42,9145
547	5,657696	0,1000	0,0040	1,6335	2.973,1986	5,4454	- 24,1217	43,1229
559	5,827474	0,1000	0,0068	1,6404	3.055,2520	5,4754	- 24,0461	43,1348
560	5,827415	0,1000	0,0068	1,6376	3.054,8687	5,4649	- 24,0041	43,0659
561	5,842348	0,9000	0,0008	2,0201	4.359,8291	7,7854	- 21,5852	49,8826
568	5,022289	0,1000	- 0,0073	1,6303	3.080,6878	5,4333	- 24,2640	43,0824
574	5,784509	0,1000	0,0058	1,6429	3.166,0463	5,5254	- 24,0339	43,0271
575	5,784874	0,1000	0,0058	1,6402	3.165,6695	5,5151	- 23,9931	42,9608
588	6,797791	0,1000	0,0224	1,6547	3.271,6342	5,5735	- 24,1840	43,4515
589	6,797883	0,1000	0,0224	1,6521	3.271,2717	5,5634	- 24,1447	43,3866
595	6,489727	0,1000	0,0168	1,6575	3.310,5873	5,5734	- 24,2086	43,4306
596	6,489776	0,1000	0,0167	1,6549	3.310,2193	5,5634	- 24,1695	43,3663
634	4,310418	0,1000	- 0,0187	1,6949	3.626,8739	5,7297	- 25,4549	44,5286
641	4,243194	0,1000	- 0,0193	1,6828	3.632,4353	5,6757	- 25,2676	44,2425
652	5,512991	0,1000	0,0004	1,6911	3.719,8548	5,7141	- 24,9160	44,2448
658	5,151590	0,1000	- 0,0050	1,6811	3.723,2350	5,6670	- 24,8109	43,9639
659	5,151590	0,1000	- 0,0049	1,6787	3.722,8443	5,6578	- 24,7738	43,9044
660	5,109739	0,2000	- 0,0028	1,7056	3.799,8392	5,7661	- 23,9996	44,0697
701	5,566835	0,1000	0,0007	1,7044	4.025,6540	5,7509	- 24,6777	44,0523
715	5,580887	0,1000	0,0009	1,6963	4.059,7070	5,6859	- 24,3431	43,6750
722	5,383825	0,1000	- 0,0018	1,6933	4.082,0790	5,6617	- 24,2678	43,5458
729	5,887584	0,1000	0,0050	1,6858	4.092,7892	5,6220	- 23,9474	43,2524
736	5,723161	0,1000	0,0027	1,6856	4.130,1791	5,6193	- 24,2328	43,5233
743	5,594550	0,1000	0,0009	1,6767	4.139,2830	5,5785	- 24,0944	43,2834
749	5,556999	0,1000	0,0004	1,6753	4.164,0745	5,5669	- 24,0642	43,2398
750	5,308786	0,2000	- 0,0015	1,7086	4.270,9126	5,7022	- 23,4982	43,5959
751	5,532177	0,1000	0,0000	1,6714	4.163,8243	5,5518	- 24,0071	43,1383
757	5,654142	0,1000	0,0016	1,6677	4.176,0731	5,5239	- 23,8410	42,9786
764	5,634496	0,1000	0,0014	1,6711	4.216,4770	5,5262	- 23,8134	42,9886
771	6,010131	0,1000	0,0061	1,6703	4.244,5058	5,5123	- 23,5889	42,8103

Continua

777	6,319366	0,1000	0,0100	1,6674	4.258,5237	5,4878	- 23,3953	42,6522
778	6,317762	0,1000	0,0099	1,6658	4.258,3217	5,4805	- 23,3663	42,6097
783	7,350019	0,1000	0,0228	1,6706	4.310,0422	5,5116	- 23,1117	42,4909
784	7,349072	0,1000	0,0228	1,6690	4.309,8809	5,5043	- 23,0837	42,4492
785	7,997442	0,2000	0,0155	1,7045	4.416,0899	5,6328	- 22,6144	42,8453
792	7,275958	0,1000	0,0214	1,6750	4.399,6457	5,5621	- 23,0617	42,3889
799	6,877130	0,1000	0,0161	1,6837	4.470,7893	5,6025	- 23,3163	42,6448
804	6,102318	0,1000	0,0064	1,6864	4.514,5826	5,6221	- 23,6822	42,9346
805	5,433062	0,2000	- 0,0010	1,7259	4.636,5891	5,7669	- 23,2427	43,4085
806	6,043160	0,1000	0,0056	1,6847	4.515,8452	5,6097	- 23,6430	42,8744
811	5,552462	0,1000	- 0,0004	1,6840	4.545,8955	5,6122	- 23,9446	43,0960
812	5,517530	0,1000	- 0,0009	1,6843	4.546,6997	5,6063	- 23,9258	43,0838
813	5,040461	0,2000	- 0,0034	1,7230	4.666,8642	5,7474	- 23,3767	43,5118
820	5,951684	0,1000	0,0044	1,6828	4.591,1589	5,6058	- 23,7605	42,9606
827	5,996981	0,1000	0,0049	1,6799	4.613,5072	5,5854	- 23,6236	42,8004
834	5,646609	0,1000	0,0006	1,6744	4.623,5224	5,5504	- 23,5343	42,6092
840	5,130780	0,1000	- 0,0054	1,6740	4.647,1696	5,5389	- 23,7009	42,7188
841	5,125975	0,1000	- 0,0055	1,6749	4.648,3318	5,5337	- 23,6752	42,7146
842	4,752320	0,2000	- 0,0049	1,7159	4.773,9270	5,6765	- 23,0766	43,1685
848	6,404823	0,1000	0,0095	1,6743	4.707,5356	5,5579	- 23,3338	42,4838
855	5,233027	0,1000	- 0,0042	1,6743	4.735,9985	5,5457	- 23,5542	42,5482
868	5,784346	0,1000	0,0021	1,6779	4.827,7592	5,5683	- 23,3547	42,4238
869	5,781621	0,1000	0,0021	1,6793	4.829,7444	5,5642	- 23,3312	42,4279
876	6,092799	0,1000	0,0056	1,6732	4.853,1581	5,5465	- 23,1470	42,2034
895	5,274624	0,1000	- 0,0036	1,6792	4.957,6551	5,5455	- 23,3517	42,3847
896	5,274448	0,1000	- 0,0036	1,6806	4.959,6404	5,5415	- 23,3283	42,3885
897	5,009995	0,2000	- 0,0033	1,7231	5.101,9245	5,6941	- 22,7602	42,8806
918	4,981501	0,1000	- 0,0066	1,6850	5.095,0950	5,5563	- 23,5049	42,5786
925	5,074961	0,1000	- 0,0055	1,6778	5.101,3933	5,5210	- 23,3264	42,3534
931	5,099687	0,1000	- 0,0052	1,6770	5.120,2300	5,5056	- 23,2380	42,2794
932	5,098947	0,1000	- 0,0052	1,6786	5.122,3029	5,5019	- 23,2146	42,2857
938	5,393238	0,1000	- 0,0021	1,6819	5.190,1506	5,5391	- 23,2468	42,3504
939	5,392844	0,1000	- 0,0020	1,6835	5.192,2338	5,5354	- 23,2236	42,3566
981	4,849739	0,1000	- 0,0073	1,6937	5.468,6354	5,5802	- 23,6370	42,7897
999	4,203508	0,1000	- 0,0134	1,6973	5.558,6892	5,5698	- 23,8120	42,9928
1006	4,309601	0,1000	- 0,0122	1,6925	5.569,2505	5,5415	- 23,6758	42,8637
1007	4,309601	0,1000	- 0,0122	1,6940	5.571,3265	5,5381	- 23,6535	42,8689
1008	4,309593	0,2000	- 0,0061	1,7345	5.741,8559	5,7019	- 23,0107	43,3263
1009	4,309600	0,1000	- 0,0121	1,6906	5.571,2988	5,5271	- 23,6059	42,7834
1022	4,356952	0,1000	- 0,0114	1,6852	5.626,0248	5,5103	- 23,5830	42,7305
1023	4,356952	0,1000	- 0,0114	1,6867	5.628,1028	5,5069	- 23,5611	42,7357
1029	4,299955	0,1000	- 0,0118	1,6787	5.635,4762	5,4820	- 23,5079	42,6023
1030	4,099099	0,9000	- 0,0015	2,1689	8.781,0740	8,5336	- 22,0652	51,7359
1037	4,872573	0,1000	- 0,0062	1,6829	5.694,7538	5,4969	- 23,4996	42,7398

Continua

1128	4,709054	0,1000	- 0,0068	1,6673	6.018,1073	5,3399	- 23,1936	42,5023
1135	5,460928	0,1000	- 0,0002	1,6639	6.049,5117	5,3347	- 22,9931	42,3366
1136	5,461409	0,1000	- 0,0002	1,6662	6.052,4914	5,3326	- 22,9761	42,3608
1137	5,844266	0,2000	0,0016	1,7106	6.257,0957	5,5080	- 22,5325	42,9807
1138	5,499695	0,1000	0,0001	1,6636	6.052,6413	5,3233	- 22,9300	42,2921
1139	5,775352	0,2000	0,0013	1,7079	6.257,2165	5,4984	- 22,4984	42,9107
1140	5,527261	0,1000	0,0004	1,6609	6.052,7202	5,3141	- 22,8856	42,2221
1141	5,725734	0,2000	0,0011	1,7051	6.257,2798	5,4888	- 22,4629	42,8394
1142	5,547108	0,1000	0,0006	1,6582	6.052,7623	5,3048	- 22,8425	42,1511
1149	6,501201	0,1000	0,0087	1,6574	6.115,8135	5,3274	- 22,6589	41,9873
1156	5,891350	0,1000	0,0034	1,6574	6.140,6477	5,3166	- 22,6799	41,9508
1163	6,082334	0,1000	0,0050	1,6537	6.155,4324	5,2973	- 22,5448	41,7990
1170	5,565127	0,1000	0,0006	1,6561	6.190,5379	5,2956	- 22,6134	41,8531
1176	5,870560	0,1000	0,0031	1,6574	6.218,5275	5,2924	- 22,5204	41,8108
1177	5,872956	0,1000	0,0031	1,6604	6.220,4342	5,2895	- 22,5037	41,8499
1184	5,509988	0,1000	0,0001	1,6529	6.232,0010	5,2680	- 22,4693	41,6834
1191	5,464761	0,1000	- 0,0003	1,6513	6.252,9943	5,2546	- 22,4038	41,6037
1198	4,997698	0,1000	- 0,0042	1,6478	6.269,3759	5,2376	- 22,4339	41,5569
1205	4,866035	0,1000	- 0,0052	1,6446	6.282,3124	5,2179	- 22,3905	41,4892
1212	5,343070	0,1000	- 0,0013	1,6411	6.295,9878	5,1990	- 22,2165	41,3481
1219	4,577093	0,1000	- 0,0075	1,6395	6.316,8999	5,1863	- 22,3820	41,4292
1226	5,079318	0,1000	- 0,0034	1,6419	6.359,1618	5,1912	- 22,2702	41,3992
1240	5,440400	0,1000	- 0,0004	1,6396	6.414,8391	5,1774	- 22,1040	41,2552
1247	6,190964	0,1000	0,0055	1,6397	6.442,4147	5,1705	- 21,9302	41,1645
1254	5,945981	0,1000	0,0035	1,6377	6.464,7767	5,1594	- 21,9244	41,1168
1255	5,945982	0,1000	0,0036	1,6404	6.466,6962	5,1569	- 21,9096	41,1542
1275	6,624577	0,1000	0,0087	1,6404	6.586,1982	5,1697	- 21,9971	41,2655
1282	5,830528	0,1000	0,0024	1,6434	6.637,6204	5,1816	- 22,2149	41,4372
1289	5,652443	0,1000	0,0010	1,6380	6.642,6960	5,1574	- 22,1324	41,2845
1290	5,509003	0,2000	- 0,0000	1,6884	6.878,0795	5,3360	- 21,7954	42,0555
1295	5,837543	0,1000	0,0024	1,6351	6.657,5915	5,1450	- 22,0290	41,1619
1296	5,888667	0,2000	0,0014	1,6856	6.894,6687	5,3241	- 21,6941	41,9360
1297	5,835032	0,1000	0,0024	1,6367	6.659,5830	5,1386	- 21,9981	41,1691
1302	5,504790	0,1000	- 0,0001	1,6314	6.669,5553	5,1265	- 21,9922	41,0588
1303	5,356268	0,2000	- 0,0006	1,6820	6.907,2637	5,3051	- 21,6497	41,8318
1317	5,765819	0,1000	0,0019	1,6293	6.719,6735	5,1061	- 21,8429	40,9312
1324	4,745403	0,1000	- 0,0058	1,6300	6.758,0319	5,1081	- 22,1849	41,2008
1331	4,460936	0,1000	- 0,0079	1,6286	6.778,5036	5,0966	- 22,1987	41,1839
1338	3,779785	0,1000	- 0,0128	1,6264	6.793,4857	5,0811	- 22,3319	41,2424
1345	4,795078	0,1000	- 0,0052	1,6300	6.846,5261	5,0941	- 22,1589	41,2232
1351	5,321939	0,1000	- 0,0013	1,6307	6.880,3399	5,0965	- 22,0659	41,1965
1352	5,627212	0,2000	0,0005	1,6810	7.121,2277	5,2711	- 21,6453	41,9364
1364	4,248736	0,1000	- 0,0091	1,6303	6.922,0787	5,0786	- 22,2309	41,2887

Continua

1371	4,259604	0,1000	- 0,0089	1,6284	6.949,2811	5,0725	- 22,2001	41,2355
1372	4,020461	0,2000	- 0,0053	1,6782	7.190,8786	5,2450	- 21,7203	41,9433
1373	4,239390	0,1000	- 0,0090	1,6304	6.951,6310	5,0668	- 22,1749	41,2547
1380	4,483436	0,1000	- 0,0072	1,6236	6.972,9708	5,0565	- 22,1141	41,1331
1387	5,186557	0,1000	- 0,0021	1,6319	7.089,3593	5,1150	- 22,1556	41,2794
1394	6,154544	0,1000	0,0048	1,6365	7.233,0848	5,1925	- 22,0487	41,2211
1408	7,861197	0,1000	0,0167	1,6522	7.653,5987	5,4397	- 22,0392	41,2915
1409	7,601918	0,9000	0,0017	2,1291	11.690,6377	8,3030	- 20,6712	50,0302
1410	7,834814	0,1000	0,0165	1,6544	7.656,4251	5,4339	- 22,0152	41,3136
1450	5,749636	0,1000	0,0016	1,6583	7.898,6768	5,4511	- 22,2980	41,4170
1455	5,307380	0,1000	- 0,0015	1,6566	7.908,7160	5,4393	- 22,3086	41,3792
1456	5,348915	0,9000	- 0,0001	2,1319	12.032,4239	8,2697	- 20,5479	49,8864
1457	5,311327	0,1000	- 0,0014	1,6587	7.910,9929	5,4334	- 22,2802	41,3979
1471	6,459812	0,1000	0,0063	1,6587	8.026,6292	5,4603	- 22,2467	41,4014
1477	5,512998	0,1000	- 0,0001	1,6584	8.050,7289	5,4544	- 22,3688	41,4459
1478	5,513478	0,1000	- 0,0001	1,6616	8.052,9750	5,4523	- 22,3565	41,4925
1482	5,746115	0,1000	0,0015	1,6591	8.080,5384	5,4561	- 22,3410	41,4457
1483	5,538163	0,4000	0,0000	1,8371	9.111,2753	6,1480	- 21,5261	44,5015
1484	5,533154	0,9000	0,0000	2,1328	12.260,7542	8,2675	- 20,6475	50,0123
1485	5,526505	0,8000	0,0000	2,0617	11.419,9095	7,6954	- 20,8092	48,7230
1492	5,549765	0,1000	0,0001	1,6576	8.122,9499	5,4480	- 22,3351	41,4046
1499	5,395755	0,1000	- 0,0009	1,6566	8.141,7813	5,4351	- 22,2883	41,3406
1506	5,719915	0,1000	0,0013	1,6613	8.243,9336	5,4777	- 22,2740	41,3588
1507	5,511040	0,9000	- 0,0000	2,1423	12.567,9744	8,3453	- 20,6856	50,1331
1508	5,693342	0,1000	0,0011	1,6638	8.246,4438	5,4721	- 22,2497	41,3839
1509	5,517861	0,5000	- 0,0000	1,8952	9.790,7626	6,4925	- 21,2981	45,5058
1510	5,533586	0,9000	0,0000	2,1382	12.568,0324	8,3287	- 20,6443	50,0375
1511	5,661573	0,1000	0,0009	1,6607	8.246,4960	5,4613	- 22,2093	41,3055
1512	5,573526	0,4000	0,0001	1,8369	9.318,6104	6,1672	- 21,4308	44,3633
1513	5,652768	0,1000	0,0008	1,6586	8.246,5050	5,4540	- 22,1810	41,2519
1519	5,858373	0,1000	0,0021	1,6567	8.309,3047	5,4739	- 22,2132	41,2354
1520	5,822688	0,1000	0,0019	1,6606	8.312,1768	5,4721	- 22,2043	41,2921
1527	5,343160	0,1000	- 0,0012	1,6525	8.322,2618	5,4536	- 22,1981	41,1397
1533	5,864939	0,1000	0,0021	1,6511	8.340,5223	5,4442	- 22,0758	41,0505
1534	5,855869	0,1000	0,0021	1,6550	8.343,2888	5,4425	- 22,0637	41,1070
1540	5,355368	0,1000	- 0,0012	1,6502	8.363,6653	5,4345	- 22,1025	41,0328
1541	5,350547	0,1000	- 0,0012	1,6541	8.366,3515	5,4327	- 22,0897	41,0886
1546	5,297294	0,1000	- 0,0015	1,6457	8.366,5380	5,4152	- 22,0310	40,9136
1547	5,182853	0,9000	- 0,0002	2,1274	12.784,4051	8,2693	- 20,4488	49,7134
1548	5,283288	0,1000	- 0,0016	1,6486	8.369,2322	5,4100	- 22,0051	40,9441
1555	5,142995	0,1000	- 0,0025	1,6409	8.380,7119	5,3930	- 21,9704	40,8003
1562	5,190308	0,1000	- 0,0022	1,6400	8.403,0498	5,3831	- 21,9298	40,7701
1569	4,914706	0,1000	- 0,0039	1,6377	8.417,6753	5,3684	- 21,9034	40,7023
1574	5,251814	0,1000	- 0,0017	1,6346	8.423,9249	5,3553	- 21,8020	40,6048
1575	5,250909	0,1000	- 0,0017	1,6386	8.426,6235	5,3536	- 21,7890	40,6610

## Conclusão

1576	5,457446	0,4000	- 0,0001	1,8172	9.535,4165	6,0542	- 21,0144	43,7886
1583	4,854354	0,1000	- 0,0042	1,6298	8.437,3735	5,3334	- 21,7850	40,5123
1590	5,391994	0,1000	- 0,0008	1,6298	8.464,3024	5,3268	- 21,6868	40,4781
1597	5,640603	0,1000	0,0007	1,6280	8.482,1750	5,3146	- 21,5894	40,3812
1603	4,930343	0,1000	- 0,0037	1,6263	8.497,0912	5,3041	- 21,6523	40,3739
1604	4,931492	0,1000	- 0,0037	1,6303	8.499,8294	5,3025	- 21,6397	40,4326
1611	5,336236	0,1000	- 0,0012	1,6248	8.527,0572	5,2963	- 21,5376	40,2733
1618	4,895243	0,1000	- 0,0039	1,6240	8.549,4430	5,2872	- 21,5590	40,2566
1625	5,033636	0,1000	- 0,0030	1,6228	8.572,0392	5,2783	- 21,4928	40,1966
1632	5,449299	0,1000	- 0,0004	1,6228	8.609,0935	5,2784	- 21,4217	40,1547
1633	5,449359	0,1000	- 0,0004	1,6268	8.611,8260	5,2769	- 21,4096	40,2126
1634	5,425130	0,9000	- 0,0001	2,0959	13.104,5115	8,0248	- 19,8141	48,7956
1639	5,630976	0,1000	0,0007	1,6224	8.646,9997	5,2790	- 21,4508	40,1958
1646	5,654002	0,1000	0,0008	1,6184	8.652,3090	5,2598	- 21,3657	40,0738
1653	5,145572	0,1000	- 0,0023	1,6156	8.663,8478	5,2445	- 21,3719	40,0172
1659	5,387952	0,1000	- 0,0008	1,6148	8.685,3525	5,2385	- 21,3191	39,9845
1660	5,387783	0,1000	- 0,0008	1,6188	8.688,0939	5,2369	- 21,3073	40,0418
1664	5,203617	0,1000	- 0,0019	1,6129	8.693,2978	5,2275	- 21,2952	39,9309
1665	5,068092	0,9000	- 0,0003	2,0847	13.235,6274	7,9541	- 19,7297	48,6078
1666	5,189965	0,1000	- 0,0020	1,6159	8.696,0529	5,2229	- 21,2722	39,9656
1667	5,177777	0,9000	- 0,0002	2,0823	13.235,6420	7,9446	- 19,7046	48,5509
1674	4,638071	0,1000	- 0,0052	1,6087	8.717,6729	5,2108	- 21,4934	40,0498
1681	6,051128	0,1000	0,0031	1,6166	8.918,1031	5,3084	- 21,3965	40,0313
1687	5,545747	0,1000	0,0001	1,6163	8.939,5289	5,3022	- 21,4374	40,0379
1688	5,543939	0,1000	0,0001	1,6202	8.942,3537	5,3007	- 21,4255	40,0948
1689	5,517915	0,9000	- 0,0000	2,0875	13.519,7163	8,0093	- 19,8192	48,7028
1690	5,541336	0,1000	0,0001	1,6183	8.942,3545	5,2945	- 21,4004	40,0476
1695	5,528402	0,1000	0,0000	1,6116	8.946,9824	5,2816	- 21,3528	39,9067

Fonte: Elaborado pelo autor