



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE**  
**NÚCLEO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA GLOBAL DO  
EQUIPAMENTO (OEE) EM UMA EMPRESA PRODUTORA  
DE MASSAS ALIMENTÍCIAS, SOB A ÓTICA DOS NÚMEROS  
FUZZY**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO  
POR**

**ANDERSON BEZERRA DA SILVA**

**Orientador: Prof. THALLES VITELLI GARCEZ**

**CARUARU, 2016**

**ANDERSON BEZERRA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA GLOBAL DO  
EQUIPAMENTO (OEE) EM UMA EMPRESA PRODUTORA  
DE MASSAS ALIMENTÍCIAS, SOB A ÓTICA DOS NÚMEROS  
FUZZY**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Engenharia de Manutenção  
Orientador: Prof. Thalles Vitelli Garcez

Caruaru, 2016

Catálogo na fonte:

Bibliotecária – Marcela Porfírio CRB/4 – 1878

S586a Silva, Anderson Bezerra da.  
Avaliação do índice de eficiência global do equipamento (OEE) em uma empresa produtora de massas alimentícias, sob a ótica dos números Fuzzy. / Anderson Bezerra da Silva. – 2016.  
53f. ; 30 cm.

Orientador: Thalles Vitelli Garcez.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, Engenharia de Produção, 2016.  
Inclui Referências.

1. Manutenção produtiva total. 2. Alimentos – Indústria. 3. Administração da produção. I. Garcez, Thalles Vitelli (Orientador). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-330)

**ANDERSON BEZERRA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA GLOBAL DO  
EQUIPAMENTO (OEE) EM UMA EMPRESA PRODUTORA  
DE MASSAS ALIMENTÍCIAS, SOB A ÓTICA DOS NÚMEROS  
FUZZY**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia de Produção do  
Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como  
requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Engenharia de Manutenção

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato  
ALUNO APROVADO COM NOTA\_\_\_\_\_.

Caruaru, xx de xxxx de xxxx.

Banca examinadora:

Prof. xxxxxx \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. xxxxxx \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. xxxxx \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Profa. xxxxxx \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

## RESUMO

Para conseguir atender as necessidades de seus clientes e, conseqüentemente, manterem-se competitivas, as empresas precisam estabelecer processos eficientes, com altos níveis de produtividade e qualidade, eliminando tarefas que não agregam valor ao produto final e utilizando racionalmente os recursos produtivos disponíveis. Medir a performance e depois compará-la com a real capacidade do sistema é essencial para identificar os processos e atividades que geram as maiores perdas para a linha de produção. A proposta desse trabalho foi a aplicação do Índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*) para diagnosticar a situação atual da atividade de manufatura de uma linha de produção de massas alimentícias, através da análise dos dados registrados pelos operadores que atuam na linha. Devido a imprecisão na atividade de coleta de dados, a análise de desempenho se torna incerta, justificando a utilização de números *fuzzy* para proporcionar uma análise mais ampla e possibilitar a identificação de pontos cruciais para a melhoria do sistema. Apesar de ser um índice bastante difundido na literatura mundial, encontram-se ainda dificuldades para estabelecer parâmetros ótimos para cada dimensão do OEE – Disponibilidade, Desempenho e Qualidade. Após a análise de cada índice, concluiu-se que as perdas por *downtime*, especificamente a categoria de pequenas paradas, são as que mais afetam o desempenho do processo produtivo. Foi proposta a implementação de metodologias e ferramentas como Manutenção Produtiva Total e Diagrama de Pareto para identificar e eliminar os eventos geradores das perdas produtivas mais significantes.

Palavras-chave: Indicador de desempenho. Eliminação de perdas. *Overall Equipment Effectiveness*. Números *Fuzzy*.

## ABSTRACT

To succeed in attend the customer needs and, consequently, stay competitive, the companies need to set high levels productivity and quality processes, eliminating worthless tasks that do not add value to the final product and using the available production resources rationally. Measure performance and, then, compare it with system real capacity is essential to identify the processes and tasks that create the big losses to production line. This study purposes the performance measurement through *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) to diagnoses the manufacturing process current situation of a pasta production line, through analysis of data recorded by line operators. Due haziness being in data collection task, permance measurement presents imprecision, justifying fuzzy numbers utilization to provide a wider analysis and to enable crucial points identification for system improvements. Despite being a literature large widespread index, there is no definition about optimal parameters for each OEE dimension – Availability, Performance and Quality. After analysis of each index, it is concluded that downtime losses, specifically small stoppages, are the ones that most affect the productive process performance. Was proposed methodologies and tools implementation, such as Total Productive Maintenance and Pareto Chart to identify and eliminate the most significant production losses generators events.

Key-words: Performance measurement. Elimination of losses. *Overall Equipment Effectiveness*. *Fuzzy numbers*.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.1 Definição do tema e do problema proposto</b> .....	12
<b>1.2 Justificativa</b> .....	13
<b>1.3 Objetivos</b> .....	13
<b>1.4 Estrutura do trabalho</b> .....	14
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1 TPM</b> .....	15
<b>2.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)</b> .....	17
2.2.1 As seis perdas.....	18
2.2.1.1 Perdas por downtime.....	18
2.2.1.2 Perdas por ajustes e setup.....	18
2.2.1.3 Pequenas paradas.....	18
2.2.1.4 Velocidade reduzida.....	19
2.2.1.5 Rejeitos de início de produção.....	19
2.2.1.6 Rejeitos de produção.....	19
<b>2.3 Teoria dos conjuntos fuzzy e números fuzzy</b> .....	21
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	25
<b>3.1 OEE</b> .....	115
<b>3.2 Indicadores alternativos ao OEE</b> .....	18
<b>3.3 Lógica Fuzzy</b> .....	20
<b>4. METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	33
<b>4.1 Descrição do processo de produção</b> .....	24
<b>5. RESULTADOS</b> .....	36
<b>5.1 Metodologia de cálculo das variáveis do OEE</b> .....	26
<b>5.2 Disponibilidade</b> .....	30
<b>5.3 Desempenho</b> .....	42
<b>5.4 Qualidade</b> .....	44

<b>5.5 OEE</b> .....	46
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	38
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fórmula para o cálculo do OEE, segundo Nakajima (1988) e De Groot (1995)..	8
Figura 2.2 - Representação de um corte- $\alpha$ em um número <i>fuzzy</i> .....	13
Figura 5.1 - Resultado mensal do Índice de Disponibilidade <i>Fuzzy</i> (A).....	31
Figura 5.2 - Resultado mensal do Índice de Desempenho (P).....	33
Figura 5.3 - Resultado mensal do Índice de Qualidade <i>Fuzzy</i> (Q).....	35
Figura 5.4 - Resultado mensal do Índice OEE .....	37

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Resultados alcançados por empresas ganhadoras do prêmio PM devido à implantação da TPM.....	7
Quadro 3.1 - Indicadores alternativos ao OEE encontrados na literatura .....	19
Quadro 5.1 – Fases do estudo de determinação do OEE.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Fatores utilizados para o cálculo do Índice de Disponibilidade <i>Fuzzy</i> (A) .....	30
Tabela 5.2 – Percentual de falhas entre paradas não planejadas .....	31
Tabela 5.3 - Fatores utilizados para o cálculo do Índice de Desempenho (P).....	32
Tabela 5.4 – Percentual de pequenas paradas entre paradas não planejadas.....	33
Tabela 5.5 - Índice de Qualidade <i>Fuzzy</i> .....	34
Tabela 5.6 – Índice <i>Fuzzy</i> de Eficiência Global do Equipamento.....	36

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Slack (2002), os objetivos estratégicos da organização, só serão cumpridos se o processo de produção for um processo enxuto. Para isso, a busca incessante pelo aperfeiçoamento do desempenho das operações internas, deve ser uma prática constante, através da identificação e eliminação das perdas do processo produtivo.

Huang et al. (2003) atestam que a intensa competição global motiva as empresas a otimizarem seus processos de produção para se manterem competitivas. Para isso ser possível, as perdas do processo precisam ser identificadas e eliminadas. Dessa forma, as atividades que não geram valor são excluídas e os produtos podem ser disponibilizados ao mercado com o mínimo custo. Essa situação tem levado à necessidade da implantação de um sistema de análise de desempenho rigoroso que seja capaz de considerar os vários elementos que são importantes para a produtividade de uma planta industrial.

O conceito de Manutenção Produtiva Total (TPM), formulado por Nakajima (1988), gerou uma métrica quantitativa chamada Eficiência Global do Equipamento, OEE (do inglês, *Overall Equipment Effectiveness*), para avaliar a eficiência do processo de manufatura em uma indústria. Esse índice identifica e quantifica as perdas de aspectos importantes da produção, a saber, taxas de disponibilidade, qualidade e desempenho, apoiando a melhoria da eficiência do equipamento.

Para Jeong & Phillips (2001), a utilização do OEE é muito importante em indústrias intensivas em capital, pois demanda a identificação e análise das perdas escondidas, que são responsáveis por motivar ineficiências no processo. A medição dessas perdas, que podem ocorrer mesmo quando os equipamentos estão operando – falta de qualidade do produto final e variação do tempo de ciclo do processo –, através do OEE, promove a análise dos problemas e o tratamento da causa raiz de modo a tornar as ações de melhoria do processo mais efetivas e aumentar o aproveitamento da capacidade dos equipamentos. Ljungberg (1998) afirma que, em muitas empresas, antes de qualquer intervenção de melhoria, é comum que o valor de OEE seja baixo. Numa pesquisa de campo realizada por esse autor constatou-se um valor médio de cerca de 55%.

Pelo fato das informações necessárias para o cálculo do índice de eficiência global necessitarem ser registradas no momento da ocorrência do evento, a coleta de dados precisa ser adequadamente detalhada e precisa. Por isso, a atividade de coleta de dados sobre as perdas é uma fase importante da melhoria contínua e da avaliação de desempenho de um sistema.

Ao mesmo tempo que precisa ser detalhada, a coleta de dados não pode ser demasiadamente complexa, pois ocasiona falta de motivação e reações contrárias por parte dos operadores responsáveis por esse registro (JONSSON; LESSHAMMAR, 1999).

Mesmo que seja simplificada, essa atividade pode gerar confusões, dificuldade no julgamento das perdas e falta de precisão no momento do registro. O ambiente industrial, caracterizado por altos níveis de ruído e temperatura, associado à fadiga e à pressão por resultados, são alguns motivos geradores de erros nos dados coletados. Distúrbios no processamento de tais dados podem levar a gerência industrial a tomar decisões equivocadas acerca dos aspectos produtivos que demandam mais atenção. Dessa forma, a realização correta da atividade de coleta de dados é fundamental para a avaliação do desempenho de um sistema de produção.

Diante desse cenário, os aspectos referentes à aplicação do OEE para medição da eficiência do sistema produtivo motivaram a elaboração deste trabalho, abrindo perspectivas para novas estratégias a serem adotadas para a melhoria contínua do sistema produtivo. Portanto, o objetivo deste estudo é apresentar os passos e os resultados da aplicação do OEE, para medição da eficiência do sistema produtivo, realizada em uma empresa do setor de alimentos do Distrito Industrial de Caruaru, considerando a nebulosidade, sob a ótica dos números *fuzzy*, associada à coleta dos dados na linha de produção por parte do operador responsável.

### **1.1 Definição do tema e do problema proposto**

Este trabalho tem como base uma indústria de produtos alimentícios, especificamente, uma linha de produção de macarrão. A linha considerada tem capacidade para produzir centenas de toneladas de macarrão por mês, destacando-se por produzir o principal produto da empresa, juntamente com outras duas linhas. Neste trabalho foi utilizado a lógica dos números *fuzzy*, pois foi identificado, durante a análise do processo e coleta de dados, que existe imprecisão dos valores registrados nos relatórios pelos operadores da linha. Ao fim do turno há a necessidade de introduzir os valores referentes a cada indicador do sistema produtivo no sistema de informação da empresa, porém como o procedimento é realizado manualmente há um grande índice de erro. Não obstante, dados baseados em tempo são baseados em um fator de conversão, desenvolvido para transformar centésimos de hora em hora. Outra pequena parcela dos dados baseados em tempo é estimada pelo operador, que identifica o início e o fim de cada ocorrência.

Além disso, os indicadores de unidades produzidas e perdas não obedecem um critério de definição objetivo, ocasionando variabilidade na qualidade dos produtos fabricados.

## 1.2 Justificativa

Apesar de ser uma atividade simples, a utilização de indicadores de eficiência é de fundamental importância para a manutenção e melhoria do desempenho de um sistema produtivo. A dificuldade em analisar as reais condições de utilização dos recursos produtivos tende a impedir a utilização adequada dos mesmos, que possuem caráter estratégico para a competitividade das indústrias. Portanto, essa é a principal justificativa para a realização deste trabalho.

A lógica dos números *fuzzy* possibilita modelar e manipular informações imprecisas para lidar com informações provindas dos operadores das linhas de produção. Dessa forma, este trabalho propõe a análise de um indicador de desempenho de uma linha de produção de macarrão em um contexto de incerteza. O indicador de desempenho escolhido foi o Índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE), que é reconhecido mundialmente pela sua aplicação em indústria de todos os setores ao redor do mundo.

Apesar de ser um indicador de larga utilização no contexto industrial, ainda não existem parâmetros ótimos para cada aspecto considerado por esse índice. O presente trabalho desenvolve uma forma alternativa de levar em conta as incertezas e flutuações de performances de fabricação para identificação das perdas do processo e, posteriormente, elaboração de medidas de correção.

Depois de analisar e eliminar as perdas que mais impactam na eficiência do processo produtiva, a fábrica poderá utilizar, de uma maneira mais racional, os seus recursos. Consequentemente, o melhor aproveitamento dos equipamentos proporcionará melhores resultados nos indicadores analisados e evitará a compra de outras máquinas.

## 1.3 Objetivos

- Avaliar a eficiência do equipamento através da lógica dos números *fuzzy* e identificar as perdas que mais afetam o desempenho do sistema de produção;
- Contextualizar, no cenário mundial, a eficiência global da linha de produção em estudo como um índice *fuzzy*;

- Modelar cada índice que compõe o OEE como um número *fuzzy* devido às incertezas presentes na coleta dos dados, seguindo a proposta de Rößler & Abele (2013);
- Comparar os resultados mensais com os níveis mundiais propostos por Nakajima (1993) *apud* Chiaradia (2004), onde o autor recomenda que 85% é a meta OEE *World Class* para os equipamentos, 90% é a meta Disponibilidade *World Class*, 95% é a meta Desempenho *World Class* e 99% é a meta Qualidade *World Class*. Além disso, comparar os resultados do índice OEE com a definição de Hansen (2006), que afirma que um OEE menor que 65% é inaceitável; entre 65% e 75% como aceitável, desde que a tendência seja de melhoria; e entre 75% e 85% como muito bom.
- Utilizar o OEE como precursor das ações de melhorias, para comparar o desempenho futuro com o desempenho anterior do equipamento, após implementar essas melhorias;
- Estabelecer parâmetros que sirvam como base comparativa para outros sistemas de produção semelhantes;
- Discutir como o índice OEE pode auxiliar na melhoria contínua dos equipamentos, através da análise dos índices que o compõe.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

A estrutura deste trabalho é composta de seis capítulos. O primeiro capítulo, aborda as considerações iniciais, os objetivos, delimitação da pesquisa, material e métodos, justificativa e a estrutura do trabalho; O segundo capítulo exhibe a fundamentação teórica do modelo; O terceiro capítulo apresenta a revisão da literatura sobre os temas abordados neste estudo; o quarto capítulo apresenta a metodologia utilizada na pesquisa e a descrição do processo de produção; o quinto capítulo traz a análise dos resultados; Conclusões e considerações finais compõem o sexto capítulo; e, por fim, seguem as referências bibliográficas

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TPM

A origem do termo conceito de manutenção produtiva total (em inglês, *Total Productive Maintenance* - TPM) foi apresentado pela primeira vez nas organizações japonesas e surgiu da necessidade de se evitar falhas, visto que são caras para a empresa e comprometem o sistema produtivo, e aumentar o tempo de operação do equipamento. Esse conceito vai muito além da simples manutenção corretiva, aplicada pela maioria das organizações. A implementação do TPM exige grande mudança nos processos corporativos, sobretudo, na mentalidade das pessoas envolvidas com as atividades da companhia.

Organizações nível *World Class* integram a área de manutenção com o planejamento estratégico, fazendo desta área uma peça chave para o aumento da competitividade. A essa integração é dado o nome de TPM, cujo conceito foi apresentado nos anos 70 no Japão para fornecer vantagem competitiva para aquelas organizações que a adotassem.

Almeida & Souza (2001) ressaltam a semelhança da TPM com a TQM (*Total Quality Management*):

- Completo envolvimento da alta gerência;
- A palavra “Total” significa que toda a fábrica está envolvida na cultura dos programas;
- Primeiramente, acontece um período de maturação, onde a cultura do programa será difundida e enraizada na empresa. Após o período de maturação é que os resultados mais consistentes irão aparecer.

A manutenção não é uma despesa, mas sim, um investimento na melhoria da manufatura (PARK; HAN, 2001). Um investimento em manutenção gera melhorias na qualidade, na confiabilidade, na segurança e nos tempos de *lead time* (TERESKO, 1992).

A TPM é baseada em três grandes conceitos (LJUNGBERG, 1998):

- Maximizar a eficiência dos equipamentos;
- Manutenção autônoma por parte dos operadores; e
- Atividades de pequenos grupos.

A TPM descreve uma relação sinérgica entre as funções organizacionais, de forma mais acentuada entre a produção e a manutenção, para alcançar, sobretudo, a melhoria contínua da qualidade do produto e a eficiência operacional (PARK; HAN, 2001).

TPM é uma abordagem sistêmica para o entendimento do funcionamento do equipamento e sua relação com a qualidade do produto final, bem como as frequências de defeitos dos componentes mais críticos do equipamento, que tem como objetivo maximizar a eficiência estabelecendo um sistema minucioso de manutenção para toda a vida útil do equipamento através do trabalho de pequenos grupos autônomos, levando em consideração todos os componentes do sistema de produção (NAKAJIMA, 1988).

O mesmo autor destaca as três principais características da manutenção produtiva total:

- Economicidade, em outras palavras, fazer da manutenção uma prática para otimizar o desempenho operacional, aumentando a eficiência do processo ao reduzir a necessidade de manutenção. Essa prática é a base para políticas de manutenção baseadas na prevenção de falhas e centradas na confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos
- Envolvimento e motivação dos funcionários nas atividades de manutenção, levados pelo conceito de gerenciamento dos resultados e de atividades de pequenos grupos;
- Promover a melhoria da Eficiência Global dos Equipamentos (OEE) através da integração de todas as políticas de manutenção existentes.

Almeida & Souza (2001) ressaltam que para atingir os seus objetivos, a TPM trabalha em cima de cinco pontos – chave:

- 1) Criar uma cultura da máxima eficiência em todo processo produtivo;
- 2) Ser uma estratégia gerencial presente em todos os setores da empresa;
- 3) Atingir os patamares de “zero defeitos”, “zero quebras” e “zero acidentes”;
- 4) Delegar a análise e proposição de soluções para pequenos grupos autônomos de trabalho; e
- 5) Transformar o pessoal da produção em “sensores humanos”, ou seja, permitir que a manutenção tenha início com os trabalhadores da produção ligados diretamente ao equipamento.

Park & Han (2001) detalham outros benefícios, que apesar de serem difíceis de mensurar, são igualmente importantes. À medida que o envolvimento dos funcionários aumenta, as relações de trabalho melhoram, pois agora eles são reconhecidos como colaboradores no processo de planejar as atividades a serem realizadas. A satisfação dos consumidores tende a aumentar, visto que a TPM proporciona uma melhoria na qualidade dos produtos oferecidos pela empresa ao mercado. Em terceiro, a familiarização dos operadores com as ferramentas e técnicas utilizadas na resolução dos problemas permite um aumento na taxa de problemas

solucionados. E, por último, a confiabilidade do equipamento e a repetição do processo tornam a programação do fluxo de materiais através do processo mais fácil (STEINBACHER; STEINBACHER, 1993).

Almeida & Souza (2001) expõem os resultados alcançados por empresas que conquistaram o prêmio PM concedido pela JIPM, no quadro 2.1. Os autores afirmam que resultados parecidos também estão sendo alcançados por empresas brasileiras.

*Quadro 2.1 - Resultados alcançados por empresas ganhadoras do prêmio PM devido à implantação da TPM*

*Fonte: Retirado de Almeida & Souza (2001, p.96)*

Produtividade	Aumento em termos de valor agregado: 1,5 a 2 vezes. Redução do número de falhas: 1/10 a 1/250.
Qualidade	Redução do índice de defeitos: 1/10. Redução do número de reclamações: 1/5.
Custos	Redução do custo de fabricação: 30% a 40%.
Entrega	Redução do estoque de produtos acabados: 50%
Segurança	Acidente com afastamento: zero. Poluição e contaminação: zero.
Moral	Aumento da quantidade de sugestões para melhoria: 5 a 10 vezes.

Ainda, segundo os mesmos autores, a proposição desse índice foi um fator fundamental para despertar o interesse pela adoção desta estratégia de manutenção. Embora tenha sido desenvolvida em um ambiente de manufatura de capital intensivo, os conceitos da TPM podem ser aplicados a todos os ambientes organizacionais (PARK; HAN, 2001).

Apesar de todos os casos de sucesso relatados, Ljunberg (1998) atesta que muitos outros casos de insucesso também ocorreram, embora não tenham sido publicados. Para o autor, o principal motivo para isso é que as organizações, quando implementam um sistema de melhoria contínua, focam mais nos resultados do que nas atividades necessárias para se obter os resultados.

## **2.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)**

Para alcançarem a eficiência em suas operações, as organizações precisam minimizar as suas perdas, sejam elas relacionadas aos materiais, às pessoas, aos equipamentos, etc. Nakajima (1989) apresentou o OEE dentro da Manutenção Produtiva Total (TPM), e, muito embora, seja uma medida de desempenho simples, o OEE é, no entanto, uma ferramenta valiosa para a medida da eficiência tanto de uma única máquina quanto de uma linha de produção (LJUNBERG, 1998), sendo normalmente utilizada para avaliar as máquinas mais

problemáticas da organização. Com ele, é possível identificar as perdas e planejar atividades de combate a esses desperdícios (JEONG; PHILIPS, 2001).

Motivar eficazmente a todos em direção a uma cultura OEE, inicia com amplo programa de educação para toda a empresa, o qual é gerenciado do topo para a base. Para Sellitto (2002), os esforços para melhoria no desempenho devem se concentrar nos gargalos, pois são esses equipamentos que limitam a capacidade operacional.

A definição exata de OEE difere de acordo com as aplicações e autores. Nakajima (1988) foi o autor original do OEE e De Grootte (1995) é um dos muitos autores que estudaram essa ferramenta posteriormente. A comparação é feita na figura 2.1.

	Nakajima (1988)	De Grootte (1995)
Disponibilidade (A)	$\frac{\text{Tempo de carga} - \text{Tempo de downtime}}{\text{Tempo de carga}}$	$\frac{\text{Tempo planejado para produção} - \text{paradas não planejadas}}{\text{Tempo planejado para produção}}$
Desempenho (P)	$\frac{\text{Tempo de ciclo ideal} \times \text{Produzido}}{\text{Tempo de operação}}$	$\frac{\text{Quantidade produzida realizada}}{\text{Quantidade produzida planejada}}$
Qualidade (Q)	$\frac{\text{Entrada} - \text{Quantidade de defeitos}}{\text{Entrada}}$	$\frac{\text{Quantidade produzida realizada} - \text{Quantidade rejeitada}}{\text{Quantidade produzida realizada}}$
OEE	$(A) \times (P) \times (Q)$	$(A) \times (P) \times (Q)$

Figura 2.1 - Fórmula para o cálculo do OEE, segundo Nakajima (1988) e De Grootte (1995)

Fonte: Lesshammar (1999, p.9)

Nakajima (1988) define OEE como uma medida para a avaliação da eficiência de um equipamento. Portanto, OEE tenta identificar perdas na produção e outros custos indiretos escondidos. O OEE pode trabalhar sinergicamente com informações financeiras de cada produto. As perdas são definidas através de um número, referente a cada dimensão considerada pelo OEE, conhecidas como: disponibilidade (A), desempenho (P) e qualidade (Q).

- 1) *Taxa de Disponibilidade*: capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado. Os dois autores acima definem a Taxa de Disponibilidade de maneira semelhante, diferindo apenas na nomenclatura atribuída às variáveis;
- 2) *Taxa de Desempenho*: relação entre a velocidade projetada da máquina e a velocidade real de operação. Neste índice, há uma diferença entre a definição dos dois autores. Nakajima (1988) leva em consideração o tempo de ciclo ideal para produzir uma

unidade do produto e a quantidade produzida, resultando no tempo de produção ideal. Esse tempo é dividido pelo tempo real de operação, para chegar no Índice de Desempenho. Já De Groot (1995) define (P) como a razão entre o que foi produzido e o que foi planejado;

- 3) *Taxa de Qualidade*: porcentagem de produtos retrabalhados ou refugados em relação à quantidade total produzida. Para Nakajima (1988), (Q) é interpretado como a eficiência da operação para transformar as matérias primas em produtos. De Groot (1995), por outro lado, apresenta (Q) como a razão entre peças aceitas (produzidas – rejeitadas) e peças produzidas.

### 2.2.1 As seis perdas

Para eliminar os desperdícios, a Toyota se tornou uma das primeiras companhias a implementar a TPM (NAKAJIMA, 1988). Para isso, mensuraram seis categorias de perdas relacionadas aos equipamentos dentro do sistema de produção. As seis grandes perdas presentes no processo de manufatura resultam em diferentes tipos de desperdícios e subutilização. Elas podem ser definidas como atividades que utilizam recursos, mas não criam valor. O objetivo do OEE é identificar essas perdas.

#### 2.2.1.1 *Perdas por downtime*

Podem ser planejadas ou não planejadas. O foco do OEE é eliminar o *downtime* não planejado (MORADIZADEH, 2014). Falhas de equipamentos e ferramentas e manutenção corretiva são exemplos de perdas por *downtime*.

#### 2.2.1.2 *Perdas por ajustes e setup*

Ocorrem quando a produção de um item encerra e é necessário realizar alguns ajustes para iniciar a produção do próximo item. Alguns procedimentos, como troca rápida de ferramentas, podem ser utilizados para minimizar esse tipo de perda (MORADIZADEH, 2014). O tempo de aquecimento e troca de turnos são exemplos desta categoria de perdas.

#### 2.2.1.3 *Pequenas paradas*

Ocorrem quando a máquina para devido a um problema temporário causado pela ativação de algum sensor que faz a máquina parar imediatamente. São menores que dez minutos e geralmente

o próprio operador consegue resolver o problema, sem acionar a equipe de manutenção (MORADIZADEH, 2014). A principal consequência desse tipo de perda são as perdas de velocidade do equipamento.

#### *2.2.1.4 Velocidade reduzida*

É possível monitorar esse tipo de perda através da comparação entre o ciclo de tempo ideal de uma máquina e o ciclo de tempo atual. Alguns motivos para que um equipamento opere em uma velocidade menor que a taxa ideal podem ser o nível de treinamento dos operadores e a idade do equipamento (MORADIZADEH, 2014).

#### *2.2.1.5 Rejeitos de início de produção*

Ocorrem no início da jornada da máquina até a estabilização dos parâmetros de operação. Uma análise mais aprofundada pode apontar causas potenciais dos rejeitos e prevenir perdas futuras (MORADIZADEH, 2014).

#### *2.2.1.6 Rejeitos de produção*

Ocorrem no estado de produção estável. Frequentemente, um programa Seis Sigma é utilizado para reduzir essas perdas. Reprocesso e refugo são exemplos desse tipo de perda (MORADIZADEH, 2014).

A partir da identificação das perdas, a empresa pode identificar onde se encontram os pontos potenciais mais importantes para a melhoria do processo. Portanto, identificar onde ocorrem as perdas é a tarefa mais importante na utilização do índice OEE (CHIARADIA, 2004).

As causas das perdas revelarão o caminho para a correção das mesmas (LJUNBERG, 1998). Porém, se a magnitude e as causas das perdas não forem conhecidas, as atividades de melhoria não serão alocadas de forma ótima para a solução das maiores perdas. Por isso, Nakajima (1989) argumenta que as ferramentas de gestão da qualidade, tais como, gráfico de pareto, diagrama de causa e efeito, o método dos 5 por quê's, FMEA e FMECA, devem ser utilizadas com o propósito de a) identificar quais perdas têm maior impacto no índice, b) porque ocorrem e c) como ocorrem.

### 2.3 Teoria dos conjuntos *fuzzy* e números *fuzzy*

A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi introduzida por Zadeh (1965) com o objetivo principal de dar um tratamento matemático a conceitos vagos e subjetivos existentes na comunicação humana. Termos linguísticos subjetivos como “aproximadamente”, “em torno de”, dentre outros, definem conceitos imprecisos que não podem ser tratados adequadamente com os conjuntos convencionais (BOAVENTURA, 2010).

Esta teoria trata dos conjuntos não totalmente verdadeiros nem tampouco dos totalmente falsos, em outras palavras, o princípio fundamental da lógica *fuzzy* é o princípio da dualidade, que estabelece que dois eventos opostos podem coexistir (BOENTE, 2013).

A representação dos dados numéricos *Fuzzy* se dá através dos subconjuntos *Fuzzy* reais, conhecido como números *Fuzzy*, que modelam quantidades imprecisas que tendem a estar presentes quando se descreve sistemas complexos e quantidades numéricas aproximadas, utilizando-se o emprego de expressões linguísticas tais como “muito”, “no mínimo”, “aproximadamente”, e também dos quantificadores ou cardinalidade *Fuzzy* (BOAVENTURA, 2010).

Devido à falta de precisão e à incerteza nos valores dos parâmetros e entradas de um sistema, as regras de inferência e tomada de decisão podem apresentar conclusões incompletas e que não refletem a realidade. A lógica *Fuzzy* permite a tomada de decisão com valores estimados em um cenário de informações incompletas, de forma menos dispendiosa do que os métodos convencionais, que utilizam aproximações matemáticas e requerem alto desempenho computacional (MUNAKATA, 2008).

Nesse ponto, a abordagem *fuzzy* pode ser confundida com a abordagem probabilística. Ruiz & Mejías (2015) argumentam que, enquanto a abordagem estocástica lida com incertezas externas, que são introduzidas por um sistema que gera eventos aleatórios; a abordagem *fuzzy* é utilizada para tratar de imprecisões ou incertezas internas de um evento devido à escassez ou falta de confiabilidade das informações, e produzir metodologias que são tolerantes a essas imprecisões. Quando aplicada a indicadores, os autores advertem que os valores encontrados só podem ser considerados uma aproximação do valor real, que é condicionado pela imprecisão inerente ao processo, ou até mesmo, da incerteza interna.

Em um conjunto convencional, um elemento apenas pertence ou não pertence ao conjunto. Ou seja, a pertinência do elemento é *crisp*, com função de pertinência 0 ou 1. Por outro lado, a lógica *fuzzy* permite trabalhar com um conjunto infinito de valores compreendidos entre 0 e 1, diferente da lógica clássica, determinando, o que tecnicamente é chamado de

gradação *fuzzy*, pertinência *fuzzy* ou grau de pertencimento *fuzzy* (BOENTE, 2013). Um conjunto *Fuzzy* é uma generalização de um conjunto ordinário através da atribuição de um grau de pertinência a cada elemento (MUNAKATA, 2008).

Na teoria de conjunto *fuzzy*, seja  $X$  o conjunto universo. Um conjunto *fuzzy*  $A$  de  $X$  é associado com a função característica:

$$\mu_A: X \rightarrow \{0,1\} \quad (2.1)$$

em que elementos poderão pertencer parcialmente ao conjunto  $A$ .

Boaventura (2010) explica que muitos números, em um problema concreto, são idealizações de informações imprecisas, envolvendo frases do tipo "em torno de". Os números *fuzzy* são constituídos por conjuntos *fuzzy* em que o conjunto universo é o conjunto dos números reais, cujos maiores valores de pertinência estão agrupados ao redor de um dado número real chamado valor médio e permitem a quantificação da incerteza e imprecisão associada a uma dada informação, sendo a função pertinência monotônica em ambos os lados do valor médio. Tais imprecisões podem ter sido causadas pelos instrumentos de medidas, pelos indivíduos que estão tomando as medidas, pelo indivíduo que está sendo medido, etc. (BARROS; BASSANEZI, 2006).

Barros & Bassanezi (2006) definem um número *fuzzy* como:

**Definição 1:** Número *Fuzzy*. Um subconjunto *fuzzy*  $A$  é chamado de número *fuzzy* quando o conjunto universo no qual  $\mu_A$  está definida, é o conjunto dos números reais e satisfaz às condições:

- (i) todos os  $\alpha$ -níveis de  $A$  são não vazios, com  $0 \leq \alpha \leq 1$ ;
- (ii) todos os  $\alpha$ -níveis de  $A$  são intervalos fechados do conjunto dos números reais;
- (iii)  $\text{supp } A = \{x \in R : \mu_A(x) > 0\}$  é limitado;

Denotando-se os  $\alpha$ -níveis do número *fuzzy*  $A$  por:

$$[A]^\alpha = [a_1^\alpha, a_2^\alpha] \quad (2.2).$$

Boaventura (2010) "A descrição de números *fuzzy* pode ser efetuada através da aplicação do teorema da representação, dado pela expressão, que diz que qualquer conjunto *fuzzy* pode

ser especificado por meio de uma coleção de seus cortes- $\alpha$ ”, como mostrado na figura 2.2. Os números *fuzzy* mais comuns são os triangulares, trapezoidais e os em forma de sino.

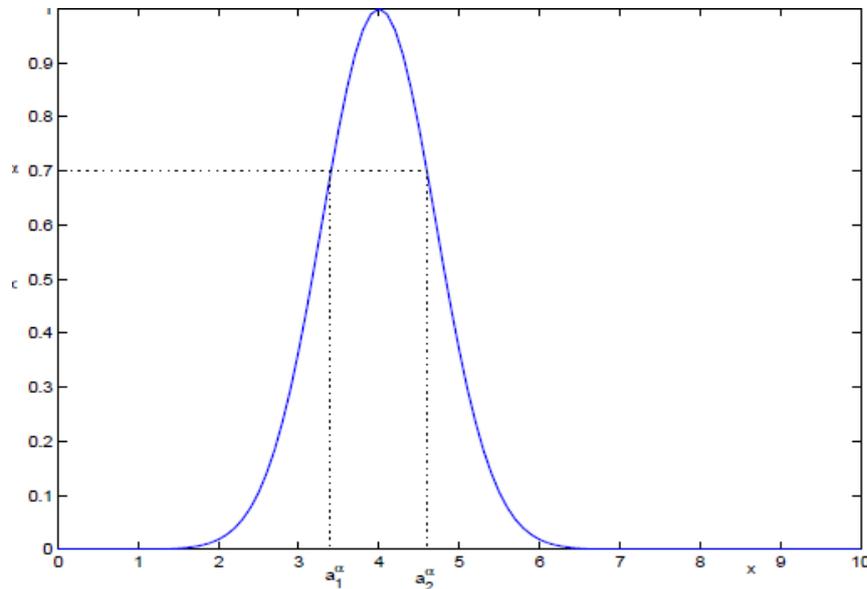


Figura 2.2 - Representação de um corte- $\alpha$  em um número fuzzy  
Fonte: Boaventura (p. 41, 2010)

**Definição 2:** Número *Fuzzy* Triangular. Um número *fuzzy* é dito triangular se sua função de pertinência é da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{u-a}, & \text{se } a < x < u \\ \frac{x-b}{u-b}, & \text{se } u < x < b \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (2.3).$$

O gráfico da função pertinência de um número fuzzy triangular, denotado por  $(a; u; b)$  tem a forma de um triângulo, tendo como base o intervalo  $[a, b]$  e, como único vértice fora desta base, o ponto  $(u, 1)$  (BARROS & BASSANEZI, 2006). Os  $\alpha$ -níveis desses números fuzzy têm a seguinte forma simplificada, não sendo, necessariamente, simétrico:

$$[a_1^\alpha, a_2^\alpha] = [(u - a) \alpha + a, (u - b) \alpha + b] \quad (2.4)$$

para todo  $\alpha \in [0,1]$ .

A seguir são mostradas as operações envolvendo números *fuzzy* mediante operações aritméticas intervalares aplicadas sobre suas respectivas representações por cortes- $\alpha$  (BOAVENTURA, 2010).

- **Adição entre Números Fuzzy:** Sejam dois números  $A$  e  $B$  definidos em um mesmo conjunto universo  $X$ , a operação de adição entre  $A$  e  $B$  é definida como:

$$A + B = [a_1^\alpha, a_2^\alpha] + [b_1^\alpha, b_2^\alpha] = [a_1^\alpha + b_1^\alpha, a_2^\alpha + b_2^\alpha] = C^\alpha \quad (2.5)$$

- **Subtração entre Números Fuzzy:** A subtração entre dois números *fuzzy*  $A$  e  $B$ , definidos em um mesmo conjunto universo  $X$ , é dada por:

$$A - B = [a_1^\alpha - b_2^\alpha, a_2^\alpha - b_1^\alpha] = C^\alpha \quad (2.6)$$

- **Multiplicação entre Números Fuzzy:** A multiplicação entre dois números *fuzzy*  $A$  e  $B$ , especificados ambos em um mesmo conjunto universo, é dada por:

$$A \times B = [a_1^\alpha, a_2^\alpha] \times [b_1^\alpha, b_2^\alpha] = [a_1^\alpha \times b_1^\alpha, a_2^\alpha \times b_2^\alpha] \text{ para } \alpha \in [0,1] \quad (2.7)$$

- **Divisão entre Números Fuzzy:** O procedimento de divisão entre dois números *fuzzy*  $A$  e  $B$ , pertencentes a um mesmo conjunto universo, é dado por:

$$A \div B = [a_1^\alpha, a_2^\alpha] \div [b_1^\alpha, b_2^\alpha] = \left[ \frac{a_1^\alpha}{b_2^\alpha}, \frac{a_2^\alpha}{b_1^\alpha} \right] \quad (2.8)$$

para  $\alpha \in [0,1]$

### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

Nesta seção são apresentadas vantagens, desvantagens, características e estudos acerca de cada assunto abordado no presente trabalho.

#### **3.1 OEE**

Embora o OEE tenha sido originalmente criado para monitorar e controlar o desempenho, de acordo com Garza-Reyes et al. (2010), ele previne a subutilização de máquinas individuais ou linhas de produção, provendo uma abordagem sistemática para a definição das metas de desempenho, levando em conta iniciativas de melhorias no processo, e incorpora ferramentas e técnicas de práticas gerenciais para alcançar uma visão balanceada da disponibilidade, performance e qualidade do processo. Ljunberg (1998) afirma que, apesar de ser uma medida de desempenho simples, o OEE é uma ferramenta efetiva para a medição tanto de uma única máquina isoladamente quanto de uma linha completa de produção contínua.

Desde que utilizado corretamente, a sua simplicidade e dinamicidade proporcionam ao índice a característica de ser o precursor da mudança. Sendo essas as maiores contribuições do OEE (JONSSON; LESSHAMMAR, 1999). Entretanto, os mesmos autores alertam que a análise do OEE requer uma organização descentralizada com equipes autônomas, pois essa medida de desempenho pode não ser bem aproveitada caso seja usada apenas pelo alto controle para a medição e melhoria da eficiência interna.

Oliveira, Hemosilla & Silva (2012) mostram que a implantação do OEE indica os desperdícios que devem ser explorados, propiciando à empresa um processo de decisão mais racional, rápido e com ações que impactam diretamente em indicadores importantes. Os autores mostraram que o controle das perdas encontradas no processo é global, ou seja, o indicador de desempenho possibilita a melhoria do processo levando em consideração os fatores que o influenciam.

Para Ribeiro, Paes & Kliemann (2010), o OEE proporciona ganhos de qualidade e produtividade, pois auxilia a entender os processos e comportamentos na manufatura e definir a máxima eficácia alcançável.

A informação fornecida pela avaliação do desempenho dos processos de produção e sistemas de manufatura permite que os gestores tomem as melhores decisões sobre como

gerenciar e melhorar mais efetivamente os seus sistemas de produção (GARZA-REYES et. al., 2010).

Em seu estudo, Raposo (2011, p.19) concluiu que “o indicador OEE se apresentou como uma ferramenta muito útil para descobrir quais os pontos que impedem o sistema produtivo de alcançar um melhor desempenho e que, por isso, precisam ser visados como prioridades nas ações de melhorias”.

Oliveira & Helleno (2012) afirmam que os resultados obtidos a partir da implantação do OEE permitem atuar nas perdas de produção, possibilitando ganhos de produtividade e reduzindo investimentos com aquisições de equipamentos. Os autores ainda constatam que a utilização, tanto do TPM quanto do indicador OEE, independentemente do segmento de atuação, é a mais diversa possível e traz alguns objetivos básicos como: otimização de recursos, melhoria na disponibilidade dos recursos existentes, aumento da eficiência do sistema estudado, seja ele um serviço ou um processo em um ambiente fabril.

Desta forma, o indicador de desempenho OEE é constantemente utilizado na atividade de avaliação do processo de produção, pois possibilita a redução os custos de fabricação e retrabalho, além de agregar valor ao produto final, sendo ainda, uma das principais técnicas para medir o desempenho produtivo na indústria (OLIVEIRA; HEMOSILLA; SILVA, 2012).

Essas contribuições adicionam ao OEE um frequente uso em vários tipos de indústrias, como, por exemplo, indústria automobilística (CHIARADIA, 2004; OLIVEIRA, HEMOSILLA & SILVA, 2012), fabricação de semicondutores (HUANG et al., 2003), siderúrgicas (ANVARI, EDWARDS & STARR., 2010), campos de petróleo (MANSOUR et al., 2013), alimentos (TSAROUHAS, 2013; TSAROUHAS, 2007, ) setor de bebidas (RAPOSO, 2011), indústria de fundição (DORNELLES; SELLITTO, 2015), assim como suas aplicações em um grande número de processos de manufatura, especialmente em produção de alto volume e baixa variedade, onde a máxima utilização da capacidade é o principal fator competitivo, e paradas ou interrupções são caros em termos de perdas de capacidade (GARZA-REYES et al., 2010).

Embora tenha sido apresentado pela primeira vez como uma medida de avaliação de desempenho para avaliar as melhorias implementadas por um programa de Manutenção Produtiva Total (TPM), a literatura mostra que a aplicação do OEE de maneira independente é bastante utilizada.

Devido as diferentes definições de OEE e outras circunstâncias que variam de companhia para companhia, é difícil determinar quais são os valores ótimos desse índice e compará-lo entre

organizações. Nakajima (1993) *apud* Chiaradia (2004) recomenda que 85% é a meta *World Class* para os equipamentos, pois as empresas ganhadoras do prêmio *TPM Award* obtiveram índice superior a esse número. Para isso, a (A) deve ser maior que 90%, (P) maior que 95% e (Q) maior que 99%.

Hansen (2006) define um OEE < 65% como inaceitável; entre 65% e 75% como aceitável, desde que a tendência seja de melhoria; e entre 75% e 85% como muito bom, visto que o nível classe mundial é considerado acima de 85% para processos em lotes e acima de 90% para processos contínuos.

O estudo de Ljunberg (1998) mostrou que o índice calculado da amostra estudada ficou em torno de 55%, sendo o baixo índice de desempenho (P) e as perdas por *downtime* os responsáveis pelo baixo índice geral. O mesmo autor argumenta que, se o processo de produção está na fase inicial de implementação, o índice tende a ser mais baixo do que se a empresa estiver mais familiarizada com a fabricação do seu produto.

Chiaradia (2004), em seu estudo no setor automobilístico, atingiu, em sete meses, um aumento de 16 pontos percentuais (de 61% para 77%), sendo o aumento no índice de disponibilidade o maior responsável pelo bom resultado alcançado no período.

Tsarouhas (2007) obteve uma média de 71,61% no OEE, em um período de cinco anos, dentro de um contexto de aplicação da manutenção produtiva total, com disponibilidade praticamente imutável no período e crescente taxa de qualidade.

Raposo (2011) inicialmente, em seu estudo em uma empresa do setor de bebidas, apresentou um índice de 51%, que, posteriormente, chegou a 65% após a implementação das melhorias.

Dornelles & Sellitto (2015), na indústria de fundição, apresentaram uma média 30,5%, para uma medição feita durante um período de seis meses, com tendência de crescimento, após melhoria de 38% no índice de disponibilidade

Ericsson & Dahmén (1993) *apud* Ljunberg (1998) atestam que mais de 80% das interrupções medidas foram causadas pelo *downtime* da máquina. De acordo com Suehiro (1992) *apud* Ljunberg (1998), inatividade e pequenas paradas respondem por uma queda entre 20% e 30% do OEE na maioria das linhas automatizadas. Nakajima (1989) diz que as perdas de velocidade são maiores em equipamentos integrantes de linhas automatizadas, tais como montadoras ou empacotadoras. Na literatura não existe consenso geral sobre a magnitude dos diferentes tipos de perdas, nem das suas causas

Embora seja uma medida de desempenho eficiente, a literatura mostra que os aspectos contemplados pelo OEE precisam ser complementados por outras métricas para oferecer uma visão mais abrangente do desempenho operacional.

Garza-Reyes (2015) argumenta que, embora as taxas de disponibilidade, desempenho e qualidade sejam elementos chave da performance de um equipamento ou de um processo, outros fatores também podem ser relevantes para a operação do sistema, como por exemplo, a utilização eficiente de matérias-primas, sua qualidade e custos, assim como o meio que influencia a produção e quais as condições de operação.

Jonsson & Lesshammar (1999) mostraram em seu estudo que o OEE é uma medida de desempenho incompleta, pois não apresenta relação com a orientação ao fluxo e com a eficiência externa; e, com relação aos outros objetivos de um sistema de medição, levantados pelos autores, o OEE deve ter o seu uso complementado por outras metodologias e ferramentas de avaliação de desempenho.

Garza-Reyes (2015) demonstrou que o OEE não é uma medida de desempenho adequada para processos manuais que possuem baixas taxas de volume e velocidade. Especificamente, os índices de qualidade e disponibilidade foram considerados inadequados para esse tipo de processo.

Rößler e Abele (2013) argumentam que a incerteza e a “nebulosidade” são inerentes à coleta de dados, não importa qual o método para a aquisição dos dados seja utilizado. Os autores ainda citam como exemplos de incertezas internas ao processo de coleta de dados, ou seja, exemplos de fatores intrínsecos relacionados diretamente com a atividade de captura de dados: perturbação humana no processo de coleta, dificuldade na classificação e no reconhecimento das perdas, perda do reconhecimento de mudanças esporádicas e a proporção de todas as perdas consideradas na análise também depende do mix de produtos fabricados pelo equipamento em questão.

### **3.2 Indicadores alternativos ao OEE**

A Indisponibilidade ou a inviabilidade da coleta de dados, de acordo com o que é necessário para o cálculo de cada dimensão, é uma dificuldade encontrada na implementação do OEE, apontada por Puvanasvaran, Teoh & Tay (2013), que também apontam a adoção de várias medidas diferentes como um dos problemas gerenciais encontrados nas organizações. Essa afirmação é reforçada por Jonsson e Lesshammar (1999) que argumentam que a maioria das empresas utiliza de forma incorreta os indicadores ou falham na escolha de tais indicadores.

Muitos pesquisadores propuseram outras métricas. Esses estudos podem ser classificados em dois grupos: expansão do escopo e modificação da forma de cálculo (WUDHIKARN, 2016).

Como exemplos de trabalhos que propuseram a ampliação do escopo do OEE, podem ser citados: *Overall Throughput Effectiveness* (OTE), relacionado à medição de desempenho de todos os sistemas responsáveis pela manufatura, desenvolvido por Huang et al. (2003); o *Overall Line effectiveness* (OLE), para cálculo da eficiência total da linha, considerando, também, as paradas por manutenção planejada, apresentado por Nachiappan & Anantharaman (2006); o *Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line* (OEEML), que considera as perdas de programação da produção, ineficiências do gargalo e as paradas planejadas de manutenção, apresentado por Braglia, Frosolini & Zammori (2008); o *Overall Equipment Cost Loss* (OECL), apresentado por Wudhikarn (2009), que caracteriza as máquinas mais problemáticas através das suas perdas em termos de unidades monetárias; e o *Overall Resource Effectiveness* (ORE), elaborado por Garza-Reyes (2015), que avalia a eficiência na utilização das matérias primas necessárias pelos processos fabris. É apresentada uma síntese dos indicadores alternativos encontrados na literatura, no quadro 3.1.

O estudo de Puvanasvaran, Teoh & Tay (2013) pode ser citado como exemplo de trabalhos que propuseram a modificação na forma do cálculo do índice OEE. Os autores integraram o *takt time* na forma padrão de cálculo do OEE. Especificamente, o tempo de ciclo ideal, utilizado para o cálculo do índice de desempenho, foi substituído pelo *takt time*:

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ total\ disponível}{demanda\ total\ do\ cliente} \quad (3.1)$$

Quadro 3.1 - Indicadores alternativos ao OEE encontrados na literatura

Medida de desempenho	Dimensões acrescentadas ao OEE
<i>OTE</i>	Eficiência de sistemas e subsistemas que compõem o sistema global de manufatura;
<i>OLE</i>	Eficiência de uma célula/linha de produção, considerando paradas planejadas, desempenho do gargalo, estoques intermediários e o índice de aproveitamento de produtos conformes;
<i>OEEML</i>	Ocorrência e causa das principais perdas do processo;
<i>OECL</i>	Eficiência do equipamento em termos financeiros;
<i>ORE</i>	Eficiência na utilização dos materiais utilizados pela produção, custo do processo e variações no custo dos materiais.

Puvanasvaran, Teoh & Tay (2013) atestam que a medição do OEE da maneira tradicional deve ser feita apenas em casos onde o tempo de ciclo ideal permaneça inalterado ao longo do tempo. Em períodos de baixa demanda, a busca por um alto valor no índice OEE pode levar a superprodução, ocasionando mais perdas. Isso, porque, a proposta do OEE é mais adequada para processos de produção contínuos, com baixa variedade e pouca variação na demanda.

Outro exemplo é o estudo de Rößler & Abele (2013). Os autores propuseram uma abordagem combinatória entre Teoria *Fuzzy* e o método OEE, para auxiliar as equipes de trabalho a lidar com a imprecisão na fase de análise e aumentar as chances de sucesso nos projetos de melhoria. Em plantas onde a coleta de dados é realizada de forma manual ou semiautomática, a qualidade dos dados obtidos geralmente diverge da realidade e levam os responsáveis sobre o equipamento a conclusões distorcidas sobre o real estado do equipamento de produção. Assim, uma variável de incerteza deve ser adicionada aos resultados para oferecer um cenário de resultados mais amplos (RÖBLER & ABELE, 2013).

### 3.3 Lógica *Fuzzy*

A vantagem da utilização da Lógica *Fuzzy* está na sua capacidade de lidar com incertezas, termos vagos e ambíguos e raciocínio aproximado, que são elementos presentes no raciocínio humano. Por isso, é uma lógica muito utilizada no contexto da inteligência artificial (MUNAKATA, 2008).

Cosenza et al. (2006) *apud* Boente (2013) afirmam que a lógica *fuzzy* tem sido fundamental para a consecução de projetos de sistemas especialistas e um importante suporte para tomadas de decisão, em vários segmentos do conhecimento humano. Entretanto, a Lógica *Fuzzy* pode ser aplicada em qualquer área onde exista incerteza, ambiguidade e variabilidade presentes na atividade de obtenção das informações sobre o processo.

Sellitto (2002) concluiu em seu trabalho que a lógica *fuzzy* juntamente com outras técnicas, pode ser empregada em sistemas de controle multivariável de processos na indústria de processo contínuo. O autor ainda sugere que os engenheiros de produção procurem conhecer as técnicas citadas em seu trabalho para investigar outros processos onde hajam ambiguidades, incertezas e variabilidade.

Al-Najjar & Alsysouf (2003) aplicaram uma metodologia de avaliação *fuzzy* para um problema de tomada de decisão multicritério (MCDM). O objetivo foi identificar e selecionar qual a melhor metodologia de manutenção utilizada no contexto industrial atual. Como consequência desse modelo de tomada de decisão, as empresas podem adotar a política de

manutenção mais eficiente, que garante disponibilidade dos equipamentos, qualidade dos produtos, segurança e confiabilidade. Dessa forma, as organizações podem alcançar um alto nível de desempenho, tornando-se mais produtivas e rentáveis.

Leite, Fileti & Silva (2010) compararam o desempenho de controladores *fuzzy* com o desempenho de controladores PID convencionais aplicados ao controle de temperatura de um processo de precipitação de bromelina do extrato aquoso de resíduos de abacaxi. Os autores observaram um melhor desempenho no controlador *fuzzy*, pois este apresentou o menor erro absoluto no tempo, maior recuperação de atividade enzimática e menor consumo de energia elétrica para o resfriamento do sistema.

Rößler & Abele (2013) apresentaram uma abordagem para apoiar a avaliação do desempenho global do equipamento (OEE) utilizando números *fuzzy* como resultado da incerteza presente na coleta de dados realizada pelo operador. Os autores explicam que a atividade periódica de coletar dados, realizada pelo operador, por si só, leva a interrupções no ciclo de produção, além de poder provocar sobrecarga no operador devido ao aumento da frequência de registro dos eventos considerados, levando ao registro de dados sem confiabilidade.

Ruiz & Mejías (2015) utilizaram os conjuntos *fuzzy* como um avaliador do grau de eficácia no alcance de um objetivo, ou seja, o grau em que um objetivo é alcançado. Os autores ressaltam a maneira inovadora na abordagem proposta por eles, visto que o uso de indicadores como números *fuzzy* é bastante utilizado na área da tomada de decisão.

Ahn & Chang (2016) propuseram uma abordagem HAZOP sob a ótica dos números *fuzzy*, onde avaliaram os riscos relativos às variações do processo presente nas informações coletadas no chão de fábrica. A modelagem *fuzzy* foi aplicada para expressar a frequência e a consequência das variações do processo, quantificando a ambiguidade e a vaguidade das expressões linguísticas e calculando o risco de acordo com a função pertinência.

Apesar de ser aplicado em inúmeras situações organizacionais, com destaque para o controle de processos industriais e a tomada de decisão, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* foi utilizada com o OEE apenas uma vez, no estudo de Rößler & Abele (2013).

Essa constatação foi feita pesquisando-se artigos sobre os assuntos nas seguintes bases de dados: *SciELO*, *Science Direct*, periódicos *Capes*, *Web of Knowledge* e *Scopus*. Foram usadas como palavras-chave: *Overall Equipment Effectiveness and fuzzy numbers*, *fuzzy numbers and performance indicators*, *Overall Equipment Effectiveness and uncertainty* e *performance indicators and uncertainty*.

Os autores utilizaram para a coleta de dados e aplicação da metodologia um ambiente de produção projetado apenas para estudos científicos, na Universidade Técnica de Darmstadt.

Outra questão importante se encontra no método utilizado para considerar a incerteza presente na medição. Existem três possíveis maneiras para capturar e incluir dados adicionais sobre a variabilidade do processo de análise, segundo Rößler & Abele (2013):

- 1) Estimar um fator geral para os dados recolhidos, principalmente, se for de forma manual;
- 2) Calcular fatores específicos para as categorias de perdas individuais, baseado em fatos precisos e mensuráveis;
- 3) Estabelecer fatores específicos para as categorias de perdas individuais, com o uso de estimativas de especialistas qualificados.

Os autores citados utilizaram um fator de 10% para as perdas consideradas nas análises, por considerarem um valor bastante coerente com as variações causadas por perturbações humanas.

#### **4. METODOLOGIA DE PESQUISA**

Esta pesquisa é caracterizada como um estudo de caso retrospectivo. De acordo com Yin (2005), o estudo de caso é indicado para responder as questões do tipo “como” e “por que”, sem controle sobre eventos comportamentais e focalizando em acontecimentos contemporâneos. Caracteriza-se como retrospectivo, porque, segundo Miguel (2012), investiga o passado, coletando dados históricos. O mesmo autor mostra que os benefícios principais da condução de um estudo de caso estão na possibilidade do desenvolvimento de novas teorias e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos. Entretanto, o estudo de caso retrospectivo apresenta dificuldade na definição de relações de causa e efeito; os participantes podem não recordar o que aconteceu e a análise documental pode não refletir necessariamente o que realmente ocorreu.

Através das evidências capturadas por meio da mensuração das variáveis, o estudo é caracterizado como uma pesquisa quantitativa, pois o subjetivismo não influencia a apreensão dos fatos oferecidos pelo cenário. Nota-se, portanto, que o observador não interfere ou pouco interfere nas variáveis de pesquisa (MIGUEL, 2012).

O presente trabalho também é considerado uma pesquisa qualitativa. Miguel (2012) afirma que, na Engenharia de Produção, isso significa que o observador visita a organização, fazendo observações e, sempre que possível, coletando evidências para entender a complexidade pesquisada.

Para que a abordagem qualitativa seja bem estruturada, é necessário o seu uso juntamente com outras metodologias de pesquisa. Neste trabalho, a observação e a consulta a documentos importantes do processo apoiam as interpretações qualitativas acerca dos fenômenos presentes no ambiente em estudo.

Diante disso, nesta pesquisa, faz-se uso de uma abordagem combinada, como mostrado por Miguel (2012). O autor afirma que a combinação das abordagens possibilita um entendimento melhor dos problemas de pesquisa que cada uma das abordagens permitiria isoladamente. Assim, qualquer viés inerente a um método pode ser neutralizado com o uso combinado de outros métodos.

Os dados coletados utilizados para o desenvolvimento desse estudo foram coletados do sistema de informação da empresa em questão. Os relatórios de linha, preenchidos durante todos os turnos com as informações necessárias, são encaminhados no fim do dia ao setor de planejamento e controle da produção, para serem registrados no sistema de informação da

empresa. Os dados são tabulados em planilhas do Microsoft Excel, separados por categorias (produção, reprocesso, refugo, paradas, etc.).

Os resultados mensais do índice de eficiência foram comparados com os níveis mundiais propostos por Nakajima (1993) *apud* Chiaradia (2004), onde o autor recomenda que 85% é a meta OEE *World Class* para os equipamentos, 90% é a meta Disponibilidade *World Class*, 95% é a meta Desempenho *World Class* e 99% é a meta Qualidade *World Class*. Além disso, os resultados do índice OEE foram comparados com a definição de Hansen (2006), que afirma que um OEE menor que 65% é inaceitável; entre 65% e 75% como aceitável, desde que a tendência seja de melhoria; e entre 75% e 85% como muito bom. Dessa forma, foi possível contextualizar, em um cenário mundial, a eficiência global da empresa estudada.

#### **4.1 Descrição do processo de produção**

Para a fabricação de macarrão, a empresa utiliza água, farinha de trigo e corante como únicas matérias-primas. Cada material possui o seu próprio sistema de circulação, que, juntos, são responsáveis por abastecer a linha de produção, garantindo um processo com fluxo contínuo. Quando há alguma irregularidade em um dos sistemas de abastecimento, o funcionamento do equipamento é interrompido através da ação de travas e sensores que acionam alarmes para a sinalização da ocorrência.

No conjunto de masseiras, as matérias-primas passam pelo processo de mistura, entre 12 e 14 minutos, para, posteriormente, seguir para o processo de extrusão e formação do produto. Após isso, o produto recém-formado passa pela etapa de pré-secagem, onde é retirada, aproximadamente, 11% de umidade da massa, e segue para a secagem propriamente dita.

Em seguida, o produto segue para a galeria de pastas longas, onde ocorre uma redução da temperatura do processo para que a água presente na massa se distribua de maneira uniforme, antes de seguir para o conjunto de resfriadores.

Nos resfriadores, o produto ganha resistência para suportar o manuseio no transporte até o consumidor final. Por fim, a massa segue para o processo de corte, onde será embalado posteriormente.

Em qualquer uma dessas etapas, eventos adversos podem acontecer, comprometendo a qualidade do produto final. Esses eventos podem ser de diversas naturezas, tais como: quebra de componente mecânico; parâmetros de produção fora da especificação, gerando produtos fora do padrão de qualidade estabelecido; presença de vetores (mosquitos, ratos, baratas, etc) indicando que há contaminação do ambiente; acidentes de trabalho etc.

Dependendo das consequências desses eventos, o produto pode ser reprocessado ou refogado. Em geral, causas para o reprocessamento estão ligadas às especificações fora do padrão, como, por exemplo, cor, tamanho e umidade. Para detectar irregularidades, o laboratório de qualidade realiza inspeções por variáveis nos itens em produção, comunicando aos responsáveis pela produção a ocorrência de não conformidades. Os trabalhadores da linha de produção também são responsáveis por realizar inspeções por atributos acerca da qualidade do produto.

Causas para gerar produtos refogados estão relacionadas à contaminação, que pode acontecer de diversas maneiras: contato do produto com partes do equipamento com graxa e óleo; contato do produto com o piso; e presença de vetores no local de armazenagem dos produtos. O refugo gerado é comercializado para empresas que se utilizam desse tipo de matéria prima para a sua atividade fim.

## 5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Nesta seção são apresentados a metodologia para o cálculo de cada índice que compõe o OEE e os seus resultados mensais.

### 5.1 Metodologia de cálculo das variáveis do OEE

A estratégia de estudo foi dividida em duas partes, tal qual Rößler & Abele (2013). Na primeira, os dados são coletados para o cálculo de cada dimensão do OEE. Na segunda parte, são utilizadas as operações com números *fuzzy*, através da coleta de informações sobre a variabilidade do processo, para, a partir disso ser possível fornecer uma visão global das maiores perdas e desenvolver um diagnóstico, como mostrado no quadro 5.1. Os cálculos realizados neste trabalho seguem a metodologia proposta por De Groote (1995), que foi apresentada anteriormente na Figura 2.1.

Quadro 5.1- Fases do estudo de determinação do OEE

Etapa	Descrição
<b>1.</b> Classificação dos dados coletados	Analisar e classificar os diferentes itens que influenciam os índices de disponibilidade, desempenho e qualidade
<b>2.</b> Índice de disponibilidade (A)	Dividir o tempo operacional líquido pelo tempo operacional disponível
<b>2.1.</b> Tempo operacional disponível	Calcular o tempo operacional disponível para produção, subtraindo as paradas planejadas do tempo total programado.
<b>2.2.</b> Tempo operacional líquido	Subtrair o tempo das paradas não planejadas do tempo operacional disponível
<b>2.3.</b> Tempo de <i>downtime</i>	Paradas maiores que dez minutos. Dados coletados nos relatórios de manutenção da empresa.
<b>2.5.</b> Tempo de setup	Paradas para troca de produto. Dados coletados nos relatórios de manutenção da empresa
<b>3.</b> Índice de desempenho (P)	Resultado da divisão da quantidade produzida pela capacidade produtiva planejada para o mês considerado.
<b>3.1.</b> Capacidade produtiva disponível	Multiplicar o tempo operacional disponível pela velocidade produtiva ideal do equipamento (1250 kg/h).
<b>3.2.</b> Quantidade produzida	Produção total mensal. Coletar dados nos relatórios de produção da empresa
<b>3.3.</b> Pequenas paradas	Paradas inferiores a 10 minutos. Dados coletados nos relatórios de manutenção da empresa
<b>3.4.</b> Queda de velocidade	Tempo de operação do equipamento com velocidade reduzida. Dados estimados através da comparação da velocidade ideal com a velocidade produtiva real.
<b>4.</b> Índice de qualidade (Q)	Resultado da divisão entre a quantidade, em toneladas, de produtos fabricados sem defeitos e a quantidade produzida no mês considerado
<b>4.1.</b> Produtos sem defeitos	Subtrair a quantidade de reprocesso e refugo, em toneladas, da quantidade produtiva mensal.

4.2. Reprocesso e refugo	Quantidade de material processado que não apresentou as exigências mínimas de qualidade para ser embalado e comercializado. Dados obtidos dos relatórios de qualidade da empresa.
4.3. Rejeitos de início de produção	Quantidade de material não conforme produzida imediatamente após o início da operação. Dados estimados.
5. Informações sobre variabilidade	Coletar dados adicionais sobre a variabilidade de todas as categorias de perdas.
6. Informação agregada	Configurar um conjunto de dados combinando as informações sobre as perdas e suas variações usando números fuzzy (teoria e aritmética)
7. Visualização	Visualização das perdas sob a consideração da incerteza com números fuzzy.
8. Análise e otimização	Elaborar projetos de otimização com o objetivo de minimizar as perdas do equipamento e a incerteza presente na coleta de dados

### I. Perdas por *downtime*:

Esses dados são registrados manualmente pelo operador no relatório de paradas da linha. A IHM - Interface Homem-Máquina - informa onde ocorreu a parada e o horímetro contabiliza o tempo de *downtime*, em centésimos de horas. O operador precisa fazer a transformação de centésimo de hora para hora.

As paradas por *downtime* (paradas maiores que dez minutos) podem ser confundidas com a categoria de pequenas paradas (paradas menores que dez minutos). O relatório precisa ser transferido para a área de PCP para ser registrado no sistema, conferindo, algumas vezes, dificuldade na interpretação da letra do operador do equipamento e possibilidade de erro no momento em que o registro é feito no computador.

As incertezas presentes no registro dessa categoria de perdas serão modeladas como um número *fuzzy* e englobarão as perdas por ajustes e setups e pequenas paradas. Por se tratar de um registro manual, será considerado um fator de 10% para mais e para menos do número crisp encontrado, como realizado no estudo de Röbller & Abele (2013).

### II. Tempo de setup:

O tempo dos setups foi computado como perdas por *downtime*, ou seja, paradas não planejadas. São paradas menos frequentes, comparadas às perdas por falha do equipamento e às pequenas paradas. A variabilidade das informações dessa categoria de perdas será considerada nas paradas por *downtime*, por se tratar de uma parcela pequena de perdas. Dessa forma, as paradas não programadas serão representadas pelo seguinte número *fuzzy*.

$$C = [u_1 - 10\%, u_1, u_1 + 10\%] \quad (5.1)$$

onde  $u_1$  é o valor encontrado sem considerar as incertezas, ou seja, o número crisp.

Conseqüentemente, aplicando a operação de divisão entre números *fuzzy* e, sabendo que o tempo operacional disponível é um número crisp, o índice de disponibilidade (A) será dado por:

$$A = [a_3 = (1 - \frac{u_1 - 10\%}{u_2}), u_3 = (1 - \frac{u_1}{u_2}), b_3 = (1 - \frac{u_1 + 10\%}{u_2})] \quad (5.2)$$

### III. Pequenas paradas:

Estão inseridas no Índice de Desempenho. Como a metodologia de cálculo utilizada neste trabalho se assemelha a proposta por De Groote (1995), essas perdas não serão utilizadas diretamente no cálculo da performance do sistema. Entretanto, são de suma importância para a compreensão dos resultados do desempenho do sistema. Comparando o desempenho real com o desempenho estimado, pode-se analisar o impacto das pequenas paradas na operação do equipamento.

### IV. Queda de velocidade:

A empresa não possui registro desse tipo de perda. Sabe-se que existe uma redução na velocidade, definida em quilogramas produzido por hora trabalhada, antes do equipamento parar completamente e imediatamente após à ativação dos mecanismos de operação. Em relação à operação com velocidade reduzida propositalmente, sabe-se que, devido a certas condições do equipamento, é uma prática normal para preservar a integridade da máquina. Essa velocidade é determinada eletronicamente e não possui variações consideráveis. Portanto, não será tratada como um número *fuzzy*.

### V. Reprocesso e refugo:

O limite subjetivo definido para a mínima qualidade aceitável de um produto conforme e a dificuldade na distinção entre produtos conformes e produtos não conformes são as incertezas relacionadas a essa categoria.

Dependendo dos resultados, do operador e do responsável pelo controle de qualidade, esse critério pode se tornar mais ou menos exigente. Ou seja, dois lotes distintos que apresentaram os mesmos aspectos de qualidade podem tomar destinos diferentes: enquanto um será reprocessado, o outro será embalado e comercializado. Essa variabilidade na definição dos

parâmetros é prejudicial ao sistema produtivo, pois encobre falhas da produção e não proporciona um aumento no grau de qualidade do produto devido à falta de padronização. Dessa forma, os índices de qualidade podem ser maiores do que os reais.

Por se tratar de uma produção contínua, sempre que é detectado uma ocorrência referente à qualidade, como, por exemplo, massa com umidade acima ou abaixo dos limites, cor da massa fora do padrão e comprimento médio do filete fora das especificações, inevitavelmente, a parcela de produtos não conformes levará consigo uma parte de produtos conformes para serem reprocessados ou refugados. Por esse motivo, os índices de qualidade podem ser menores do que os reais.

As incertezas presentes na definição de parâmetros de qualidade, bem como a dificuldade em separar o produto conforme do produto não conforme, adicionam uma variabilidade ao índice de qualidade, que será tratada com números *fuzzy*. Para isso, será considerado uma variabilidade de 10% para mais e para menos do número crisp calculado, como proposto por Rößler & Abele (2013). Esse fator foi estimado considerando que o registro dos dados é feito de forma manual.

## VI. Rejeitos de início de produção:

A empresa não possui registro desse tipo de perda especificamente. Essas quantidades são registradas unicamente como reprocesso ou refugo em geral. A sua variabilidade será considerada na categoria de perdas por reprocesso e refugo.

Portanto, o índice de qualidade será um número *fuzzy* triangular simétrico, definido por:

$$Q = [a_5 = (u_5 - 10\%), u_5, b_5 = (u_5 + 10\%)] \quad (5.3)$$

Diante disso, aplicando a operação de multiplicação entre números *fuzzy*, o índice OEE *fuzzy* será dado por:

$$OEE = [a_6 = (a_3 \times a_4 \times a_5), u_6 = (u_3 \times u_4 \times u_5), b_6 = (b_3 \times b_4 \times b_5)] \quad (5.4)$$

## 5.2 Disponibilidade

A tabela 5.1 mostra os resultados para o Índice de Disponibilidade *Fuzzy*. Os resultados mostram que o equipamento apresenta um alto índice de disponibilidade. O limite inferior “a”

mostra que, nos piores cenários, o índice de disponibilidade mínimo é 84,94%, de acordo com a figura 5.1. Valor próximo ao nível mundial.

Tabela 5.1 – Fatores utilizados para o cálculo do Índice de Disponibilidade Fuzzy (A)

Paradas devido a falhas do equipamento (h)				Tempo operacional planejado (h)	Índice de disponibilidade		
Mês/Ano	$a_1$	$u_1$	$b_1$		$a_2$	$u_2$	$b_2$
jan/15	30,6	34,01	37,4	328	88,59%	89,63%	90,67%
fev/15	9,1	10,07	11,1	112	90,11%	91,01%	91,91%
mar/15	30,8	34,26	37,7	664	94,32%	94,84%	95,36%
abr/15	66,5	73,87	81,3	632	87,14%	88,31%	89,48%
mai/15	37,8	41,98	46,2	352	86,88%	88,07%	89,27%
jun/15	38,9	43,23	47,6	440	89,19%	90,18%	91,16%
jul/15	49,2	54,64	60,1	608	90,11%	91,01%	91,91%
ago/15	21,1	23,43	25,8	280	90,80%	91,63%	92,47%
set/15	65,6	72,86	80,1	584	86,28%	87,52%	88,77%
out/15	25,7	28,55	31,4	280	88,78%	89,80%	90,82%
nov/15	47,6	52,85	58,1	720	91,93%	92,66%	93,39%
dez/15	18,4	20,39	22,4	264	91,50%	92,28%	93,05%
jan/16	72,6	80,68	88,7	696	87,25%	88,41%	89,57%
fev/16	62,2	69,12	76,0	672	88,69%	89,71%	90,74%
mar/16	67,0	74,47	81,9	672	87,81%	88,92%	90,03%
abr/16	76,9	85,43	94,0	624	84,94%	86,31%	87,68%

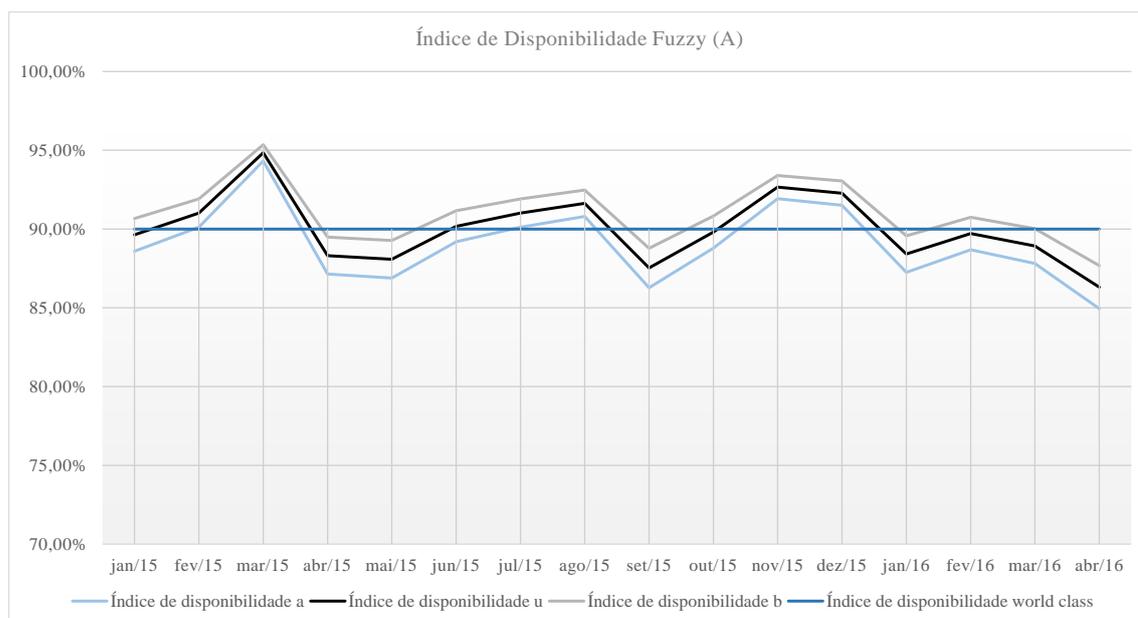


Figura 5.1 - Resultado mensal do Índice de Disponibilidade Fuzzy (A)

Em julho, agosto, novembro e dezembro de 2015, os índices apresentam os melhores resultados referentes à disponibilidade, pois, até mesmo o limite inferior “a” supera o nível world class. Dessa forma, apesar da nebulosidade relacionada ao processo de análise, pode-se afirmar que, nesses meses, o índice de disponibilidade apresenta níveis excelentes.

Apesar dos bons resultados apresentados na taxa de disponibilidade, as paradas por falhas do equipamento correspondem à grande maioria das paradas não planejadas. Ou seja, são os maiores motivos das perdas por *downtime*, como mostra a tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Percentual de falhas entre paradas não planejadas

Mês/Ano	Paradas não planejadas (h)	Falhas (h)	Razão: falhas/paradas não planejadas
jan/15	45,4	34,01	74,91%
fev/15	13,4	10,07	75,15%
mar/15	50,9	34,26	67,31%
abr/15	90,7	73,87	81,44%
mai/15	52,8	41,98	79,51%
jun/15	58,2	43,23	74,28%
jul/15	72,4	54,64	75,47%
ago/15	28,0	23,43	83,68%
set/15	88,2	72,86	82,61%
out/15	34,7	28,55	82,28%
nov/15	71,9	52,85	73,50%

dez/15	30,5	20,39	66,85%
jan/16	107,3	80,68	75,19%
fev/16	105,7	69,12	65,39%
mar/16	113,2	74,47	65,79%
abr/16	132,0	85,43	64,72%

Dessa forma, analisar essas perdas e elaborar um plano de manutenção adequado pode proporcionar uma melhora no índice de disponibilidade e, conseqüentemente, nos níveis de produção da empresa. O Diagrama de Pareto pode ser utilizado para classificar as maiores falhas do sistema, juntamente com o Diagrama de Ishikawa, para analisar as principais causas geradoras de falhas no equipamento.

Treinamento e supervisão podem ser dados aos operadores responsáveis pelo registro dos dados de paradas para que os mesmos sejam mais observadores e críticos ao analisar uma falha, diminuindo a incerteza relacionada às anotações. Dessa forma, as perdas serão reconhecidas facilmente, pois não passarão despercebidas aos olhos do operador tão facilmente.

### 5.3 Desempenho

Como explicado anteriormente, o Índice de Desempenho não foi calculado como um número *fuzzy* devido às suas características. A tabela 5.3 apresenta os resultados da performance da linha nos meses analisados.

Tabela 5.3 - Fatores utilizados para o cálculo do Índice de Desempenho (P)

Mês/Ano	Quantidade produzida (t)	Produção planejada (t)	Índice de Desempenho (P)
jan/15	295,41	367,49	80,39%
fev/15	29,12	127,41	22,85%
mar/15	745,80	787,18	94,74%
abr/15	504,13	697,66	72,26%
mai/15	285,91	387,53	73,78%
jun/15	303,49	495,96	61,17%
jul/15	618,41	691,70	89,40%
ago/15	249,66	320,71	77,81%
set/15	539,34	638,93	84,41%
out/15	213,45	314,31	67,91%
nov/15	795,23	833,94	95,36%
dez/15	247,48	304,51	81,24%
jan/16	707,92	769,15	92,04%
fev/16	645,87	753,60	85,69%

mar/16	475,89	716,91	66,37%
abr/16	461,41	673,21	68,54%

O índice de desempenho (P) é tratado como um número crisp, ou, em outras palavras, como um número *fuzzy* do tipo  $P = [u_3, u_3, u_3]$ . Os meses de março e novembro de 2015 merecem destaque por serem os meses onde a taxa de desempenho apresenta seus melhores resultados: 94,74% e 95,36%, respectivamente, como mostra a Figura 5.2.

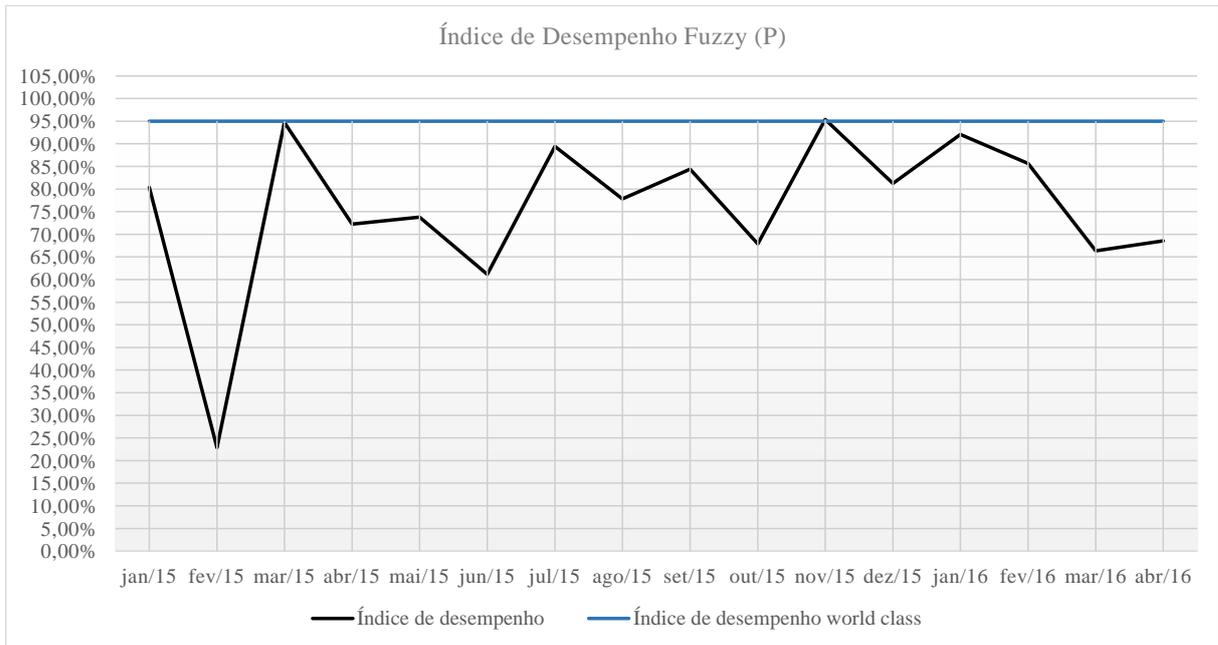


Figura 5.2 - Resultado mensal do Índice de Desempenho (P)

A discrepância entre a produção planejada e a quantidade produzida é justificada pelas perdas relacionadas às pequenas paradas de produção. Como visto na literatura, quando há uma parada de qualquer natureza no equipamento, além do tempo de *downtime*, existe o tempo de operação com velocidade reduzida, que acontece imediatamente após a correção da falha e um pouco antes da máquina parar completamente. Esse tempo é considerado como perda, pois, mesmo operando com velocidade reduzida, a máquina não produz.

Os dados coletados dos relatórios de produção da empresa mostram o somatório mensal dos tempos de *downtime*, ocasionado por pequenas paradas, mostrados na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Percentual de pequenas paradas entre paradas não planejadas

Mês/Ano	Paradas não planejadas (h)	Pequenas paradas (h)	Razão: pequenas paradas/paradas não planejadas
jan/15	45,4	11,39	25,09%

fev/15	13,4	3,33	24,85%
mar/15	50,9	16,64	32,69%
abr/15	90,7	16,83	18,56%
mai/15	52,8	10,82	20,49%
jun/15	58,2	14,97	25,72%
jul/15	72,4	17,76	24,53%
ago/15	28,0	4,57	16,32%
set/15	88,2	15,34	17,39%
out/15	34,7	6,15	17,72%
nov/15	71,9	19,05	26,50%
dez/15	30,5	10,11	33,15%
jan/16	107,3	26,62	24,81%
fev/16	105,7	36,58	34,61%
mar/16	113,2	38,73	34,21%
abr/16	132,0	46,57	35,28%

Apesar de serem responsáveis por curtos períodos de tempos de *downtime*, as pequenas paradas atingem negativamente o desempenho do sistema devido à interrupção constante no ritmo de produção. Por isso, é necessário reduzir a ocorrência dessas perdas, analisando-se quais os motivos responsáveis por causar tais interrupções.

Essa categoria de perdas está diretamente relacionada à forma como o operador manuseia o equipamento. Portanto, além de ferramentas da qualidade para investigar as causas das principais paradas, a implantação dos Oito Pilares da Manutenção Produtiva Total pode ser extremamente eficiente no combate e controle das perdas através do senso de responsabilidade e autonomia delegadas ao operador.

## 5.4 Qualidade

A tabela 5.5 mostra os resultados mensais para o Índice de Qualidade *Fuzzy*.

Tabela 5.5 - Índice de Qualidade *Fuzzy*

Índice de Qualidade <i>Fuzzy</i> (Q)			
Mês/Ano	$a_5$	$u_5$	$b_5$
jan/15	91,31%	92,10%	92,89%
fev/15	89,11%	90,10%	91,09%
mar/15	95,29%	95,72%	96,15%
abr/15	92,48%	93,16%	93,84%
mai/15	89,91%	90,83%	91,75%

jun/15	85,01%	86,37%	87,73%
jul/15	89,01%	90,01%	91,01%
ago/15	94,42%	94,93%	95,44%
set/15	93,77%	94,34%	94,91%
out/15	87,66%	88,78%	89,90%
nov/15	93,54%	94,13%	94,72%
dez/15	94,03%	94,57%	95,11%
jan/16	91,98%	92,71%	93,44%
fev/16	90,01%	90,92%	91,83%
mar/16	91,12%	91,93%	92,74%
abr/16	86,05%	87,32%	88,59%

Os melhores resultados nos índices de qualidade, nos meses de março, agosto, novembro e dezembro de 2015, coincidem com os melhores resultados observados nos índices de disponibilidade e produtividade. Além disso, setembro e dezembro de 2015 também apresentaram resultados satisfatórios. Porém, os resultados analisados nos 16 meses ficaram bem abaixo do nível *World Class*, mesmo considerando o referido índice como um número *fuzzy*, como mostra a figura 5.3.

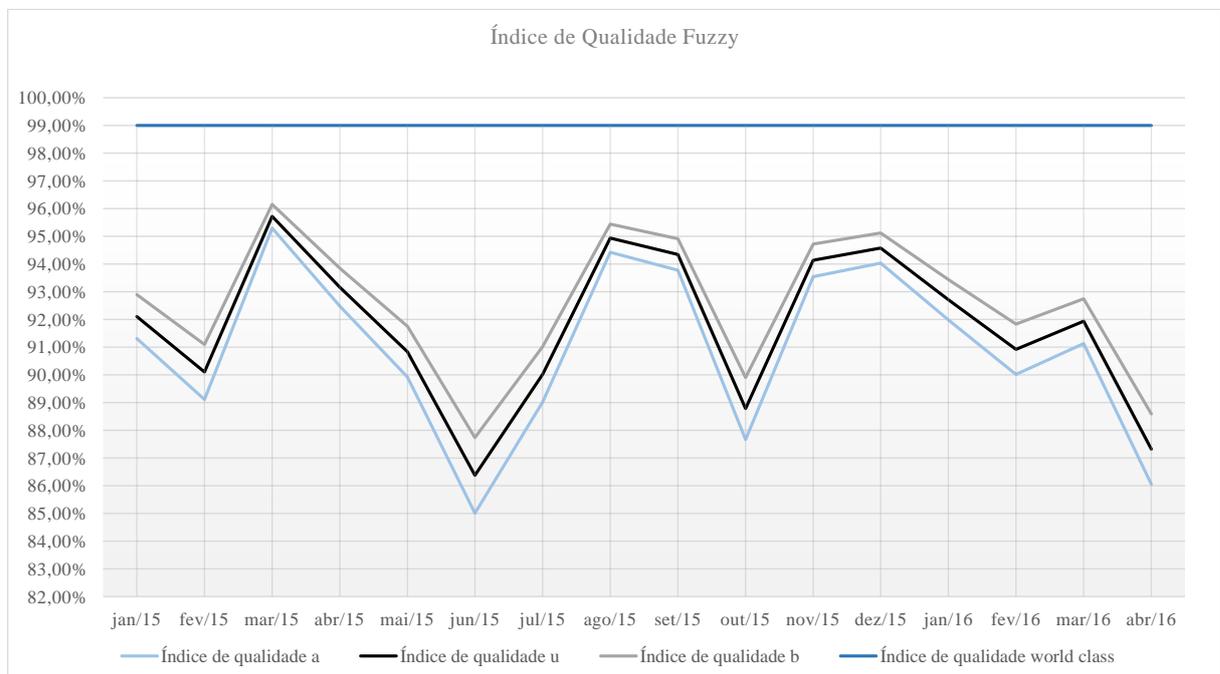


Figura 5.3 - Resultado mensal do Índice de Qualidade Fuzzy (Q)

Percebe-se uma grande variação nos índices de qualidade entre um mês e outro. A falta de procedimentos e rotinas padronizadas para a operação do equipamento de produção pode ser

o principal motivo. A máquina também precisa estar devidamente regulada e ajustada para operar corretamente, o que pode interferir positivamente, também, no índice de disponibilidade.

Primeiramente, deve-se controlar o processo, evitando tamanha variação do índice de qualidade, para, posteriormente, ir em busca do alcance do nível mundial.

Os operadores também necessitam de supervisão e treinamento para identificar corretamente os produtos que precisam ser reprocessados ou refugados. Desse modo, evita-se 1) a comercialização de produtos com baixa qualidade, evitando a perda de confiabilidade da empresa com os seus clientes; e 2) o reprocesso ou refugo desnecessário de produtos conformes.

## 5.5 OEE

A partir dos índices calculados anteriormente, foi possível medir a eficiência global do equipamento, através do índice OEE, como mostra a tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Índice Fuzzy de Eficiência Global do Equipamento

<b>OEE Fuzzy</b>			
Mês/Ano	$a_6$	$u_6$	$b_6$
jan/15	65,03%	66,36%	67,71%
fev/15	18,35%	18,74%	19,13%
mar/15	85,16%	86,01%	86,86%
abr/15	58,23%	59,45%	60,68%
mai/15	57,64%	59,02%	60,43%
jun/15	46,38%	47,64%	48,92%
jul/15	71,71%	73,24%	74,78%
ago/15	66,71%	67,68%	68,67%
set/15	68,29%	69,70%	71,12%
out/15	52,85%	54,14%	55,45%
nov/15	82,00%	83,17%	84,36%
dez/15	69,90%	70,89%	71,90%
jan/16	73,86%	75,44%	77,03%
fev/16	68,40%	69,90%	71,40%
mar/16	53,11%	54,25%	55,41%
abr/16	50,10%	51,66%	53,24%

O índice de eficiência global nunca será superior ao seu elo mais fraco, ou seja, a pior taxa dentre disponibilidade, desempenho e qualidade será o limitante do OEE. Março e

novembro de 2015 são os meses onde os três índices apresentam bons resultados simultaneamente. Conseqüentemente, como pode ser observado na figura 5.4, o OEE também apresenta resultados satisfatórios nesses meses.

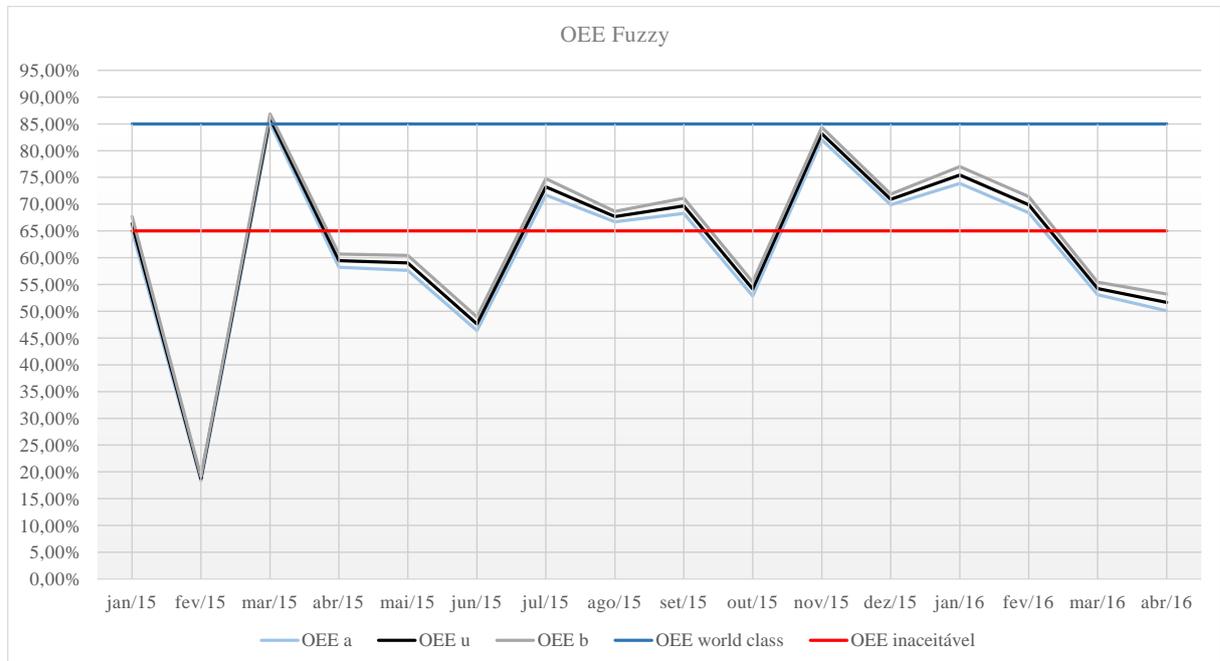


Figura 5.4 - Resultado mensal do Índice OEE

No período analisado, o índice de eficiência global pode ser considerado inaceitável em 7 meses, o que corresponde a 43,75% dos meses em análise. E, em apenas 1 mês, pode ter atingido o nível mundial de eficiência (março/2015).

O índice de eficiência global nunca será superior ao seu elo mais fraco. Por isso, o índice que apresenta os piores resultados deve ser priorizado nas ações de melhorias. No período analisado, o Índice de Desempenho foi o menor dentre os três em 12 meses. Em apenas 2 meses - novembro/2015 e janeiro/2016 - foi superior a algum dos outros dois índices. Dessa forma, pode-se concluir que as pequenas paradas são as perdas mais danosas ao sistema de produção, visto que estão associadas aos resultados da performance do equipamento, que apresentou os piores resultados.

## 6. CONCLUSÕES

Foi realizada nesse artigo uma análise sobre a utilização do OEE, em uma indústria de processo contínuo, sob a abordagem dos números *fuzzy*. Com o uso dessa metodologia, mais informações podem ser extraídas dos dados registrados, considerando o fator variabilidade. Dessa forma, é demonstrado que é possível adicionar mais transparência à análise das informações, expandindo o potencial de otimização do desempenho através de resultados mais confiáveis.

As oscilações apresentadas nos índices de cada categoria, juntamente com a ausência de um comportamento crescente contínuo na evolução mensal dos indicadores, apontaram para a falta de medidas gerenciais de combate às perdas.

O Índice de Disponibilidade apresentou resultados satisfatórios. Em 11 meses analisados, os resultados podem ser considerados como padrão mundial. Apesar disso, esforços para a implementação de melhorias podem ser executados, com o objetivo de aperfeiçoamento contínuo, principalmente porque as paradas por quebra e/ou falha representam a maior parcela das perdas por *downtime*.

Percebe-se que as pequenas paradas são perdas danosas ao sistema, pois interferem negativamente nos resultados gerais do sistema. Dessa forma, é indicado que as ações de melhoria se iniciem por essa categoria de perdas, através da utilização de ferramentas da qualidade para investigar as suas principais causas e da implementação da Manutenção Produtiva Total para proporcionar autonomia e responsabilidade aos operadores pelo equipamento, visando a melhoria contínua.

A falta de procedimentos e rotinas padronizadas para a operação do equipamento de produção pode ser o principal motivo para a variação nos resultados encontrados no Índice de Qualidade. A supervisão e treinamento também são importantes para identificar corretamente os produtos que precisam ser reprocessados ou refugados. Desse modo, evita-se 1) a comercialização de produtos com baixa qualidade, evitando a perda de confiabilidade da empresa com os seus clientes; e 2) o reprocesso ou refugo desnecessário de produtos conformes.

Dos 16 meses analisados, o Índice OEE pode ser considerado inaceitável em 7 meses (43,75%), e, em apenas 1 mês (março/2015) pode ter atingido o nível mundial. Portanto, a empresa apresenta um processo de produção de baixa eficiência geral, mas que pode e deve ser melhorado.

Poucos trabalhos discutem o que é um bom resultado do índice OEE. Mesmo assim, essa definição é estimada e bastante genérica, pois não considera os tipos de processos de produção de cada companhia. Conseqüentemente, não há definição sobre quando esforços de melhoria precisam ser realizados, caso o desempenho do sistema esteja abaixo do esperado.

Por não haver uma definição mais clara e objetiva sobre parâmetros de eficiência do equipamento, as regras de decisão *fuzzy* não puderam ser utilizadas. Assim, a análise dos resultados, sob a ótica da lógica *fuzzy*, ficou limitada às operações matemáticas realizadas com esses números para considerar a incerteza presente na coleta dos dados no chão de fábrica.

Foi proposta a utilização de algumas metodologias para combate aos desperdícios e otimização da eficiência do processo, tais como, Manutenção Produtiva Total e Ferramentas da Qualidade. Com a utilização dessas ferramentas, a empresa pode tornar o seu processo de produção mais transparente, padronizado e formal.

Dessa forma, conclui-se que o indicador OEE deve ser visto como uma ferramenta útil para identificar as perdas mais impactantes do processo produtivo, conduzir e orientar os planos de melhorias nos sistemas de produção, bem como, informar se as ações foram implementadas corretamente.

## REFERÊNCIAS

- AHN, J.; CHANG, D. **Fuzzy-based HAZOP study for process industry**, Journal of Hazardous Materials, v.317, p.303-311, 2016.
- ALMEIDA, A. T. D.; SOUZA, F. M. C. D. (Org). **Gestão da manutenção: na direção da competitividade**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2001.
- AL-NAJJAR, B; ALSYOUF, I. **Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making**, International Journal of Production Economics, v.84, p.85-100, 2003.
- ANVARI, F.; EDWARDS, R.; STARR, A. **Evaluation of overall equipment effectiveness based on market**, Journal of Quality in Maintenance Engineering, v.16, p. 256-270, 2010.
- BARROS, L.; BASSANEZI, R.C. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**, Coleção IMECC Textos Didáticos, v.5, 2006.
- BOAVENTURA, L.A.G. **Números Fuzzy em Processamento de Imagens Digitais e Suas Aplicações na Detecção de Bordas**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- BOENTE, A.N.P. **Proposição de um Modelo Fuzzy para Tomada de Decisão acerca da Avaliação da Qualidade do Produto de Software AVA Moodle Utilizado no Curso de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais do IST-Rio e da Satisfação de seus Usuários**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M.; ZAMMORI, F. **Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML)**, Journal of Manufacturing Technology Management, v. 20, p. 8-29, 2008.
- CHIARADIA, Á. J. P. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: um estudo de caso na indústria automobilística**. Trabalho de conclusão do mestrado profissionalizante em engenharia-ênfase produção, Porto Alegre, 2004.
- COSENZA, C.A.; BARTHOLO, R.; DÓRIA, F.A.; DÓRIA, M. **Allocation problems, economics, fuzzy sets, information: An approximate allocation Algorithm and its consequences**, Editora: Grupo de altos estudos PEP-COPPE-UFRJ, 2011.

- DORNELLES, J. V.; SELBITTO, M. A. **Eficácia global de equipamentos (OEE) para diagnóstico e melhoria**, Revista GEINTEC, São Cristóvão/SE, v.5, p. 2366- 2379, 2015.
- ERICSSON, J.; DAHLÉN, P. **Disruption Reduction – An Important Tool in Order to Reach Just-in-Time**, Sweden: Lund Institute of Technology, 1993.
- GARZA-REYES, J. A. et al. **Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures**, International Journal of Quality & Reability Management, v. 27, p. 48-62, 2010.
- GARZA-REYES, J. A. **From measuring overall equipment effectiveness (OEE) to overall resource effectiveness (ORE)**, Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 21, p. 506-527, 2015.
- GROOTE, P. D. **Maintenance performance analysis: a practical approach**, Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 1, p. 4-24, 1995.
- HANSEN, R. C. **Eficiência Global dos Equipamentos: Uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros**, Porto Alegre: Bookman, 2006.
- HUANG, S.; DISMUKES, J.P.; SHI, J.; SU, Q.; RAZZAK, M.A.; BODHALE, R.; ROBINSON, D.E. **Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis**, International Journal of Production Research, v. 41, p. 513-527, 2003.
- JEONG, K.; PHILLIPS, D. **Operational efficiency and effectiveness measurement**, International Journal of Operations & Production Management, v. 21, p. 1404-1416, 2001.
- JONSSON, P.; LESSHAMMAR, M. **Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement**, International Journal of Operations & Production Management, v. 19, p. 55-78, 1999.
- LEITE, M.S.; FILETI, A.M.F.; SILVA, F.V. **Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocesso**, Revista Controle & Automação, v.21, mar/abr 2010.
- LJUNGBERG, Ö. **Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities**, International Journal of Operations & Production Management, v.18, p.495-507, 1998.
- MANSOUR, H.; AHMAD, M.M.; DHAFR, N.; AHMED, H. **Evaluation of operational performance of workover rigs activities in oilfields**, International Journal of Productivity and Performance Management, v.62, p. 204-218, 2013.

- MIGUEL, Paulo Augusto Cauchik (organizador). **Metodologia de pesquisa para engenharia de produção e gestão de operações [recurso eletrônico]**, Rio de Janeiro, Elsevier: ABEPRO, 2012.
- MORADIZADEH, Hasan. **Overall Equipment Effectiveness and Overall Line Efficiency measurement using intelligent systems techniques**, tese de doutorado submetida à Faculty of Graduate Studies and Research - Universidade de Regina, Itália, 2014.
- MUNAKATA, T. **Fundamentals of the new Artificial Intelligence: neural, evolutionary, fuzzy and more – 2nd ed.** Springer-Verlag London, 2008.
- NACHIAPPAN, R. M.; ANATHARAMAN, N. **Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous.** *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 17, p. 987-1008, 2006.
- NAKAJIMA, S. **An introduction to TPM**, Portland: Productivity Press, 1988.
- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM**, Cambridge: Productivity Press, 1993.
- NAKAJIMA, S. **TPM Development Program**, Portland: Productivity Press, 1989.
- OLIVEIRA, M. R.; HEMOSILLA, J. L. G.; SILVA, E. C. C. **Implantação do Índice de Eficiência Global dos Equipamentos em uma célula de Manufatura de uma Empresa de Grande Porte do Setor Automotivo - Segmento de Embreagens.** Anais do XV Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais - SIMPOI, São Paulo, 2012.
- OLIVEIRA, T.; HELLENO, A. **Sistema de Apoio à Gestão da Produção: Indicadores de Eficiência Operacional - Estudo de Caso**, v. 17, 2012.
- PARK, K. S.; HAN, S. W. **TPM—Total Productive Maintenance: Impact on Competitiveness and a Framework for Successful Implementation**, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, v.11, 2001.
- PUVANASVARAN, P.; TEOH, Y. S.; TAY, C. C. **Consideration of demand rate in Overall Equipment Effectiveness (OEE) on equipment with constant process time**, *Journal of Industrial Engineering and Management*, v.18, 2013.
- RAPOSO, C. D. F. C. **Overall Equipment Effectiveness: Aplicação em uma empresa do setor de bebidas do pólo industrial de Manaus**, *Revista Produção Online*, Florianópolis - SC, v.11, p.648-667, 2011.
- RIBEIRO, G.; PAES, R.; KLIEMANN, F. **Aplicação da Metodologia OEE para Análise da Produtividade do Processo de Descobertura de Carvão Mineral em uma Mina a Céu Aberto**, Anais ABEPRO, São Carlos, 2010.

- RÖBLER, M.P., ABELE, E. **Uncertainty in the analysis of the overall equipment effectiveness on the shop floor**, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 46, 2013.
- RUIZ, D.G.; MEJÍAS, J.L.P.; **Dealing with Imprecision in Performance Evaluation Processes Using Indicators: A Fuzzy Distance-Based Approach**, Springer Science+Business Media Dordrecht, v. 129: p.403–423, 24 September 2015.
- SELLITTO, M. **Inteligência Artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo**, Gestão & Produção, v. 9, p. 363-376, 2002.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**, 2°. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- STEINBACHER, H.; STEINBACHER, N. **TPM for America**, Cambridge: Productivity Press, 1993.
- SUEHIRO, S. **Eliminating Minor Stoppages on Automated Lines**, Cambridge: Productivity Press, 1992.
- TERESKO, J. **Time bomb or profit center?** Industry Week, March 1992.
- TSAROUHAS, P. H. **Equipment performance evaluation in a production plant of Italian cheese**, International Journal of Production Research, v. 51, p. 5897-5907, 2013.
- TSAROUHAS, P. H. **Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study**, Journal of Quality in Maintenance engineering, v.3, p.5-18, 2007.
- WUDHIKARN, R.; SMITHIKUL, C.; MANOPINIWES, W. **Developing overall equipment cost loss indicator**, Proceeding 6th Conference of Digital Enterprise Technology. Hong Kong: [s.n.]. p. 557-567, 2009.
- YIN, R. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**, Porto Alegre: Bookman, 2005.