

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

**Lucas Urach Sudati**

**FERRAMENTA HÍBRIDA PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO  
SERIADA UTILIZANDO O CONTROLADOR *FUZZY***

Santa Maria, RS  
2018

**Lucas Urach Sudati**

**FERRAMENTA HÍBRIDA PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO SERIADA  
UTILIZANDO O CONTROLADOR *FUZZY***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Linha de Pesquisa em Mobilidade Sustentável, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

**Orientador: Prof. Dr. Nattan Roberto Caetano**

Santa Maria, RS  
2018

Sudati, Lucas Urach  
FERRAMENTA HÍBRIDA PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO  
SERIADA UTILIZANDO O CONTROLADOR FUZZY / Lucas Urach  
Sudati.- 2018.  
82 p.; 30 cm

Orientador: Nattan Roberto Caetano  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, RS, 2018

1. Micro e Pequena Empresa 2. Lean Manufacturing 3.  
Lógica Fuzzy 4. Analytic Hierarchy Process 5. Produção  
Seriada I. Caetano, Nattan Roberto II. Título.

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

---

©2018

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

Endereço: Avenida Roraima, n. 1000. Prédio 07, Cidade Universitária, Santa Maria. CEP: 97195-000  
Centro de Tecnologia.

**Lucas Urach Sudati**

**FERRAMENTA HÍBRIDA PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO SERIADA  
UTILIZANDO O CONTROLADOR *FUZZY***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Linha de Pesquisa em Mobilidade Sustentável, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

**Aprovado em 10 de julho de 2018:**

**Nattan Roberto Caetano, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

**Dirceu Luiz Alberti, Dr. (URI Santiago)**

**Roberto Schoproni Bichueti, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2018

*Do not allow inertia to cause a system's  
constraint.*

(Eliyahu M. Goldratt)

## RESUMO

### FERRAMENTA HÍBRIDA PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO SERIADA UTILIZANDO O CONTROLADOR *FUZZY*

AUTOR: Lucas Urach Sudati  
ORIENTADOR: Nattan Roberto Caetano, Dr.

O objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo híbrido com abordagem em lógica *Fuzzy* e método multicritério para tomada de decisão, a fim de otimizar as linhas de produção em micro e pequenas empresas. Desta forma, o conceito *Lean Manufacturing* foi implementado visando aumentar a eficiência e capacidade produtiva, balanceamento de linha, redução do custo de mão de obra e aumento da qualidade. Além disso, o controlador *Fuzzy* baseado no modelo Mamdani foi empregado para obter os parâmetros indicativos entre as variáveis de entrada (qualificação do operador e maquinário) e saída (qualidade) priorizadas pelo *analytic hierarchy process*. Uma microempresa industrial do setor calçadista serviu de base para a aplicação e avaliação da ferramenta. Além dos subsídios empíricos, também foram consideradas fontes bibliográficas que sustentaram a formulação do estudo. Assim, foi criada uma ferramenta de fácil interpretação e aplicação que proporcionou à empresa um aumento de 9% na eficiência, 8% na produção, redução de 11% no custo de mão de obra e redução de 43% nos índices de retrabalho. A ferramenta desenvolvida neste trabalho otimizou significativamente os processos e, conseqüentemente, os lucros em uma indústria de produção seriada.

**Palavras-chave:** Micro e Pequena Empresa. *Lean Manufacturing*. Produção Seriada. Lógica *Fuzzy*. *Analytic Hierarchy Process*. Eficiência da Produção. Lucros em Pequenas Empresas.

## ABSTRACT

### HYBRID TOOL FOR SERIAL PRODUCTION OPTIMIZATION APPYING FUZZY CONTROLLER

AUTHOR: Lucas Urach Sudati  
ADVISOR: Nattan Roberto Caetano, Dr.

The objective of this research was to develop a hybrid model with Fuzzy logic approach and multicriteria method for decision making, in order to optimize production lines in micro and small companies. In such way, the Lean Manufacturing concept was implemented to increase efficiency and production capacity, line balancing, labor cost reduction and quality improvement. Fuzzy controller based on the Mamdani model was employed to obtain the indicative parameters between the input variables (operator qualification and machinery) and output (quality) prioritized by the analytic hierarchy process. An industrial microenterprise in the footwear sector served as the basis for the application and evaluation of the tool. In addition to the empirical subsidies, bibliographical sources were also considered that supported the formulation of the study. A tool of easy interpretation and application was created that gave the company a 9% increase in efficiency, 8% in production, an 11% reduction in labor costs and a 43% reduction in rework rates. The tool developed in this work has significantly optimized the processes and, consequently, the profits in a serial production industry.

**Keywords:** Micro and Small Businesses. Lean Manufacturing. Serial Production. Fuzzy Logic. Analytic Hierarchy Process. Production Efficiency. Profits in Small Businesses.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pessoas ocupadas no setor privado por tamanho de empresa .....	17
Figura 2 – Estrutura hierárquica de tomada de decisão .....	33
Figura 3 – Sistema básico da Lógica <i>Fuzzy</i> .....	38
Figura 4 – Quantidade de artigos analisados.....	40
Figura 5 – Principais termos utilizados.....	43
Figura 6 – Esquema para coleta de informações da linha .....	46
Figura 7 – Inspeção de qualidade .....	48
Figura 8 – Passos de Raciocínio AHP .....	49
Figura 9 – Etapas do Processo .....	49
Figura 10 – Variáveis <i>Fuzzy</i> .....	51
Figura 11 – Funções Triangulares.....	51
Figura 12 - Hierarquia do Modelo.....	57
Figura 13 - Base de regras.....	64



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade de artigos publicados por ano .....	42
Gráfico 2 – Priorização dos Critérios .....	60
Gráfico 3 – Estimativa de qualidade .....	65
Gráfico 4 – Resumo das melhorias .....	68

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferencial entre empresa tradicional e empresa enxuta .....	21
Quadro 2 - Aplicações para otimização da linha de produção .....	23
Quadro 3 - Tópicos iniciais para o planejamento da produção .....	25
Quadro 4 - Principais regras de sequenciamento usuais .....	26
Quadro 5 – Tipos de Capacidade.....	27
Quadro 6 – Pensamentos analíticos do AHP .....	32
Quadro 7 – Escala fundamental de Saaty .....	35
Quadro 8 – Escala de comparação dos critérios.....	35
Quadro 9 – Enquadramento Metodológico.....	44
Quadro 10 – Detalhes da Sapatilha 5094 .....	53
Quadro 11 – Custo real do Ref. 5094.....	55
Quadro 12 – Nível de qualificação do operador e confiabilidade das máquinas .....	55
Quadro 13 – Classificação dos critérios .....	58
Quadro 14 – Definição das variáveis.....	62
Quadro 15: Domínios de Intervalo das Variáveis .....	62
Quadro 16 – Base de Casos Possíveis.....	63
Quadro 17 – Detalhes dos processos de gargalo Antes .....	66
Quadro 18 – Detalhes dos processos de gargalo Depois .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Periódicos com maior número de publicação de 2008 a 2018 .....	41
Tabela 2 – Informações da Linha de Produção Antes.....	54
Tabela 3 – Estatística das informações Antes.....	56
Tabela 4 – Comparação entre os critérios .....	59
Tabela 5 – Matriz Normalizada e Vetor de Prioridade .....	59
Tabela 6 – Consistência Lógica .....	61
Tabela 7 – Informações da Linha de Produção Depois.....	67
Tabela 8 – Resumo das melhorias.....	67
Tabela 9 – Estatística das Informações depois .....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process*  
CAGED - Cadastro Geral de Empregados e Desempregados  
CR - *Critical Ratio*  
DLS - *Dynamic Least Slack*  
EDD - *Earliest Due Date*  
FGTS - Fundo de Garantia do Tempo de Serviço  
FIFO - *First In, First Out*  
IMVP - *International Motor Vehicle Program*  
IR - Índice de Consistência  
LIFO - *Last In, First Out*  
LIPT - *Longest Imminent Processing Time*  
LPT - *Longest Processing Time*  
LS - *Least Slack*  
LWQ - *Least Work Next Queue*  
MOD - Mão de obra direta  
MPE - Micro e Pequena Empresa  
MTE - Ministério do Trabalho e Emprego  
PCP - Programação e Controle da Produção  
PIB - Produto Interno Bruto  
RAIS - Relação Anual de Informações Sociais  
RC - Razão de Consistência  
SALBP - *Simple Assembly Line Balancing Problem*  
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas  
SIPT - *Shortest Imminent Processing Time*  
SPT - *Shortest Processing Time*  
TQM - *Total Quality Management*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.1 Objetivo Geral .....	16
1.1.2 Objetivos Específicos .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA .....	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1 <i>LEAN MANUFACTURING</i> .....	20
2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP) .....	23
2.2.1 Sequenciamento De Produção.....	25
2.2.2 Capacidade Produtiva.....	26
2.2.3 Balanceamento De Linha.....	30
2.2.4 Custo de Mão de Obra Direta (MOD).....	31
2.3 MÉTODO AHP ( <i>ANALYTIC HIERARCHY PROCESS</i> ).....	32
2.4 LÓGICA <i>FUZZY</i> .....	37
2.4.1 Controlador Mamdani .....	39
2.5 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	40
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>44</b>
3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	44
3.2 DESCRIÇÃO DE CENÁRIO.....	45
3.2.1 Caracterização da empresa .....	45
3.3 FORMULAÇÃO DA FERRAMENTA.....	46
3.3.1 Aquisição de Informações da Linha .....	46
3.3.1.1 <i>Custo de Mão de Obra (MOD)</i> .....	48
3.3.2 Método AHP .....	48
3.3.3 Abordagem <i>Fuzzy</i> .....	50
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>53</b>
4.1 AQUISIÇÃO DAS INFORMAÇÕES NA LINHA DE PRODUÇÃO .....	53
4.2 MODELAGEM AHP.....	57
4.2.1 Construção de Hierarquias.....	57
4.2.2 Estabelecer Prioridades.....	59
4.2.3 Consistência Lógica.....	60
4.3 ABORDAGEM <i>FUZZY</i> .....	61
<b>5 MELHORIAS APRESENTADAS</b> .....	<b>66</b>
<b>6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS</b> .....	<b>70</b>
REFERÊNCIAS.....	72
ANEXO A – AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL .....	82

## 1 INTRODUÇÃO

Novas estratégias são desenvolvidas com a finalidade de otimizar o desempenho e obter sucesso no negócio, como tornar a empresa enxuta quanto à máquinas e operadores, investir em marketing, aumentar a gama de produtos, padronizar processos, priorizar qualidade e fidelizar clientes. A excelência nos processos tem sido buscada pelos gestores nas últimas décadas, devido ao aumento no nível de exigência do consumidor e à grande concorrência, ambos promovidos pela globalização (GENARI, 1966; RABELO et al., 1989; ZAIRI, 1997; PADOVEZE, 2003; VERCELLIS, 2009; BAJAJ; GARG; SETHI, 2018). Nesse contexto, no ramo industrial se almeja o melhoramento produtivo, como a busca de maior eficiência nos processos e redução de custos, contemplando uma abordagem de gestão ordenada para atender os desafios industriais modernos (BAJAJ; GARG; SETHI, 2018). Portanto, gerenciar critérios como produtividade, eficiência e custo, atualmente, pode decidir um futuro de sucesso para uma organização (FAYEZI; ZUTSHI; O'LOUGHLIN, 2017).

O acompanhamento eficaz dos indicadores gerenciais, principalmente nas micro e pequenas empresas (MPE), não vem sendo executado com total fidelidade, devido a limitações e problemas de crises na liderança (MATÉ; TRUJILLO; MYLOPOULOS, 2017). Além disso, a gestão das MPEs é realizada normalmente somente pelo dono da empresa, que ocupa maior parte de seu dia com as burocracias rotineiras sem tempo suficiente em aprofundar estudos para melhorias em sua organização (WAHID; CORNER, 2009). Isso pode ser justificado com a grande mortalidade de MPEs vistas no Brasil por falhas de controle e gestão (JUNIOR, 2010). Assim, soluções que facilitem o gerenciamento da empresa surgem como uma alternativa para auxílio na tomada de decisão e aumento da competitividade (LOPES; BLASCHEK, 2010).

O avanço no desenvolvimento de novas técnicas de modelagem para otimização da produção específica para empresas tem proporcionado diferentes resultados na resolução dos problemas (PIVETTA; 2004, TOLEDO et al., 2007; KOCSIS et al., 2014), que direcionam novas possibilidades de gerenciamento enxuto e formas práticas de controle. Com isso, a tomada de decisão apoiada nestes novos métodos, criam um ambiente dinâmico e facilmente manipulável, proporcionando maior facilidade à melhoria contínua da organização, facilitando a tomada de decisão (PACHECO et al., 2014).

Ferramentas prontas, normalmente aplicáveis em qualquer empresa apresentam resultados positivos, porém são pouco eficientes devido à complexidade na alimentação das informações e possibilidade de fragilidade nos relatórios gerenciais, entretanto, a formulação de ferramentas que são modeladas especificamente para um setor ou uma empresa, proporcionam uma melhor interação com o gestor, favorecendo uma maior confiabilidade nas informações (KIM; AHN, 2017). Logo, novas ferramentas desenvolvem um aprendizado sistemático, onde os sistemas de gestão do conhecimento estimulam o crescimento entre os colaboradores proporcionando a concepção de um sistema contínuo de melhorias que favorece a longevidade organizacional (SANTOS, 2017).

Ao longo das últimas décadas, diversos autores vêm colaborando com o desenvolvimento de métodos que auxiliam os gestores, quantificando informações como forma de facilitar na tomada de decisão (BUZACOTT; SHANTHIKUMAR, 1993; FARNES; PEREIRA, 2007; RANGEL et al., 2012; LOPES; FREITAS; SOUSA, 2015). O uso em conjunto da lógica *Fuzzy*, que quantifica informações qualitativas fornecendo parâmetros indicativos e o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para hierarquização e priorização, apoiam a tomada de decisão a partir da estrutura de um arranjo de componentes conceitualmente relacionados sob uma maior dimensão. Atualmente, estas técnicas estão implementadas em softwares, e os usuários, ao utilizá-las, não precisam ser *experts* em técnicas estatísticas avançadas. Pelo contrário, os usuários podem trabalhar com formatos simples e familiares, tendo como vantagem a fácil adaptação em produzir informações gerenciais robustas sem a necessidade de grande conhecimento sobre o tema (BISPO; GIBERTONI, 2001; ISAAI et al., 2011). Assim sendo os gestores de MPEs conseguem implementar esses métodos com sucesso sem grandes investimentos e com potencial considerável de melhorias.

Nota-se que as empresas atualmente estão inseridas num contexto mundialmente competitivo, principalmente as MPEs, o que as obriga desempenhar seus processos com eficiência. Existem ferramentas gerenciais capazes de auxiliar na gestão, sendo que esse potencial de suporte é amplificado quando a ferramenta é desenvolvida especificamente para um tipo de empresa. Nesse contexto, este trabalho buscou o desenvolvimento de uma nova ferramenta para empresas industriais de produção seriada onde emprega técnicas de gestão da produção com apoio do método AHP e lógica *Fuzzy*, assim possibilitando aos gestores uma maior

clareza para tomada de decisão surgindo como um diferencial no ambiente empresarial.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta híbrida com abordagem *Fuzzy* e AHP para otimização de linhas de produção em MPEs visando o aumento da eficiência na produção, a redução de custos e manutenção da qualidade.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) identificar os fatores que influenciam na qualidade do produto;
- b) priorizar os fatores identificados na análise a partir do Método AHP;
- c) elaborar uma ferramenta para otimização da produção com controlador *Fuzzy* baseado no modelo Mamdani, voltado à MPE industrial, utilizando os critérios de fuzzificação definidos pelo Método AHP;
- d) avaliar a ferramenta proposta com a aplicação prática na empresa Tadiano Carloto Vieiro e Cia – ME, visando validar o modelo e discutir os resultados.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA

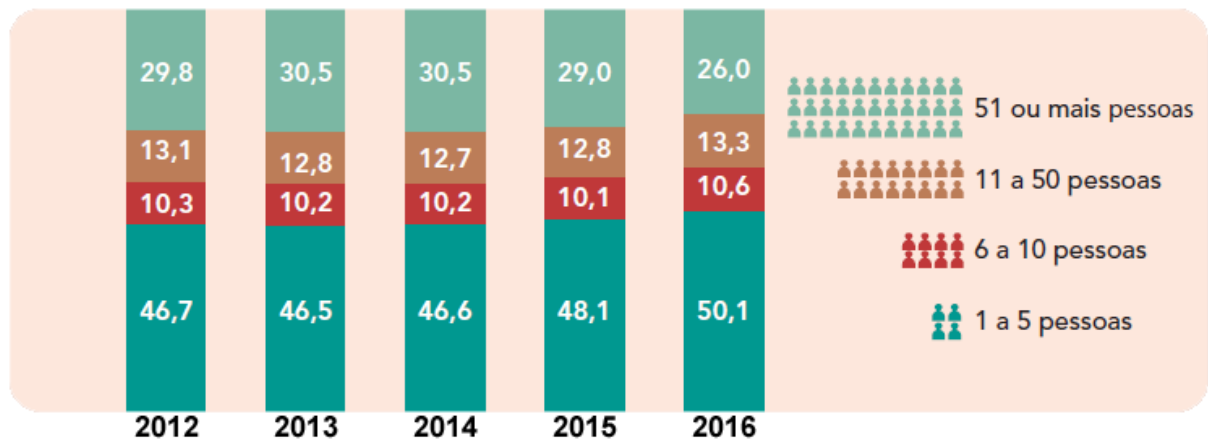
Não há no mundo uma classificação padrão para as micro e pequenas empresas (MPE), cada país adota formas distintas e de acordo com suas realidades de mercado (CEZARINO; CAMPOMAR, 2006). No Brasil, as MPEs são definidas pelo Estatuto da Microempresa e Empresa de Pequeno Porte (Lei nº 9.841/99) e pelo SIMPLES (Lei nº 9.317/96), que utilizam como forma de classificação a receita bruta anual, onde em 2015, representavam 98,5% dos estabelecimentos privados no país (DA COSTA; LEANDRO, 2016).

Em 2011, as MPEs atingiram 27% no Produto Interno Bruto (PIB) e atualmente, são responsáveis pela maioria dos empregos formais gerados e este percentual vem crescendo ano a ano conforme ilustra a figura 1 (DANA, 2016). Contudo, as MPEs brasileiras têm dificuldades em se manterem lucrativas em vista do baixo nível



gerencial, gestão informal e escassez de recursos (CEZARINO; CAMPOMAR, 2006). Além disso, a informalidade é vista também dentro das MPEs industriais, que negligenciam o gerenciamento da sua produção ocasionando ineficiência no resultado. Logo, o resultado se dá nas baixas margens de lucro, fluxos financeiros negativos e até mesmo a mortalidade da empresa (LIMA et al., 2017).

Figura 1 – Pessoas ocupadas no setor privado por tamanho de empresa



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua 2012-2016.

Organizações possuem identidades próprias, caracterizando assim seu meio cultural de relações e trabalhos. Interferir nesse processo requer o planejamento cauteloso para que os gestores e seus liderados entendam, aceitem e se adaptem às transformações necessárias para o desenvolvimento do negócio, onde é de importância que se disponibilize ferramentas possíveis para que o gestor consiga executar suas tarefas em busca de seus resultados com eficácia (SANTOS; OLIVEIRA, 2016). Em MPEs, a aplicação de ferramentas gerenciais é restrita devido à mão de obra limitada, onde normalmente somente o gestor administra. A resistência a mudança está inclusa como fator implicante na introdução de novos métodos (MEDEIROS, 2008). Portanto, o uso de ferramentas simples que possuam um potencial efetivo nos resultados para auxílio na tomada de decisão torna-se um diferencial estratégico na competitividade (MARTINS, 2017).

Estudos recentes examinaram os determinantes do uso de informações de desempenho na tomada de decisões estratégicas em diferentes contextos

empresariais (GOMES et al., 2017, POLLANEN et al., 2017, GARG, 2018). Em um estudo, Kroll (2015) examinou os vetores de uso de informações de desempenho, onde identificou fatores que mostraram repetidamente um impacto positivo, como a maturidade do sistema de medição, envolvimento de partes interessadas, suporte de liderança, capacidade de suporte, cultura inovadora e clareza de metas. Com isso, reforça a ideologia de criação de uma ferramenta que facilite a tomada de decisão.

As MPEs necessitam de apoio na gestão para tomada de decisão, e isto se reflete no crescente volume de estudos que procuram caracterizá-las e entendê-las, de forma a promover a geração de ações que promovam o seu desenvolvimento (SILVEIRA et al., 2012). Com isso, é incontestável o papel que as MPEs desempenham no cenário econômico e social do país, a participação no PIB e de empregos formais gerados, gerando subsídios para o desenvolvimento de novos estudos e ferramentas de apoio. Assim sendo, este trabalho irá colaborar para aumento da competitividade entre as MPEs, potencializando a tomada de decisão e a geração de ações para melhorias na empresa.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo de será dividido em seis capítulos, os quais contemplam a introdução, o referencial teórico, a metodologia de trabalho, a estruturação da ferramenta e conclusões, conforme está estruturado na figura 2.

O Capítulo 1 refere-se à introdução do trabalho, que contextualiza e caracteriza o problema, justifica sua relevância, apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos.

No Capítulo 2, é contemplado o referencial teórico utilizado como base para a construção da ferramenta proposta, permeando entre a gestão da produção com ênfase no *lean manufacturing* e suas ferramentas de apoio, programação e controle da produção, método AHP e a lógica *Fuzzy*.

O Capítulo 3 concentra-se na metodologia do trabalho, compreendendo a classificação da pesquisa, os instrumentos que serão utilizados, a descrição dos procedimentos a serem realizados e a estruturação e construção da ferramenta a partir do referencial encontrado, fazendo-se assim um modelo híbrido abordando PCP, método AHP e lógica *Fuzzy*.

A ferramenta foi submetida a teste em uma empresa real durante a fase de avaliação dos resultados, a qual compreende o Capítulo 4 desta pesquisa.

O Capítulo 5 apresenta as melhorias propostas e os resultados que foram obtidos com as manipulações na linha de produção.

Por último, no Capítulo 6 são formatadas as conclusões obtidas com a pesquisa, associando-as aos objetivos, além de expor as limitações e encaminhar recomendações para estudos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo é destinado à apresentação de estudos contendo informações importantes para o desenvolvimento do presente trabalho, as quais contribuem para a formação dos conhecimentos e auxiliam no entendimento da evolução dos componentes necessários para a realização das técnicas utilizadas. Em particular, são apresentados os conceitos do *lean manufacturing* e as ferramentas de apoio, programação e controle da produção e quais os principais resultados obtidos a partir dos trabalhos que utilizam algumas técnicas, modelagem do método AHP e uso e aplicação da lógica *fuzzy* com abordagem industrial.

### 2.1 LEAN MANUFACTURING

O ambiente competitivo das empresas está cada vez mais disputado, fazendo com que os gestores tenham iniciativa de buscar melhorias nos processos da gestão da produção e aperfeiçoamento do sistema (UTIYAMA, 2015). Telo et al. (2017) afirmam que as empresas de manufatura demonstram uma necessidade de redução no *lead time*, menores tamanhos de lotes e baixos estoques para que possam atender as necessidades dos clientes que estão cada vez mais exigentes por produtos personalizados e de baixo custo.

A sugestão das melhorias vem da busca pelo aumento da eficiência dos recursos produtivos e o enxugamento das linhas como forma de maximizar o rendimento operacional (OKUN, 2015). Este modo de pensamento enxuto, parte do pressuposto de utilizar ao máximo todos os recursos produtivos, eliminando os desperdícios do sistema (SHINGO, 1981).

Criado no Japão depois da Segunda Guerra Mundial, o termo produção enxuta foi proposto pela primeira vez por Krafcik (1988), membro do grupo de estudos do IMVP – *International Motor Vehicle Program*. Esta titulação foi criada para referenciar um sistema de produção caracterizada pela eliminação contínua dos desperdícios. O sistema enxuto de produção, ou *lean manufacturing*, se apresenta em uma relação de práticas que visam, de forma mais ampla, otimizar o *lead time* enxugando ao máximo os recursos na empresa (LIMA; ZAWISLAK, 2003). No quadro 1, os autores identificam as principais diferenças entre empresas tradicionais com a empresas de pensamento enxuto.

Quadro 1 - Diferencial entre empresa tradicional e empresa enxuta

EMPRESA TRADICIONAL	EMPRESA ENXUTA
RELAÇÃO COM CLIENTE	
Seleção baseada notadamente em preço; Não existência de compromisso de venda; Custos e riscos do lançamento de novos produtos.	Negociação via preço, prazo e qualidade; Contratos de médio e longo prazo; Desenvolvimento conjunto de projetos.
PRODUÇÃO	
Administração do tipo <i>top-down</i> ; Limitado envolvimento dos funcionários nas decisões; Produção baseada na previsão de vendas e pedidos fechados; Cultura de estoque de segurança.	Níveis hierárquicos mais baixos dotados de poder decisório quanto à produção; Busca contínua pela perfeição, melhoria contínua; Produção disparada pela demanda do cliente; Preocupação em estabelecer um fluxo contínuo na produção.
RELAÇÃO COM FORNECEDORES	
Seleção baseada notadamente em preço; Não existência de compromisso de venda; Custos e riscos do lançamento de novos produtos.	Negociação via preço, prazo e qualidade; Contratos de médio e longo prazo; Desenvolvimento conjunto de projetos.

Fonte: Adaptado de Lima e Zawislak (2003).

Os fatores que influenciam a implementação de um sistema enxuto de produção são, a saber:

- a) *Fabricação celular*: organiza todo o processo para um produto específico ou produtos similares em um grupo (ou "célula"), incluindo todas as máquinas, equipamentos e operadores necessários. Recursos dentro das células são organizados para facilitar as operações (ABDULMALEK; RAJGOPAL, 2007).
- b) *Just-in-time (JIT)*: um sistema de administração da produção que determina que tudo deve ser produzido, transportado ou comprado na hora exata. O cliente inicia demanda, que é então transmitida, assim puxando todos os requisitos apenas quando eles são necessários (SHINGO, 1981).
- c) *Kanban*: sistemas de sinalização que controlam os fluxos de produção ou transportes em uma indústria (GHINATO, 2000).
- d) *Manutenção preventiva total (TPM)*: os trabalhadores realizam a manutenção regular do equipamento para detectar quaisquer anomalias. O foco é na prevenção de falhas, uma vez que os operadores são os mais próximos das máquinas, eles são incluídos nas atividades de manutenção

e monitoramento, a fim de prevenir e fornecer aviso de avarias (SHINGO, 1996).

- e) *Setup*: reduzir continuamente o tempo de configuração em uma máquina (SHINGO, 1996).
- f) 5s: concentra-se na organização eficaz do local de trabalho e procedimentos de trabalho padronizados (GHINATO, 2000).
- g) Gestão da Qualidade Total (TQM): um sistema de melhoria contínua empregando uma gestão participativa centrada nas necessidades dos clientes. Os principais componentes são o envolvimento e treinamento dos funcionários, equipes de resolução de problemas, métodos estatísticos, objetivos de longo prazo e reconhecimento de que as ineficiências são produzidas pelo sistema e não pelas pessoas (MIZUNO, 1988).

Moura (1994) apresenta as 7 ferramentas da qualidade que auxiliam nos processos de inspeção e verificação:

- i) Fluxograma: ilustração sequencial de todos os processos, mostrando os caminhos e cada etapa relacionada, é representada por símbolos que são facilmente reconhecidos para identificar os tipos de operações.
- ii) Folhas de Verificação: são tabelas ou planilhas aplicadas para coleta e análise de dados. Usualmente utilizadas para registrar itens a serem medidos e controlados.
- iii) Diagrama de *Ishikawa*: desenvolvido por Kaoru Ishikawa em 1943, também conhecido como espinha-de-peixe, tem como finalidade identificar todas as causas possíveis para um determinado efeito (problema).
- iv) Diagrama de Pareto: tem por finalidade hierarquizar os problemas, a fim de determinar um ponto de partida para a solução dos mesmos.
- v) Histograma: método de exibição que tem como finalidade mostrar a frequência de algum evento por meio de gráfico de barras.
- vi) Diagrama de Dispersão: identifica o que acontece com uma variável quando a outra tem alterações, usado para testar possíveis relações de causa e efeito.
- vii) Cartas de Controle: são usadas para mostrar as tendências dos pontos de observação em um período de tempo, os limites são calculados aplicando-se fórmulas aos dados do processo.

Na literatura diversos modelos utilizando os conceitos *Lean* para buscar a otimização da produção obtiveram sucesso na aplicação, apresentando resultados positivos nas avaliações (DAYCHOUM, 2013). O quadro 2 apresenta algumas aplicações na solução de deficiências nas linhas produtivas.

Quadro 2 - Aplicações para otimização da linha de produção

DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA	AUTOR
Modelos estocásticos para otimização dos sistemas de fabricação	Buzacott e Shanthikumar (1993)
Balanceamento de linha de montagem com uso de heurística	Farnes e Pereira (2007)
Programação inteira 0-1 para o balanceamento de linhas de montagem.	Fernandes et al. (2008)
Tecnologia de grupo: Aplicações para projeto, análise e controle de células de fabricação	Ham, Hitomi e Yoshida (2012)
Aumento da eficiência produtiva através da redução do tempo de setup	Rangel et al. (2012)
Aplicação de ferramentas do Lean Manufacturing para aumento de produtividade	Lopes, Freitas e Sousa (2015)
Modelo de planejamento de produção vinculada ao MFV	Marques (2017)

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Existem diversos casos de aplicações e modelagens de sistemas para otimização produtiva, cada um com sua característica e especificidade de funcionamento. A adequação da empresa aos aspectos sugeridos pelo *Lean* são o primeiro passo para a iniciação do conceito enxuto. A empresa deve detalhar e conhecer os processos internos, a fim de manter uma postura de melhoria contínua.

## 2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

Dentre as atividades realizadas no dia-a-dia das indústrias é imprescindível o bom andamento operacional dos processos, no qual resultarão em produtos acabados a serem expedidos para os clientes. A programação e controle da produção (PCP) surge como medida para gerenciar o andamento das atividades e controlar possíveis ações para o sucesso da produção (DJURDJANOVIC, 2017). O PCP tem papel fundamental na gestão dos processos produtivos, o qual possibilita benefícios econômicos importantes. A integração do processo tem um impacto significativo na dinâmica da produção, dando origem a interações em toda a planta (BALDEA;

HARJUNSKI, 2014). Esta função administrativa tem por objetivo fazer os planos de orientação e guia para a produção (VEGGIAN; SILVA, 2015). Logo, o PCP coordena tudo que será produzido bem como o que está sendo produzido e quem irá produzir.

O processo de planejamento é continuado, o planejador deve, periodicamente, estender sua visão de futuro, de forma que o horizonte de tempo futuro se desenvolva a visão permaneça constante. Em termos práticos, a dinâmica dá-se da seguinte forma (CORRÊA, 2006):

- a) Passo 1: levantamento da situação presente. O processo de planejamento deve coletar a situação em que se encontram as atividades e os recursos para que a situação atual se faça presente no processo de planejamento;
- b) Passo 2: desenvolvimento e reconhecimento da visão futuro, com ou sem nossa intervenção. O sistema deve considerar a visão de futuro para que esta possa influenciar no processo decisório;
- c) Passo 3: tratamento conjunto da situação presente e da visão de futuro por alguma lógica que transforme as informações em dados utilizáveis;
- d) Passo 4: tomada de decisão gerencial. A partir das informações disponibilizadas pelo sistema, os tomadores de decisão efetivamente tomam suas decisões;
- e) Passo 5: execução do plano. Decorre um período em que efetivamente as diversas decisões vão tomando efeito;
- f) Passo 6: Momento em voltar ciclicamente ao passo 1 e revisar o processo em busca de alterações.

O planejamento ocorre em diferentes horizontes de tempo, tem diferentes períodos de replanejamento, bem como considera diferentes níveis de agregação de informação (CORRÊA, 2006). Em um sistema de produção, as atividades de PCP devem ser exercidas em três níveis hierárquicos. Nível estratégico, considera o longo prazo, onde o departamento de produção formula o planejamento estratégico da produção. O nível tático, considerado de médio prazo, deve-se elaborar o planejamento-mestre da produção e no nível operacional, de curto prazo, o setor responsável pela produção deve preparar a programação da produção (TUBINO, 2000).

Os níveis hierárquicos de gestão devem andar alinhados com um objetivo comum, porém a geração de valor é provinda do nível operacional, onde está alocada



toda a unidade produtora da empresa. Dessa forma, deve-se ressaltar a importância do bom andamento neste nível (LUSTOSA et al., 2008). As decisões operacionais estão intrinsecamente relacionadas, o que implica que um sistema de administração deve ser projetado considerando um conjunto de decisões bem como a sua importância relativa de cada etapa produtiva (CORRÊA; GIANESI; CAON, 1997). Desta forma, surge a necessidade das organizações em se tornarem ágeis nas respostas dadas às mudanças de mercado, serem capazes de gerar ações de melhorias operacionais de acordo com os recursos disponíveis para ainda assim, se manterem competitivas.

O quadro 3 aborda sobre os tópicos iniciais para o planejamento da produção de curto prazo.

Quadro 3 - Tópicos iniciais para o planejamento da produção

Sequenciamento das Operações	Ordenar a produção segundo as quais atividades devem ocorrer num sistema de operações;
Programação das Operações	Conhecer a capacidade produtiva e eficiência da planta e programar as atividades produtivas;
Controle de Operações	Coletar e analisar informações do desempenho efetivo de dado conjunto de processos;

Fonte: Adaptado de Corrêa e Corrêa (2000).

### 2.2.1 Sequenciamento De Produção

O sequenciamento é definido como a ordem cronológica em que as tarefas serão executadas na unidade produtiva, sendo as prioridades dadas aos trabalhos de uma operação baseado em um conjunto predefinido de regras, são elas: matéria-prima, insumos, cliente, etc. (TELO et al. 2017). A importância de um sequenciamento eficaz, visto que este influencia diretamente na capacidade do sistema produtivo de fornecer produto acabado, bem como a qualidade final para atender às especificações do processo em cada etapa (ZHANG; BUTT, 2016).

Há várias regras de sequenciamento que são utilizadas em sistemas de gestão de operações. As principais regras podem ser definidas como informa o quadro 4 (CORRÊA, 2006).

Quadro 4 - Principais regras de sequenciamento usuais

<b>Sigla</b>	<b>Definição</b>
FIFO ( <i>First In, First Out</i> )	A prioridade é dada de acordo com a sequência em que as ordens chegam ao sistema. Portanto, as ordens de processamento que entram primeiro no sistema, serão as primeiras a sair;
LIFO ( <i>Last In, First Out</i> )	A prioridade é dada à última peça que entra, devendo ser a primeira a sair;
SPT ( <i>Shortest Processing Time</i> )	A prioridade é dada para o menor tempo de processamento total, ordenando as ordens de produção de modo crescente em relação ao tempo;
LPT ( <i>Longest Processing Time</i> )	A prioridade é dada pelo maior tempo de processamento total, em oposição ao SPT;
EDD ( <i>Earliest Due Date</i> )	A prioridade é dada pela execução das ordens mais urgentes em função do prazo de entrega. A finalidade é reduzir atrasos;
LS ( <i>Least Slack</i> )	A prioridade é dada pela menor folga entre a data de entrega e o tempo total de processamento entre as ordens que estão à espera, com o objetivo de reduzir atrasos;
SIPT ( <i>Shortest Imminent Processing Time</i> )	A prioridade é dada pelo menor tempo de processamento individual;
LIPT ( <i>Longest Imminent Processing Time</i> )	A prioridade é dada pelo maior tempo de processamento individual;
LWQ ( <i>Least Work Next Queue</i> )	A prioridade é dada para a ordem com destino à máquina ou estação de trabalho com menor fila no momento;
CR ( <i>Critical Ratio</i> )	A prioridade é dada à menor razão crítica, que é calculada pela divisão do tempo até a data de vencimento pelo tempo total de produção restante;
DLS ( <i>Dynamic Least Slack</i> )	A prioridade é dada à menor folga que é a diferença entre a data prometida de entrega e o tempo total restante de processamento.

Fonte: Adaptado de Telo et al. (2017).

As abordagens modernas sugerem uma combinação de sistemas, a fim de buscar qual a regra mais eficaz para obter uma maior eficiência do processo (TELO et al., 2017). Também deve-se realizar uma pesquisa sistemática com inspeção diária, que aborde a garantia de qualidade entre os processos em todas as fases de manipulação do produto para fins de aumento da capacidade (ZHANG; BUTT, 2016).

### 2.2.2 Capacidade Produtiva

Uma das principais responsabilidades da gestão da produção é prover da capacidade física suficiente para satisfazer à demanda. O uso mais comum da palavra capacidade é de quantas unidades de produto acabado um operador, célula ou unidade é capaz de fornecer em um determinado tempo. Isso implica em todo o processo de uma planta, desde o planejamento inicial de produção até a entrega ao consumidor final (SLACK, 2015). Portanto, a capacidade física de produção pode ser

definida como o volume máximo potencial de atividade de agregação de valor que pode ser atingido por uma unidade produtiva sob condições normais de operação (CORRÊA, 2006).

O volume máximo de produção em uma unidade produtiva pode ser representado como capacidade de toda a empresa ou uma única máquina ou funcionário em um intervalo determinado de tempo (CORRÊA; CORRÊA, 2000). A medida da capacidade ajuda a identificar o grau de produção relativa *versus* a utilização não produtiva. O modo no qual a capacidade produtiva é mensurada e relatada afeta as decisões gerenciais, assim como o desempenho econômico da empresa. O cálculo da capacidade produtiva pode variar dependendo da aplicação dos dados e da filosofia da instituição (WATTS et al. 2009). De maneira geral, a capacidade produtiva como a relação do valor observado com a medida de capacidade de escoamento, isto é,  $U = Y/Y^*$ ; onde U é a capacidade produtiva realizada, Y é a saída observada e Y\* é a medida de capacidade de saída teórica (SALIM, 2001).

O conceito de capacidade se apresenta em 4 diferentes categorias, como representado no quadro 5.

Quadro 5 – Tipos de Capacidade

Capacidade Instalada	Capacidade máxima de uma unidade produtiva trabalhando ininterruptamente e não considerando perdas;
Capacidade Disponível	Quantidade máxima que um processo pode produzir durante a jornada de trabalho disponível;
Capacidade Efetiva	Representa a capacidade disponível subtraindo as paradas planejadas;
Capacidade Realizada	Obtida subtraindo da capacidade efetiva as perdas não planejadas.

Fonte: Adaptado de Staudt, Coelho e Gonçalves (2011).

A capacidade instalada é uma medida teórica que fornece a produção (em unidades) que a fábrica pode produzir trabalhando 24 horas durante 7 dias. A capacidade disponível, que será utilizada na modelagem desta dissertação, considera quanto é possível produzir dentro do turno de trabalho diário. Kato, Takaki e Souza (2003) demonstram o cálculo na fórmula 1, utilizando como base o tempo padrão, ou seja:

$$Cap. Disponível = \frac{Carga\ horária\ diária}{Tempo\ padrão} \quad (1)$$

A carga horária diária pode ser definida como o máximo de horas trabalhadas esperadas de um centro produtivo e o tempo padrão no tempo necessário para executar uma operação de acordo com um método estabelecido, em condições determinadas, por um operador apto e treinado, possuindo uma habilidade média, trabalhando com esforço médio, durante todas as horas do serviço (KATO; TAKAKI; SOUZA, 2003). O cálculo de capacidade disponível não desconta o tempo das paradas programadas de produção (STAUDT; COELHO; GONÇALVES, 2011). O cálculo das horas disponíveis representada pela fórmula 2, onde a subtração do tempo das paradas programadas dá-se no cálculo da capacidade efetiva, representado pela fórmula 3.

$$Horas\ disponíveis = Carga\ horária\ diária - Tempo\ de\ paradas\ planejadas \quad (2)$$

$$Cap. Efetiva = \frac{Horas\ disponíveis}{Tempo\ padrão} \quad (3)$$

Conforme Al-Darrab (2000), os cálculos representados representam o turno de trabalho sem incidências de paradas não planejadas, como quebra de máquinas, absenteísmo, falta de material, etc., portanto, ocasionalmente esses problemas ocorrem, onde estas paradas não planejadas são contabilizadas pelas empresas como ineficiências da produção. A fórmula 4, representa a capacidade realizada que contabiliza as paradas não planejadas e representa uma medida da quantidade realmente produzida (em unidades).

$$Cap. Realizada = \frac{Horas\ disponíveis - Horas\ paradas\ não\ planejadas}{Tempo\ padrão} \quad (4)$$

Esta capacidade ainda é considerada teórica, pois a quantidade programada no início do processo é a quantidade de peças desejada na saída. No cálculo não está considerado os tempos gastos com refugo e retrabalho, que as máquinas utilizam o

período disponível no dia para refaze-los. Este tempo deve ser considerado no cálculo de ocupação da máquina.

Peinado e Graeml (2007) salientam que a capacidade realizada, quando comparada à capacidade efetiva, fornece a porcentagem de eficiência da unidade produtora em realizar o trabalho programado, este índice será utilizado no estudo, conforme a fórmula 5.

$$\text{Índice de eficiência} = \frac{\text{Capacidade realizada}}{\text{Capacidade efetiva}} \quad (5)$$

Cardial, Rocha e Gomes (2017) afirmam que o indicador é encontrado através do quociente entre o tempo de trabalho efetivo e o tempo total disponível. Reescrevendo o índice, segundo Büyüksaatçi, Tüysüz e Bilen (2015), a medição de eficiência também pode ser representada pela fórmula 6.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^j t_i}{n \times c} \quad (6)$$

onde,

$t_i$  – Tempo de conclusão da tarefa  $i$

$j$  – Número de tarefas

$n$  – Número de estações de trabalho

$c$  – Tempo de ciclo

A fórmula de Büyüksaatçi, Tüysüz e Bilen (2015) demonstra o que a empresa consegue produzir a partir da programação da demanda dentro, bem como o tempo de ciclo e controle do índice por operador. Tempo de ciclo, definido por Alvarez e Antunes (2001), como a duração de um ciclo de processo ocorrido entre o início e fim de um mesmo evento, em um sistema de produção é determinado pelas condições operativas da linha ou célula. Almeida (2015) complementa como o período entre a produção de duas peças, sendo que em cada um destes períodos o operador realiza uma operação, de cada um dos elementos, que lhe compete e de uma forma sequencial, no qual formará ao final do processo, o *lead time* de produção.

Zheng (2017) conceitua *lead time* como tempo total necessário para fabricar um item, incluindo *setups*, processamentos, movimentos, inspeções, etc. Para os

produtos de produção sob encomenda, trata-se do tempo necessário desde a liberação da ordem de produção até a expedição para o cliente, para os produtos de produção para estoque, entende-se como tempo a partir do lançamento da ordem até a alocação no estoque. De forma geral, o *lead time* pode ser definido como o tempo total que uma peça leva para mover-se desde o começo até o fim de todo um processo ou um fluxo de valor. Uma forma de determiná-lo é cronometrar uma peça marcada que se move do início até o fim (OBERHAUSEN, 2017).

### **2.2.3 Balanceamento De Linha**

No âmbito organizacional são necessárias alternativas para se obter a otimização, para que se possa ter um nível de competitividade elevado frente aos concorrentes. A melhoria contínua de processos e a identificação de perdas produtivas permitem alcançar esse diferencial. Além da utilização dos indicadores é necessário realizar o balanceamento de linha de montagem como método para dimensionar a capacidade produtiva e alinhamento dos postos de trabalho.

O balanceamento de linha é uma técnica para melhoria do processo produtivo e redução de desperdícios (JUNIOR, 2012). A tarefa do balanceamento de linha é a de atribuir as tarefas aos postos de trabalho de forma a atingir uma dada taxa de produção e de forma que o trabalho seja dividido igualmente entre os postos (MOREIRA, 2014).

O objetivo do balanceamento é minimizar o tempo de inatividade da linha e consequentemente melhorar a eficiência da produção a partir da minimização do número de estações de trabalho necessárias, da minimização do tempo de ciclo ou de uma combinação de ambos (DIAS et al., 2010). Apesar de serem recorrentemente estudados, trabalhos anteriores utilizam técnicas de balanceamento sem o uso conjunto de outros indicadores de avaliação (OLIVEIRA et al., 2017). Com isso, a técnica deve ser utilizada comumente a otimizar os recursos disponíveis, tais como tempo, mão de obra, organização para a fabricação dos produtos em linhas de montagem (CARDIAL; ROCHA; GOMES, 2017).

A linha de montagem representa o clássico do fluxo de operações em um sistema contínuo. Na linha de montagem, o produto (ou parte dele) é dividido em um certo número de operações (ou tarefas) que devem ser distribuídas por postos de trabalho (MOREIRA, 2014). Considera-se um método de produção no qual as peças

são montadas e transformadas no produto final à medida que a unidade avança de estação para estação que estão alinhadas de uma maneira em série. Originalmente, as linhas de montagem foram desenvolvidas para uma produção em massa eficiente em termos de custos de produtos padronizados, projetada para explorar uma alta especialização do trabalho e os efeitos de aprendizagem associados (BÜYÜKSAATÇI; TÜYSÜZ; BILEN, 2015).

O balanceamento de linha que aplicada em linhas de montagem representa uma ferramenta de importância da gestão industrial. Quando utilizada corretamente, otimiza todos os processos e reduz custos de produção (CARDIAL; ROCHA; GOMES, 2017).

#### **2.2.4 Custo de Mão de Obra Direta (MOD)**

Dentro de uma indústria todos os processos geram custos e despesas a serem somados no produto final, sejam fixos, variáveis, diretos ou indiretos. Em um ambiente de competitividade, a preocupação e a definição destes valores como fator estratégico levaram à necessidade de se repensar os sistemas com ênfase no acompanhamento da mão de obra direta (MOD) de fabricação (SILVA, 2017).

Martins (2003) conceitua a MOD como sendo a relacionada ao pessoal que trabalha diretamente para a produção de um determinado produto, desde que seja possível a mensuração do tempo improdutivo e a identificação de quem executou o trabalho, sem a necessidade de apropriação indireta ou rateio. Isto compreende não só os gastos com salários, mas também com os benefícios a que os empregados como, cestas básicas, vale-transporte, refeição e outros. Acrescentam-se ainda os encargos sociais de obrigação da empresa, como a previdência social parte patronal, Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), férias e décimo terceiro salário. Para o cálculo do custo hora de um funcionário, Martins (2003) apresenta a fórmula 7.

$$MOD = \frac{\text{Salário nominal} + \text{Encargos sociais}}{\text{Número de horas trabalhadas}} \quad (7)$$

Onde, salário nominal representa a quantia atribuída pelo cargo que ocupa o trabalhador; encargos sociais são direitos do trabalhador previstos por lei e número de horas trabalhadas representam as horas totais mensais trabalhadas.

A mão de obra direta é aquela ligada diretamente na produção e que não precisa de rateio. O custo de cara operador é todo efetivo do processo em que ele opera, que neste trabalho, será utilizada como balizador indicativo das ações de melhorias na empresa.

### 2.3 MÉTODO AHP (*ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*)

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70 onde tornou-se um método de tomada de decisão multicritério amplamente utilizado e conhecido na resolução de conflitos negociados. Para esse estudo, a decisão uso do método AHP como método de decisão multicritério apoiou-se no trabalho de Salomon, Montevechi e Pamplona (1999), onde é evidenciado as vantagens e facilidades que o método tem em relação a outros métodos existentes na literatura, como os métodos de entrada e os cálculos de confiança.

O AHP baseia-se no método newtoniano e cartesiano de pensar, o qual busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, claros e dimensionáveis (RODRIGUES et al., 2017). Segundo Wang, Chu e Wu (2007), o método permite a medição da coerência dos julgamentos dos tomadores de decisão.

Saaty (1980) divide o método em seis etapas, sendo elas: (I) Definir o objetivo; (II) Definir as alternativas; (III) Definir os critérios relevantes para o problema de decisão; (IV) Avaliar as alternativas em relação aos critérios; (V) Avaliar a importância relativa de cada critério; e (VI) Determinar a avaliação global de cada alternativa. Babic (1998) complementa que o método está baseado em três pensamentos analíticos, representados no quadro 6:

Quadro 6 – Pensamentos analíticos do AHP

(continua)

Construção de Hierarquias	O problema é decomposto em níveis hierárquicos, buscando uma melhor compreensão e avaliação do problema.
Estabelecer Prioridades	Ajuste das prioridades fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber a relação entre os objetivos e as situações observadas, por meio de julgamentos paritários.



## Quadro 6 – Pensamentos analíticos do AHP

(conclusão)

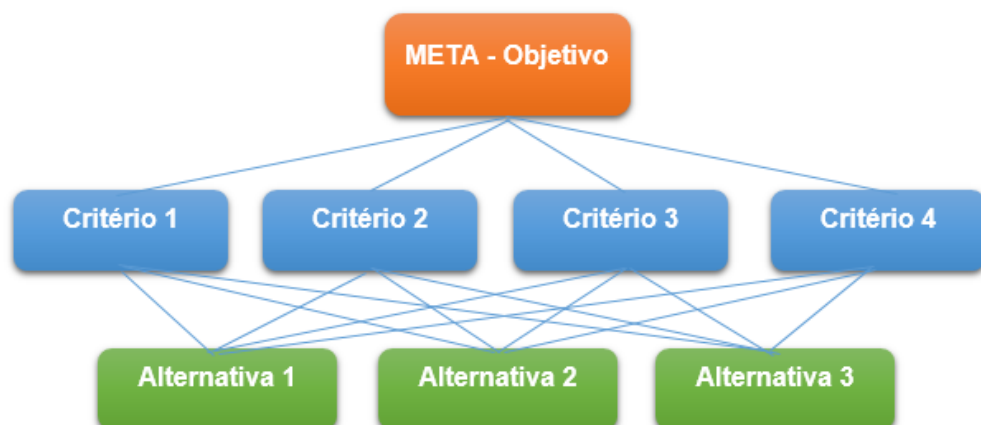
Consistência Lógica	No método, é possível avaliar o modelo de priorização construído, quanto a sua consistência.
---------------------	--

Fonte: Adaptado de Babic (1998).

O método leva em consideração conhecimentos e experiências dos tomadores de decisão, cujo por meio da quantificação dos valores ponderados pelos mesmos, obtém-se os pesos para os fatores considerados, para isso, os autores Clemen (1995) e Hammond, Keeney e Raiffa (2004) apresentam um roteiro para sua aplicação, conforme descrito a seguir:

- Definição do problema de decisão: no qual se faz necessário conhecer os valores do tomador de decisão, identificando assim qual o objetivo que pode ser atingido por meio da solução do problema;
- Decomposição do problema: pesquisar, dividir e estruturar o problema de modo a formar uma estrutura hierárquica, na qual pode-se verificar o objetivo e os critérios para atingi-los, como representado na figura 2.

Figura 2 – Estrutura hierárquica de tomada de decisão



Fonte: Adaptado de Junior e Chamon (2006).

- Estabelecer prioridades: as prioridades dos critérios são definidas por comparação paritária, em relação ao seu nível hierárquico superior. Este processo é desenvolvido por meio de uma entrevista com os formadores de

opinião, buscando assim priorizar os critérios com maior peso para atingir o objetivo proposto;

- d) Síntese: obtida por meio de um processo de combinação e avaliação de prioridades frente os critérios do problema, na qual os julgamentos do tomador de decisão, são distribuídos pela hierarquia, e com isso, ao serem julgadas as alternativas, recebem a síntese das preferências do tomador de decisão;
- e) Análise de sensibilidade: realizada para avaliar a consistência do resultado das alternativas, respeitando cada critério que as compõe. Esta etapa é responsável por apresentar possíveis fragilidades que podem ser geradas ao mudar a prioridade de um critério. Consiste em fazer pequenas mudanças nos pesos das avaliações dos critérios e constatar qual seu impacto no resultado, de modo que, ao encontrar um impacto capaz de modificar o resultado, o critério que apresentou sensibilidade, deve ser submetido a uma nova análise do tomador de decisão, para confirmar sua avaliação.
- f) Interação: nesta etapa, todas as anteriores são repetidas, permitindo assim que a decisão seja revisada com um entendimento melhor do problema, por meio do modelo desenvolvido.

Com a sintetização dos julgamentos, determina-se as prioridades das variáveis, tornando assim a análise qualitativa do problema, mais consistente (OLIVEIRA, 2007). Belderrain e Silva (2005) complementam que cada tomador de decisão deve fazer uma comparação paritária de cada elemento em seu nível hierárquico, formando uma matriz quadrada de decisão. Na sequência, o tomador de decisão representará sua preferência entre os elementos compostos a partir de uma escala definida.

A metodologia do AHP tem na sua constituição a decomposição por hierarquias e a síntese pela identificação de relações através de escolha consciente. Toda e qualquer prática para tomada de decisões necessita a análise e escolha de uma melhor alternativa, desde que satisfaçam os objetivos pretendidos (SAATY, 1991).

Saaty (1991) apresenta uma escala de importância baseada na escala *Likert*, que é representada por uma tabela de julgamentos que emprega valores de 1 a 9. Para o autor, esta escala busca capturar a intensidade de uma relação que se

apresenta de maneira qualitativa. O quadro 7 apresenta a escala considerada pelo autor.

Quadro 7 – Escala fundamental de Saaty

1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma para a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições.

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

O quadro 7, referente à Escala Fundamental de Saaty é exemplificado por Silva (2012) no quadro 8, que apresenta os valores recíprocos na escala de comparação dos critérios.

Quadro 8 – Escala de comparação dos critérios

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
MENOS IMPORTANTE					MAIS IMPORTANTE			

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

O quadro 8 representa a comparação paritária, na qual o tomador de decisão demonstrará sua preferência. Por exemplo, escolha pelo critério A, como o critério de maior relevância frente ao B, informando assim peso 7 para o critério A, na matriz de cálculo de vetores, o peso correspondente ao critério B é recíproco a 1/7, demonstrando assim sua menor importância frente ao critério A. A partir do julgamento, é possível saber qual dos dois elementos é mais importante em relação a um critério de um nível superior, bem como qual a intensidade da diferença de

importância. O elemento mais importante da comparação deve ser usado como valor inteiro da escala e o menos importante como inverso do mesmo número.

A quantidade de julgamentos necessários para a construção de uma matriz de julgamentos genérica  $A$  é  $n(n-1)/2$ , onde  $n$  é o número de elementos pertencentes a esta matriz (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009). Os elementos de  $A$  são definidos pelas condições representados na matriz.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Onde,

$a_{ji} > 0$  = positiva

$a_{ji} = 1 \therefore a_{ji} = 1$

$a_{ji} = 1/a_{ji}$  = recíproca

$a_{ji} = a_{ji} \cdot a_{ji}$  = consistência

Os valores de  $a_{ij}$  não necessariamente precisam ser valores baseados em medidas exatas, mas em julgamentos subjetivos. A situação faz com que seus valores tenham um desvio em relação à razão ideal, sendo necessário medir a consistência para verificar se sua proposição é no mínimo aceitável (SAATY, 1991).

A consistência deve ser verificada por meio de dois axiomas, sendo o primeiro axioma:

Existem  $\lambda_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , tal que satisfaça a equação:  $Ax = \lambda x$ .

Onde  $x$  é um vetor de pesos.

Se a matriz  $A$  é consistente, logo os autovalores serão iguais à zero, com exceção do  $n$ , o maior valor de  $\lambda_i$ .

O segundo axioma considera que:

Se a diagonal da matriz  $A$  for de números com  $a_{ij} = 1$ , e se  $A$  for consistente, pequenas variações de  $a_{ij}$  manterão o maior autovalor próximo de  $n$  e os autovalores restantes próximos a zero.

Sendo assim, se faz necessário encontrar o vetor  $w$  de pesos que satisfaça a equação:

$$Aw = \lambda_{m\acute{a}x} \quad (9)$$

O ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou ideias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (SAATY, 2000). Assim o método AHP se propõe calcular a Razão de Consistência (RC) dos julgamentos, denotada na fórmula 10.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (10)$$

IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem  $n$ , com elementos não-negativos e gerada randomicamente. Então,  $n$  é a dimensão da matriz e  $\lambda_{\text{máx}}$  é calculado através da multiplicação da matriz de julgamentos  $W$  pelo vetor coluna de prioridades computado  $\alpha$ , dividido novamente pelo vetor  $\alpha$  representado na fórmula 11.

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{W\alpha}{\alpha} \quad (11)$$

Silva (2012) acrescenta em seu raciocínio o do Índice de Consistência (IC). Esse índice mostra se os elementos na matriz estão logicamente corretos. Para isso, apresentou a fórmula 12.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (12)$$

Considera-se aceitável o valor de inconsistência de  $RC \leq 0,10$ . Caso  $RC > 0,10$ , a qualidade dos julgamentos está comprometida, e deve ser melhorada.

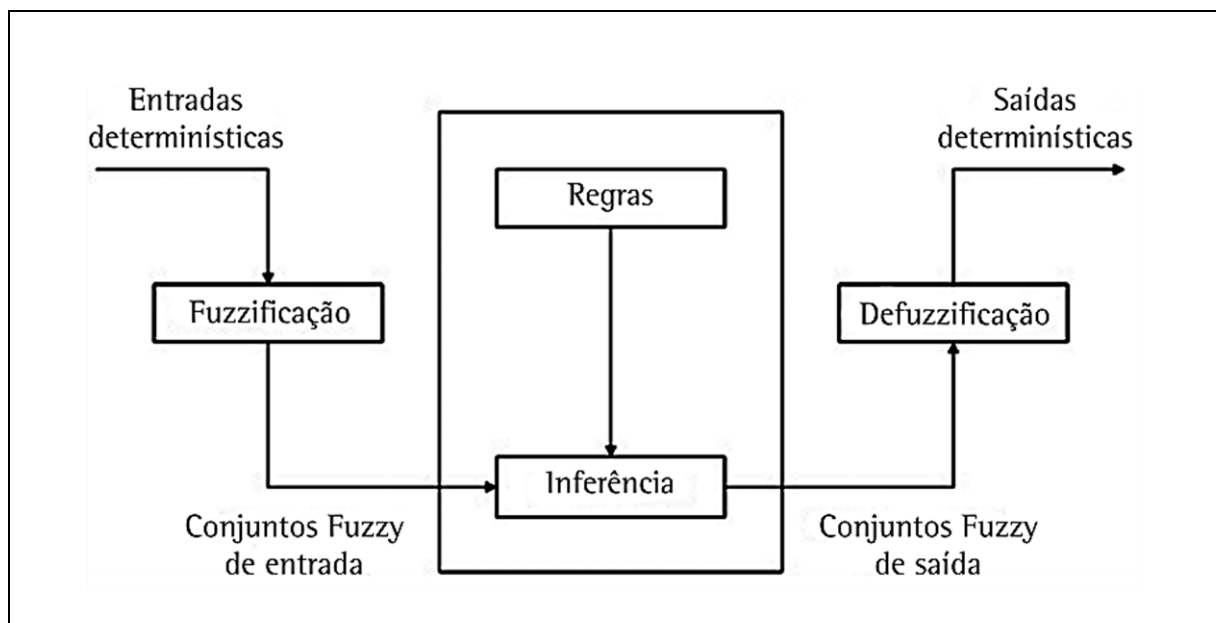
## 2.4 LÓGICA FUZZY

A teoria *Fuzzy*, desenvolvida por Zadeh (1965), propõe a existência de infinitos valores entre 0 e 1. O vetor de pertinência  $\mu$  caracteriza os valores dentro do intervalo numérico, expressando o grau de pertinência de um dado elemento ser membro de um conjunto *Fuzzy*. Sendo que a pertinência vai de 0 (zero), ou não pertence, até 1,00 (um), ou pertence totalmente. Portanto um conjunto fuzzy  $A$  em um universo  $X$  é definido pela função de pertinência  $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$  (BARON, 2017).

A utilização de algoritmos *Fuzzy* na solução de problemas de controle foi iniciada com o trabalho pioneiro de Assilian e Mamdani (1973). No controlador desenvolvido foi adotado um método para o processo de decisão baseado em regras do tipo “SE A ENTÃO B”, nas quais tanto o antecedente quanto o consequente são valores de variáveis linguísticas, expressos por meio de conjuntos *Fuzzy* (MAMDANI; ASSILIAN, 1975).

Em 1980 surgiram as primeiras aplicações em engenharia de controle por algumas companhias japonesas. O controle de processos industriais pela lógica *Fuzzy* foi proposto por Mamdani e seus colaboradores, usando a abordagem de Zadeh para conjuntos difusos e incluindo variáveis linguísticas, sentenças condicionais difusas e regras de inferências composicionais (SELLITO, 2002). O desenvolvimento de um controlador *Fuzzy* contém três etapas: codificação ou fuzzificação, inferência e decodificação ou defuzzificação. Cada etapa, seguindo o modelo Mamdani está demonstrado na figura 3.

Figura 3 – Sistema básico da Lógica *Fuzzy*



Fonte: Adaptado de Melo (2009).

A interface de fuzzificação modifica e converte entradas em valores linguísticos adequados para que possa ser comparada às regras na base de regras. A base de regras mantém o conhecimento sob a forma de um conjunto de regras, onde o

mecanismo de inferência avalia quais regras são relevantes no momento atual e depois decide qual deve ser o resultado. A interface de defuzzificação converte as conclusões alcançadas pelo mecanismo de inferência em uma saída precisa (KAMBOJ; KAUR, 2013).

#### 2.4.1 Controlador Mamdani

Este controlador tem como base o trabalho pioneiro de Assilian e Mamdani, publicado em 1973. No algoritmo *Fuzzy* do controlador, cada regra é uma proposição condicional *fuzzy*, considerando que diferentes relações *Fuzzy* em  $U \times V \times W$  podem ser derivadas.

A implementação de cada regra é feita mediante a definição de operadores para o processamento do antecedente da regra e da função de implicação que irá definir o seu consequente. A ação do controlador *fuzzy* é definida pela agregação das  $n$  regras  $R_i$  que compõem o algoritmo, mediante o uso do conectivo “também”, o qual pode ser implementado por diferentes operadores. Esta agregação resulta no conjunto *fuzzy*  $C$ , o qual define a saída do controlador  $C$ . A saída efetiva do controlador é então obtida por meio de um processo de defuzzificação aplicado ao conjunto  $C$  (ANDRADE; JACQUES, 2008).

Mamdani propõe uma relação *Fuzzy* binária  $M$  entre  $x$  e  $u$  para modelar matematicamente a base de regras. Conforme Costa (2017), o método de Mamdani é baseado na regra de composição de inferência max-min conforme o procedimento:

- Em cada regra  $R_j$ , da base de regras *fuzzy*, a condicional "se  $x$  é  $A_j$  então  $u$  é  $B_j$ " é modelada pela aplicação  $\wedge$  (mínimo) que, erroneamente, costuma ser denominada por implicação de Mamdani ( $\wedge$  não é uma implicação *fuzzy* pois não preserva a tabela de uma implicação clássica);
- Adota-se a t-norma  $\wedge$  (mínimo) para o conectivo lógico "e";
- Para o conectivo lógico "ou" adota-se a t-conorma  $\_$  (máximo) que conecta as regras *fuzzy* das bases de regras.

As diferentes possibilidades para a implementação dos conectores das regras, das funções de implicação e do processo de defuzzificação são amplamente discutidas na literatura em diversas aplicações. O impacto da adoção de algumas dessas possibilidades e da definição dos conjuntos *Fuzzy* associados às variáveis de entrada

do controlador semafórico *Fuzzy* foram objeto de pesquisas anteriores (King e Mamdani (1977), Mamdani, Ostergaard e Lembessis (1983), Jacques et al., 2002a 2002b, 2002c, 2003; Sellitto 2002 e Soares, 2018). A modelagem do sistema especialista *Fuzzy* será vista nas seções 3.4.3 e 4.2.

## 2. 5 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Nesta sessão, é apresentada a análise bibliométrica do estudo, onde se obteve auxílio do Software VOSviewer. Para isto, foram selecionadas quatro bases de artigos internacionais e uma nacional, sendo elas: *Emerald Insigh*, *Science Direct*, *Scielo*, *Scopus* e *Web of Science*.

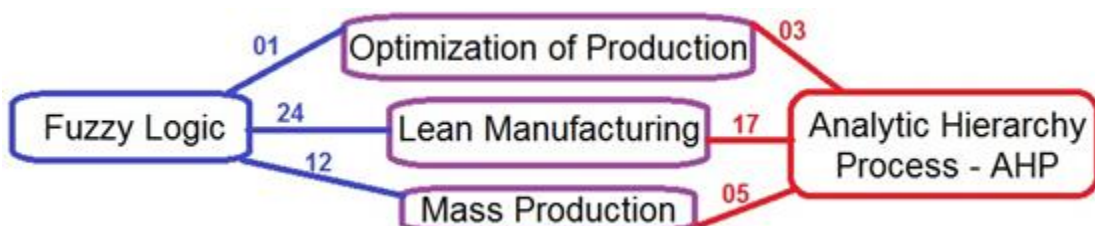
A busca dos artigos nas bases selecionadas foi realizada por meio da combinação de palavras-chave, conforme ilustra a figura 4.

Foram utilizados os seguintes critérios para delimitar a pesquisa:

- O período da pesquisa foi dentre o ano de 2008 a 2018;
- Os artigos foram selecionados de acordo com a sua relevância dentro da base;
- As palavras-chave foram pesquisadas no “resumo” ou “*abstract*” de cada artigo;
- Todas as palavras-chave foram pesquisadas em inglês e português;
- Além de ser adotado o mesmo procedimento de pesquisa em todas as bases pesquisadas.

A figura 4 demonstra o resultado do número de artigos publicado, obtido após a aplicação das palavras-chave nas bases de artigos utilizadas, totalizando 62 artigos selecionados.

Figura 4 – Quantidade de artigos analisados





O maior número de artigos está relacionado a Lógica Fuzzy (*Fuzzy Logic*), onde há 37 artigos, ou seja, mais de 50% do total de artigos. Os artigos também estão relacionados, em sua maioria, ao tema Fabricação Enxuta (Lean Manufacturing), sendo que 41 dos 62 artigos encontrados tratam deste assunto.

É importante salientar que, 621 autores publicaram artigos que abordam o tema desta dissertação. Os autores que mais publicaram artigos referente ao reconhecimento contábil do capital intelectual foram Vinodh S., com 11 artigos, seguida, Vimal K. E. K. com 3 artigos publicados. Robledo C., Alhuraish I., Agrawal R., Abdollahi Mohammad, Cenys A., Goranin N e Siaudinyte L. publicaram 2 artigos cada. Os demais publicaram 1 artigos cada autor.

Em relação às publicações de Vinodh S, o ano com o maior número de publicações foi 2011, com 4 das 11 publicações. O referido autor publicou em 7 periódicos diferentes sendo o *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* o periódico com maior número de publicações, com 3 publicações. Seguindo do *Benchmarking: Na International Journal* e *Journal of Manufacturing Technology Management* com 2 artigos publicados em cada.

A tabela 1 apresenta os periódicos com maior número de publicação dentro do período proposto, conforme a pesquisa realizada nas bases Emerald Insight, Science Direct, Bielefeld Academic Search Engine – BASE, Scielo, Scopus e Web of Science, onde estão relacionados os periódicos que possuem 2 ou mais artigos publicados dentro dos critérios de pesquisa propostos neste trabalho.

Tabela 1 – Periódicos com maior número de publicação de 2008 a 2018

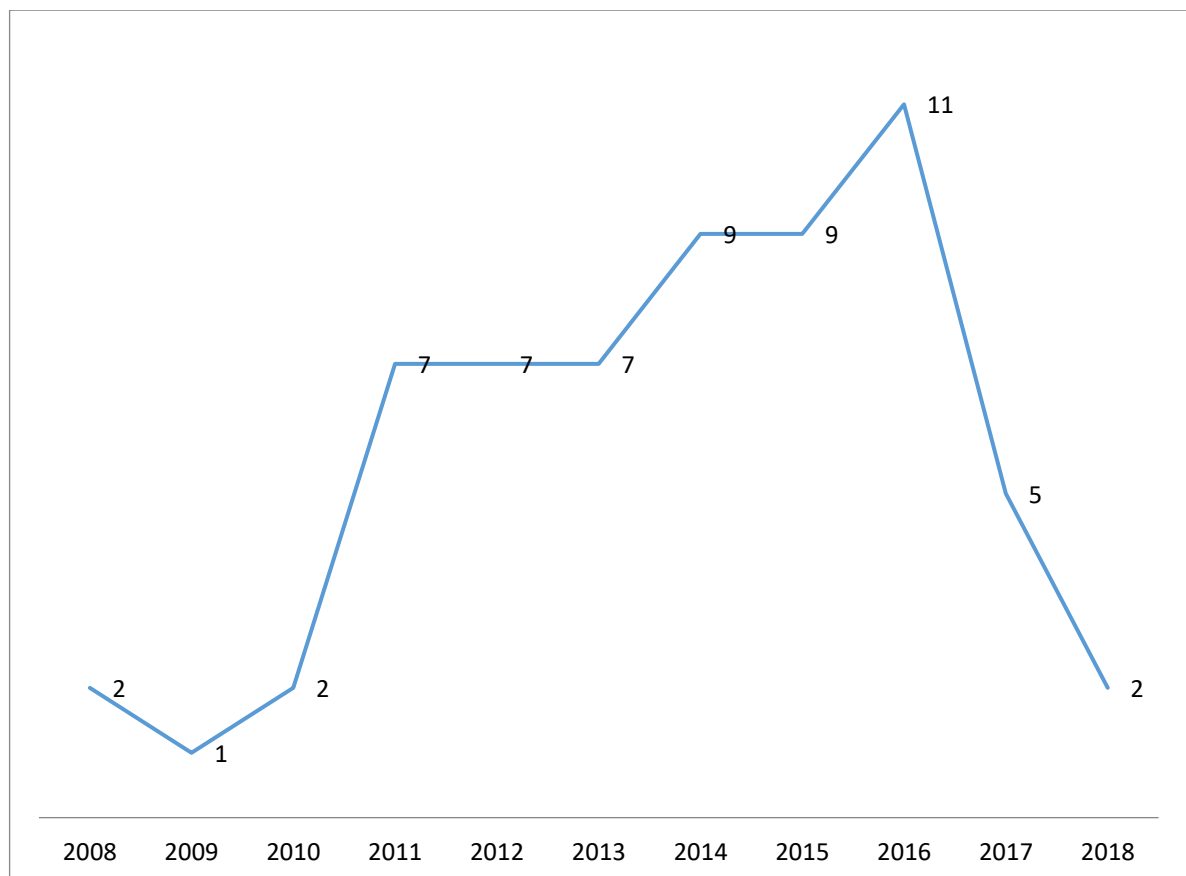
Periódico	Nº De Publicações
International Journal Of Advanced Manufacturing Technology	7
Benchmarking: An International Journal	3
Expert Systems With Applications	3
Journal Of Cleaner Production	3
Journal Of Manufacturing Technology Management	3
Engineering Science And Technology, An International Journal	2
IFAC – Papers Online	2
International Journal Of Computer Integrated Manufacturing	2
International Journal Of Production Research	2

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Dentre os 62 artigos selecionados, 7 dos artigos encontram-se no *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, seguido de *Benchmarking: An International Journal*, *Expert Systems With Applications*, *Journal Of Cleaner Production* e *Journal Of Manufacturing Technology Management* com 3 artigos publicados cada periódico.

Entre 2008 e 2018 as pesquisas relacionadas ao tema em questão têm diminuído nos últimos dois anos, como apresenta o gráfico 1. O ano com o maior número de publicações foi o ano de 2016 com 11 artigos, seguido dos anos de 2014 e 2015 (9 artigos) e 2011, 2012 e 2013 (7 artigos). O ano de 2009 apresentou o menor número de artigos publicados, apenas 1. No ano de 2018, foram publicados 2 artigos, no entanto, é importante esclarecer que este estudo está sendo realizado em abril de 2018, portanto, ainda há possibilidade deste número aumentar.

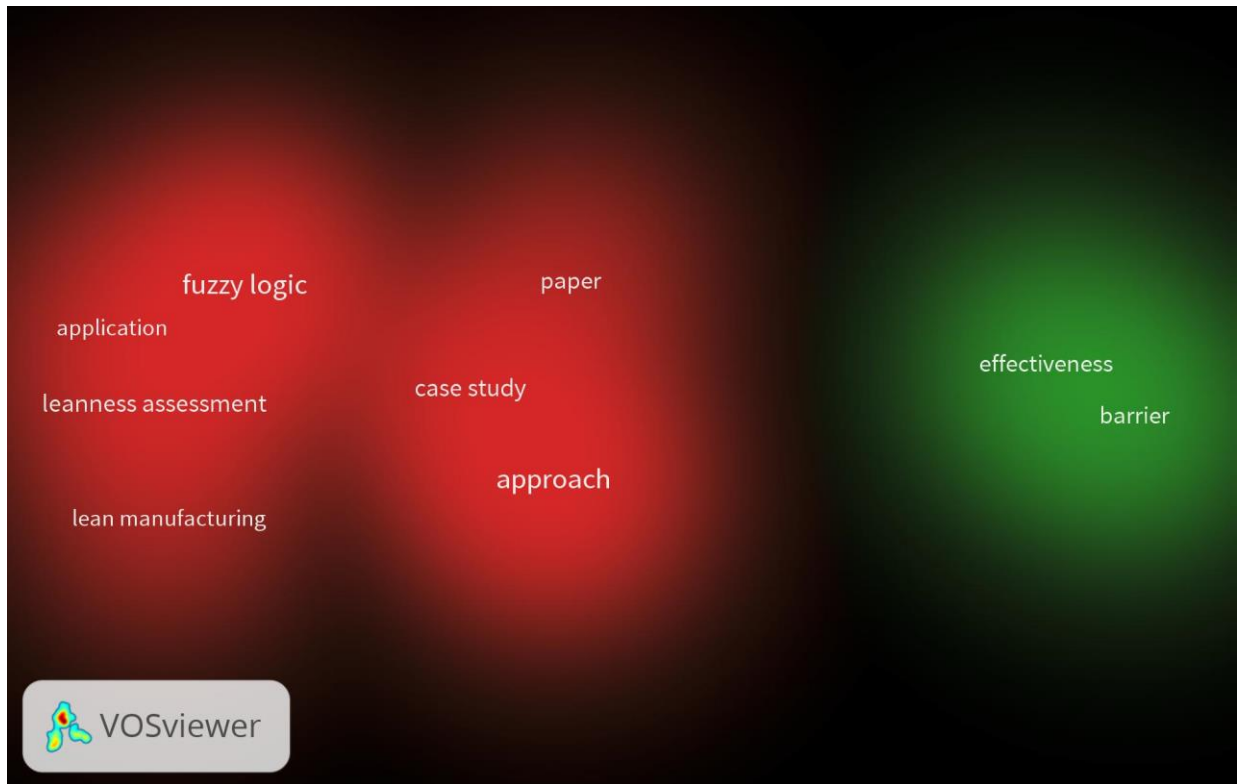
Gráfico 1 – Quantidade de artigos publicados por ano



Fonte: Elaborado pelo autor/18.

A maioria dos artigos apresentou estudos relacionados a fabricação enxuta. A figura 5 indica os termos técnicos relacionados ao tema deste estudo, os quais se destacaram nos artigos científicos analisados.

Figura 5 – Principais termos utilizados



Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Conforme a figura 5, os termos mais utilizados nos artigos científicos foram *fuzzy logic*, *leanness assessment* e *case study*. É importante esclarecer que, todos os termos que aparecem na figura 4 apareceram no mínimo 10 vezes dentro do *Abstract* dos artigos analisados.

### 3 METODOLOGIA

Esta sessão apresenta a aplicação dos métodos. Além disso, são detalhadas as características da empresa em estudo, os passos para aquisição das informações na linha de produção, modelagem do método AHP para identificação das variáveis que impactam na qualidade e método de entrada e saída para inferência *Fuzzy* utilizando o controlador Mamdani.

#### 3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

A metodologia aplicada na presente dissertação, sua abrangência, a escolha dos casos, a unidade de análise, a delimitação do tema e as técnicas de análise, corroborando com o tema e o respectivo objetivo geral e específico.

O quadro 9 apresenta o enquadramento metodológico da pesquisa.

Quadro 9 – Enquadramento Metodológico

CLASSIFICAÇÃO	ENQUADRAMENTO
Natureza	Aplicada
Método científico	Indutivo
Abordagem	Quantitativa
	Qualitativa
Objetivos	Exploratória
	Descritiva
Procedimentos técnicos	Bibliográfica
	Pesquisa-ação

.Fonte: Elaborado pelo autor/2018.

Os processos produtivos foram observados em uma microempresa industrial da região central do estado do Rio Grande do Sul. A finalidade da observação se dá ao objetivo de adquirir as informações necessárias, aplicar o modelo proposto e testar a eficácia da ferramenta junto ao potencial de geração de melhorias.

Na busca pela agilidade, redução de custos e investimentos na pesquisa, a modelagem do sistema e testes de aplicação foram desenvolvidos com apoio de uma planilha eletrônica e o uso do software MATLAB®.

## 3.2 DESCRIÇÃO DE CENÁRIO

O cenário atual da economia brasileira tem transformado a estrutura da indústria moderna. O modelo de gestão tem evoluído e as organizações têm buscado acompanhar esse crescimento, introduzindo novas formas de gerenciamento e aperfeiçoando seus processos, perseguindo, dessa forma, um posicionamento estratégico e a minimização dos custos operacionais (MIRANDA et al., 2017). Diante desse cenário de incertezas é imprescindível que as MPEs compreendam o atual momento do mercado nacional, que pode ser considerado uma oportunidade para os pequenos negócios. Com isso, a empresa tem possibilidade de identificar tendências que possam subsidiar oportunidades e novos negócios ao setor.

### 3.2.1 Caracterização da empresa

Foi selecionada uma empresa industrial de produção seriada localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul, no qual o empresário assinou o termo de participação para avaliação do modelo e aceita realizar os testes necessários para o sucesso do trabalho, conforme anexo A.

Com nome fantasia de TABA Calçados, a empresa Tadiano Carloto Viero e Cia Ltda – ME foi fundada em 2008 na cidade de Nova Esperança do Sul/RS. Iniciou suas atividades voltadas para a fabricação de calçados de couro, atuando como prestadora de serviços de costura e montagem para uma grande empresa de calçados, com matriz no Vale dos Sinos. Atual produção 34 mil pares/mês, a TABA produz uma gama de 15 produtos, sob encomenda da contratante. Por determinação do gestor, o modelo escolhido para o estudo foi a sapatilha referência 5094, mapeada nos setores de preparação, costura e montagem do cabedal e forro.

A estrutura de recursos humanos (RH) é enxuta, dedicando praticamente todo seu corpo de pessoas para a linha de produção. O proprietário atua como gerente geral, absorvendo os cargos de administrativo e produção e o restante dos 28 funcionários estão diretamente ligados à esteira produtiva.

A TABA Calçados se enquadra no perfil das MPEs normalmente vistas no restante do país, aliado a isso, o gestor está à procura de melhorias e disposto a agregar conhecimento, fazendo com que a otimização da linha seja uma alternativa para aumento da margem de lucro. Com isso, se justifica a escolha da empresa como

um caso de estudo para este trabalho, unindo o perfil organizacional, a necessidade de melhorias e a disposição do gestor na aplicação da ferramenta.

### 3.3 FORMULAÇÃO DA FERRAMENTA

Apoiado na literatura, os elementos auxiliaram no desenvolvimento de uma ferramenta com a participação de diversos autores. Além disso, houve iniciativas para reduzir as deficiências de gestão relatadas dentro das MPEs. Logo, os incrementos realizados transformaram métodos complexos para a realidade das MPEs brasileiras.

#### 3.3.1 Aquisição de Informações da Linha

A primeira etapa contou com a aquisição inicial das informações, a saber: cronometragem dos processos, visualização da distribuição dos operadores, medição de capacidade, eficiência, custo MOD por operador e da planta. Com isso, favoreceu a geração de ações para melhorias e encaminhamento ao método AHP e o conjunto *Fuzzy*.

A primeira etapa do sistema seguiu o esquema que está representado na figura 6.

Figura 6 – Esquema para coleta de informações da linha

(continua)

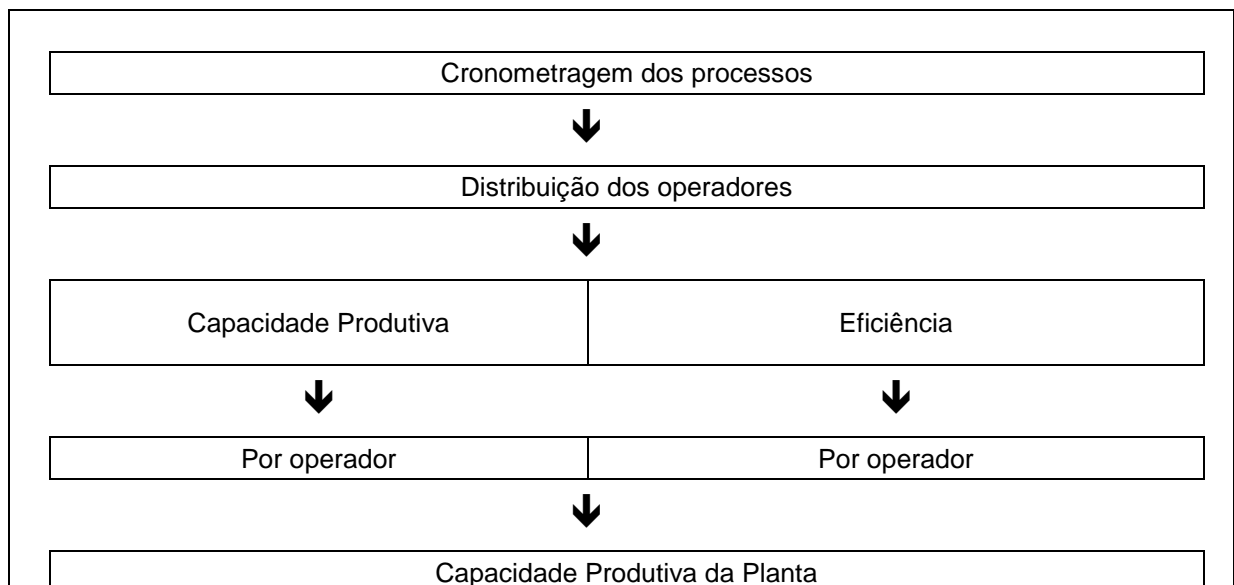
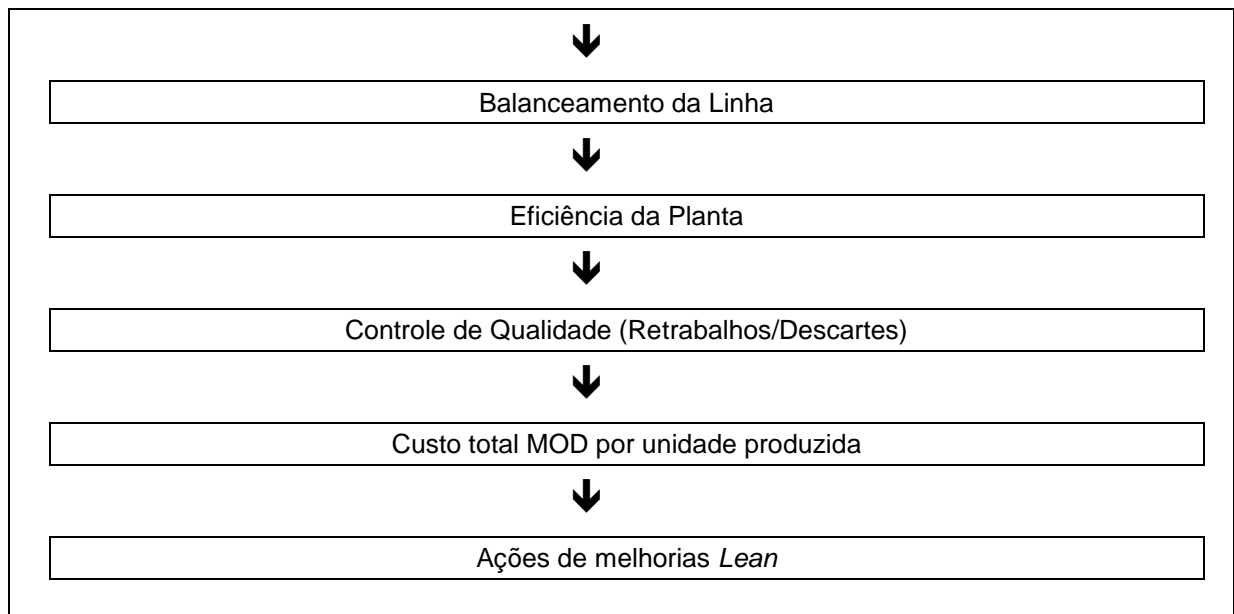


Figura 6 – Esquema para coleta de informações da linha

(conclusão)



Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Os processos de produção foram monitorados utilizando um cronômetro sexagesimal, onde foi possível mensurar a distribuição inicial dos operadores necessários. O acompanhamento da capacidade e o índice de eficiência por operador foi calculado juntamente com o indicador de capacidade total da planta e o índice de eficiência global.

O indicador de eficiência de cada operador também apresenta relevância. O controle do tempo de ciclo de cada operador foi utilizado como utensílio para ajustar o balanceamento da linha, otimizando as operações distribuídas em cada operador.

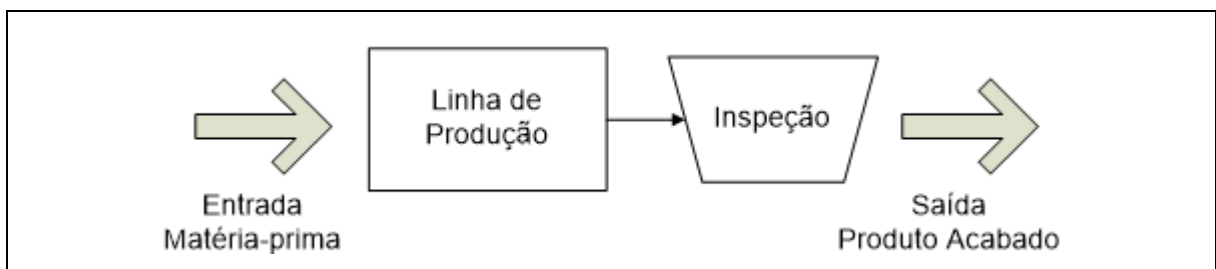
A estrutura geral dos indicadores auxiliou na formulação do custo de mão de obra, no qual foi utilizado como balizador de rentabilidade da empresa pelo gestor. O tempo das paradas de produção não programadas foi calculado baseado índice de improdutividade da empresa, utilizando a média de produção mensal dos últimos 12 meses em relação a atual capacidade efetiva.

A verificação de qualidade foi adquirida com uso de cartas controle ao final da esteira com a inspeção de todas as unidades produzidas no turno, com a finalidade de identificar produtos não conformes. A avaliação da qualidade se expressa em percentual sobre o lote produzido no turno, divididos em produtos conformes e não conformes conforme fórmula 13.

$$Qualidade = \frac{Quantidade\ Refugada + Quantidade\ Retrabalhada}{Quantidade\ Produzida} \quad (13)$$

O mapeamento de não conformidades está ilustrado na figura 7.

Figura 7 – Inspeção de qualidade



Fonte: elaborado pelo autor/2018.

É importante salientar que o inspetor ao final da linha possuía habilidade de identificar qual estação de trabalho causou a não conformidade. Com isso, a classificação de refugos ou retrabalhos se tornou precisa no que diz respeito ao processo gerador de defeitos.

### 3.3.1.1 Custo de Mão de Obra (MOD)

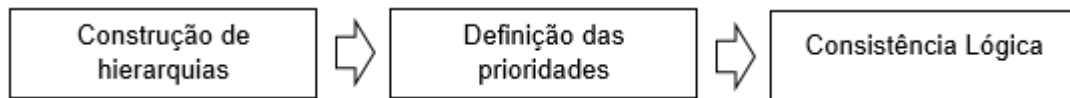
A empresa forneceu os valores salariais pagos aos operadores, já acrescentados os encargos sociais recolhidos e provisionados para o cálculo da MOD. O salário médio mensal por funcionário somou R\$ 1.545,48. Baseado no cálculo das horas produtivas da empresa, indicando 158,86 horas/mês, o custo hora e minuto do operador, somou respectivamente, R\$ 9,73 e R\$ 0,16. Este valor foi utilizado para apuração do indicador MOD no estudo.

### 3.3.2 Método AHP

Se respeitaram os três pensamentos de raciocínio apresentados por Babic (1998) para modelagem do método AHP, além dos passos de implementação propostos por Clemen (1995) e Hammond, Keeney e Raiffa (2004).



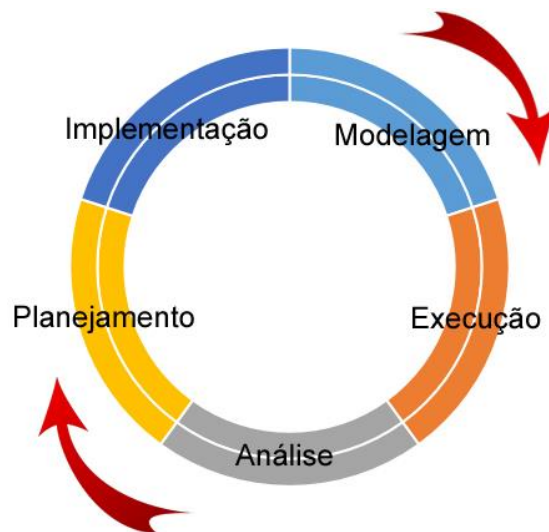
Figura 8 – Passos de Raciocínio AHP



Fonte: elaborado pelo autor/18.

A aplicação do método AHP na priorização das alternativas para a integração das variáveis de entrada para fuzzificação se utilizou a proposta de Marins (2007). A figura 9 demonstra as etapas do processo de avaliação das alternativas para os critérios de avaliação propostas.

Figura 9 – Etapas do Processo



Fonte: Elaborado pelo autor/18.

As etapas indicam um fluxo para que a formulação das ideias tenha maior consistência. Composta por cinco fases de desenvolvimento, as etapas guiam os envolvidos na modelagem do método, a fim de priorizar os critérios definidos durante o estudo, são elas:

**Modelagem:** nesta etapa foram definidos os elementos e os procedimentos que deverão compor o modelo de hierarquização das alternativas de integração das variáveis que influenciam na qualidade final do produto na empresa.

Execução: foram construídas as matrizes de comparação das alternativas e critérios. Foi calculada a razão de consistência das matrizes, além da construção dos vetores de prioridade global. Nesta etapa se avaliou se as alternativas por meio de combinações binárias (de pares) para cada um dos critérios estabelecidos e foram expressas as preferências atribuindo um valor numérico a cada comparação utilizando a escala de Saaty. Com base nas decisões binárias feitas pelo tomador de decisão se construiu uma matriz de comparação por pares para cada critério ou subcritério estabelecido.

Análise: esta etapa consistiu na análise das informações coletadas e dos resultados dos procedimentos de agregação e de classificação. Através do vetor de prioridade global e do desempenho das alternativas à luz dos critérios de avaliação, foi definida a hierarquia das alternativas da melhor para pior. Também foi analisada a consistência do método.

Planejamento: com base no resultado obtido na etapa anterior, foi definido o planejamento do processo de implementação da integralização das variáveis da empresa. O resultado foi repassado para o gestor que definiu como ocorreu o processo de integralização no *Fuzzy*.

Implementação: esta etapa consistiu na implementação das ações corretivas conforme estabelecidas na etapa anterior. Assim, foi programada a implementação das variáveis de fuzzificação com o conjunto Mamdani.

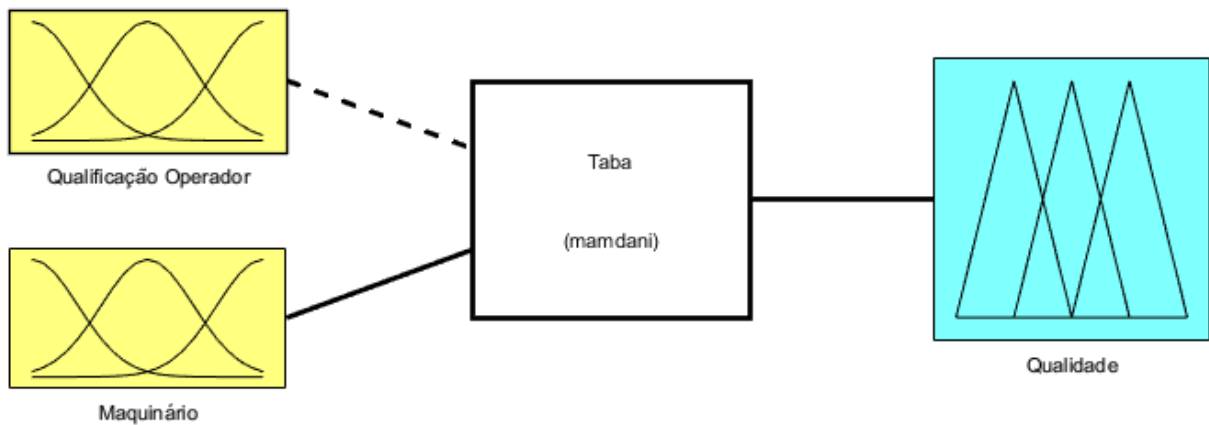
O Método AHP priorizará 2 critérios, como também utilizado por Perissinotto et al. (2009) e Checchin et al. (2016), que serão utilizados como variáveis de entrada na abordagem *Fuzzy*.

### **3.3.3 Abordagem *Fuzzy***

Os critérios definidos pelo método AHP foram utilizados para a modelagem do sistema especialista, baseado em lógica *Fuzzy*. Para isso, se fez uso do software MATLAB®, no módulo *Fuzzy Logic Toolbox* e função de pertinência triangular. A construção da estrutura básica do sistema baseado em regras *fuzzy* seguiu as recomendações de Amendola et al. (2005), os quais sugerem a inclusão de quatro componentes principais: um fuzzificador, uma base de conhecimento, um método de inferência e um defuzzificador.

As informações obtidas na etapa de coleta das informações foram organizadas e classificadas em termos linguísticos. As variáveis de entrada do modelo foram definidas pelo método AHP e a variável de saída, qualidade (retrabalhos/descartes), como ilustra a figura 10.

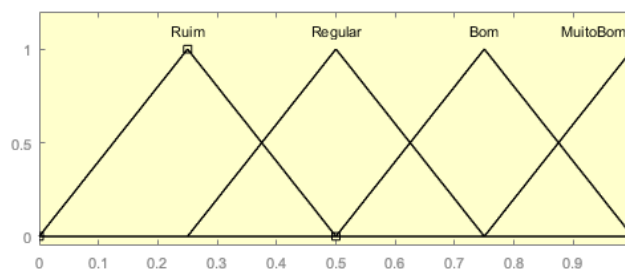
Figura 10 – Variáveis *Fuzzy*



Fonte: Elaborado pelo autor/2018.

Os domínios de intervalo das variáveis, base de conhecimento do Mamdani foram determinadas em comum acordo com o gestor da empresa durante as visitas na empresa. O modelo da construção dos conjuntos Fuzzy contém três caracterizações linguísticas em que foram consideradas em classificações relativas ao estado proporcionado pelo sistema de produção em: ruim, regular, bom e muito bom, de acordo com as faixas definidas em 0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1, conforme ilustra figura 11.

Figura 11 – Funções Triangulares



Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Os resultados da defuzzificação foram calculados com a aplicação do método do centro de gravidade, também utilizado por Sellitto (2002) e Perissinotto et al. (2009). A abordagem *Fuzzy* permitiu criar um ponto de equilíbrio da produção indicando qual os menores níveis de produção (variáveis de entrada) são necessários para se manter um nível de qualidade/retrabalhos aceitável pelo gestor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões proporcionados com a aplicação da ferramenta. Em particular, são detalhados os métodos de aquisição das informações da linha de produção, desenvolvimento do método AHP e formulação do sistema especialista baseado em Lógica *Fuzzy*.

### 4.1 AQUISIÇÃO DAS INFORMAÇÕES NA LINHA DE PRODUÇÃO

Os passos metodológicos apresentados no item 3.4.1 foram aplicados para se adquirir as informações iniciais sobre a linha de produção na TABA Calçados, onde se obteve o panorama geral sobre os indicadores de produção. O produto acompanhado trata-se de uma sapatilha feminina referência 5094, conforme apresentada no quadro 10.

Quadro 10 – Detalhes da Sapatilha 5094

Detalhes	Descrição
Foto	
Cabelal	Produzida em camurça flex, com detalhe frontal de laço em tecido com acabamento em napa sintética e com bico redondo.
Palmilha	Espuma forrada em tecido.
Forro	Espuma forrada em tecido.
Solado	Borracha
Peso	115g
Fabricação	100% Nacional

Fonte: Taba Calçados/18.

A tabela 2 apresenta as primeiras informações produtivas coletadas na esteira. Sendo assim, contém informações sobre o número de operações, nome da operação, tipo de equipamento, tempo, operadores por processo, eficiência, custo MOD, capacidade e qualidade.

Tabela 2 – Informações da Linha de Produção Antes

Nº	Operação	Equip.	Tempo	RH	Eficiência	MOD	Capac.	Qualidade
1	Abastecimento	Manual	0,095	1	53,17%	R\$0,03	380	
2	Cola Forro	Manual	0,245	2	68,92%	R\$0,07	293	
3	Prensa Forro	PR1	0,160	1	90,02%	R\$0,04	224	
4	Cola Fita	Manual	0,165	1	92,83%	R\$0,04	212	
5	Unir Fita	Manual	0,175	1	98,46%	R\$0,05	202	0,50%
6	Prensa Fita	PR2	0,155	1	87,21%	R\$0,04	232	
7	Costura Forro	COS1	0,110	1	61,89%	R\$0,03	326	
8	Costura Luva	COS2	0,155	1	87,21%	R\$0,04	232	
9	Colar Fita Traseiro	PR3	0,150	1	84,39%	R\$0,04	239	0,99%
10	Costurar Orelha	COS3	0,155	1	87,21%	R\$0,04	232	
11	Costura Forro Aveso	COS4;5	0,240	2	67,52%	R\$0,06	299	
12	Virador	EQ1	0,115	1	64,70%	R\$0,03	312	
13	Passar Cola	Pistola	0,255	2	71,73%	R\$0,07	282	
14	Unir e Virar Luva	Manual	0,670	4	94,24%	R\$0,18	215	1,98%
15	Prensa	PR4	0,060	1	33,76%	R\$0,02	598	
16	Aveso Dobrado	PR5	0,177	1	99,40%	R\$0,05	203	2,97%
17	Costura Montagem	COS6	0,135	1	75,95%	R\$0,04	266	
			5,36	23	78,67%	R\$0,87		6,44%

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

A produção de pares do modelo Ref. 5094 é de 202 pares/hora e conta com 17 processos de estrutura, para atingir essa produção, a empresa conta com 23 funcionários operando com eficiência média de 78,67% e níveis de retrabalho em 6,44%. Quando calculado o custo por tempo individual de cada operador, os processos acumulam o valor de MOD de R\$ 0,87/par, porém em sistemas em série, o operador mais lento é o que define quantas unidades são produzidas no período, portanto, o custo real de produção do Ref. 5094 é de R\$ 1,11/par, mais o custo dos retrabalhos que somam R\$ 0,09, totalizando em R\$ 1,20/par conforme demonstrado no quadro 11.

Quadro 11 – Custo real do Ref. 5094

Nº Operadores	23 operadores
Custo Hora por Operador	R\$ 9,73
Produção Hora	202 unidades
Custo Retrabalho	R\$ 0,09 por par
Custo Unidade Produzida	R\$ 1,20

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Como descritos na coluna Equipamentos, 70% das operações cronometradas requerem um equipamento para o processamento, onde 50% dos retrabalhos são ocasionados nestas operações. Com isso, se reforça a manutenção preventiva e regular no maquinário, a fim de evitar deficiências.

Cada operador tem um nível de qualificação e cada equipamento de processamento tem um nível de confiabilidade no qual pode ser verificado no quadro 12.

Quadro 12 – Nível de qualificação do operador e confiabilidade das máquinas

Nº	Operação	Qualificação Operador	Equip.	Confiabilidade
1	Abastecimento	Muito Bom	Manual	-
2	Cola Forro	Muito Bom	Manual	-
3	Prensa Forro	Bom	PR1	Muito bom
4	Cola Fita	Muito Bom	Manual	-
5	Unir Fita	Muito Bom	Manual	-
6	Prensa Fita	Muito Bom	PR2	Bom
7	Costura Forro	Muito Bom	COS1	Bom
8	Costura Luva	Muito Bom	COS2	Bom
9	Colar Fita Traseiro	Muito Bom	PR3	Regular
10	Costurar Orelha	Muito Bom	COS3	Regular
11	Costura Forro Aveso	Muito Bom	COS4;5	Bom
12	Virador	Muito Bom	EQ1	Muito bom
13	Passar Cola	Regular	Pistola	Bom
14	Unir e Virar Luva	Ruim	Manual	-
15	Prensa	Regular	PR4	Ruim
16	Aveso Dobrado	Regular	PR5	Bom
17	Costura Montagem	Muito Bom	COS6	Bom

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

As informações adquiridas sobre os operadores da linha e os equipamentos de processamento serviram como base para a validação das regras programadas no MATLAB®. Alguns postos de trabalho são ocupados por operadores sem experiência, esta situação, somada a confiabilidade do equipamento resultam em um número maior de retrabalhos gerados.

Foram realizadas três medições de cada processo, a fim de ter informações com maior nível de confiança, os tempos (T) podem ser visualizadas na tabela 3.

Tabela 3 – Estatística das informações Antes

<b>Operações</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Variabilidade Amostral</b>
Abastecimento	0,0975	0,096	0,09	0,095	0,0040	0,23%
Cola Forro	0,25	0,24	0,245	0,245	0,0050	0,29%
Prensa Forro	0,165	0,155	0,16	0,160	0,0050	0,29%
Cola Fita	0,165	0,16	0,17	0,165	0,0050	0,29%
Unir Fita	0,175	0,17	0,18	0,175	0,0050	0,29%
Prensa Fita	0,165	0,15	0,15	0,155	0,0087	0,50%
Costura Forro	0,12	0,11	0,1	0,110	0,0100	0,58%
Costura Luva	0,15	0,16	0,155	0,155	0,0050	0,29%
Colar Fita Traseiro	0,14	0,15	0,16	0,150	0,0100	0,58%
Costurar Orelha	0,155	0,16	0,15	0,155	0,0050	0,29%
Costura Forro Averso	0,229	0,22	0,27	0,240	0,0267	1,54%
Virador	0,115	0,115	0,115	0,115	0,0000	0,00%
Passar Cola	0,25	0,255	0,26	0,255	0,0050	0,29%
Unir e Virar Luva	0,67	0,69	0,65	0,670	0,0200	1,15%
Prensa	0,06	0,06	0,06	0,060	0,0000	0,00%
Averso Dobrado	0,18	0,17	0,18	0,177	0,0058	0,33%
Costura Montagem	0,135	0,13	0,14	0,135	0,0050	0,29%
Média						0,42%

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

A tabela 3 apresenta as medições, bem como a média na qual foi utilizada no trabalho, o desvio padrão e variabilidade, que apresentou média de 0,42% com pico em 1,54%.



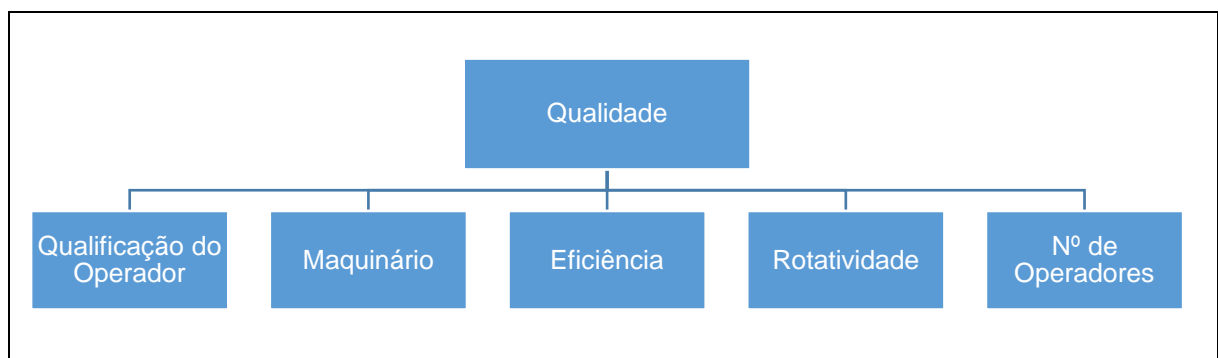
## 4.2 MODELAGEM AHP

Nesta seção, estão demonstrados os passos percorridos para a modelagem do método AHP e posteriormente, fornecer os subsídios da escolha dos critérios para entrada no controlador *Fuzzy*.

### 4.2.1 Construção de Hierarquias

Após contatos com o gestor entre as visitas realizadas na empresa e a aquisição das informações da linha produtiva, se identificaram os principais indicadores de desempenho que tem capacidade de influenciar na qualidade final do produto. Os indicadores a serem utilizados na priorização foram definidos em comum acordo com o gestor. Logo, foram selecionados e classificados 5 critérios definidos como os principais. Segundo o gestor, no papel de tomador de decisão, esses critérios são suficientes para determinar a influência na interferência na geração de retrabalhos/qualidade. Na figura 12 é apresentado um diagrama com a hierarquia aplicada no modelo.

Figura 12 - Hierarquia do Modelo



Fonte: Elaborado pelo autor/18.

- a) Qualificação do Operador: expressa a expertise do funcionário para desempenhar a função exercida. O critério, conforme o gestor, pode ser quantificado pelo tempo que o operador trabalha no processo, no qual, quanto maior tempo, observa-se que ele tenha maior qualificação em seu

posto de trabalho. Este indicador pode ser otimizado com o treinamento *in loco*, a fim de melhorar as habilidades do operador para o processo.

- b) Maquinário: representa o nível de confiabilidade do equipamento em processar determinado produto com agilidade e qualidade sem falhas. Equipamentos antigos e/ou desregulados obtêm maior potencial na geração de retrabalhos. A função de confiabilidade foi apurada pelo índice *Mean Time Between Failures* (MTBF) juntamente com a experiência do gestor (KULLSTAM, 1981).
- c) Eficiência: demonstra quão eficiente o operador é em seu posto de trabalho e é quantificada em percentual, conforme cálculo proposto por Peinado e Graeml (2007) demonstrada na fórmula 5 da seção 2.2.2 deste trabalho.
- d) Rotatividade: indica o percentual de rotatividade na equipe da empresa. Alto grau de rotatividade representa novos operadores entre os postos de trabalho (BOHLANDER, 2005).
- e) Número de Operadores: representa o número de operadores necessários para produção de um determinado produto.

O quadro 13 classifica o critério conforme seu tipo, ou seja, qual a influência do indicador sendo maior ou menor.

Quadro 13 – Classificação dos critérios

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Forma de Obtenção</b>	<b>Tipo de Indicador</b>
Qualificação do Funcionário	Expertise do Operador	Tempo de serviço no posto de trabalho	Maior melhor
Maquinário	MTBF/ Condição da máquina	Cálculo do Índice e Avaliação do Gestor	Maior melhor
Eficiência	Operação x Ociosidade	Cálculo do Índice	Maior melhor
Rotatividade	Novos operadores	Cálculo do Índice	Menor melhor
Nº Operadores	Operadores necessários	Avaliação do Gestor	Maior melhor

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Após a definição dos critérios, foi iniciado o trabalho de estruturação de estabelecer as prioridades de cada critério conforme modelo proposto por Saaty (1990).

#### 4.2.2 Estabelecer Prioridades

Seguindo a estrutura proposta por Saaty (1990), são realizadas as comparações entre os pares para que seja possível a definição dos vetores de prioridade para cada critério. Neste passo o gestor teve participação decisiva, no qual foi selecionado como tomador de decisão para o problema.

Embora o modelo de Saaty (1990) proponha a criação de um grupo de especialistas para as avaliações pareadas, entende-se que o objetivo da ferramenta é a adaptação para a realidade das MPEs brasileiras. Portanto, é necessário centralizar os esforços e decisões somente no gestor, que representa na totalidade a administração da empresa.

As comparações pareadas foram tabuladas em planilha Excel. O tomador de decisão realizou as avaliações e foram calculados os vetores de prioridade para cada um dos critérios. Os resultados estão representados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Comparação entre os critérios

Itens	Qualificação	Maquinário	Eficiência	Rotatividade	Nº Operadores
Qualificação	1,00	3,00	5,00	9,00	5,00
Maquinário	0,33	1,00	5,00	3,00	3,00
Eficiência	0,20	0,20	1,00	3,00	1,00
Rotatividade	0,11	0,33	0,33	1,00	1,00
Nº Operadores	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00
Soma	1,84	4,87	12,33	17,00	11,00

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

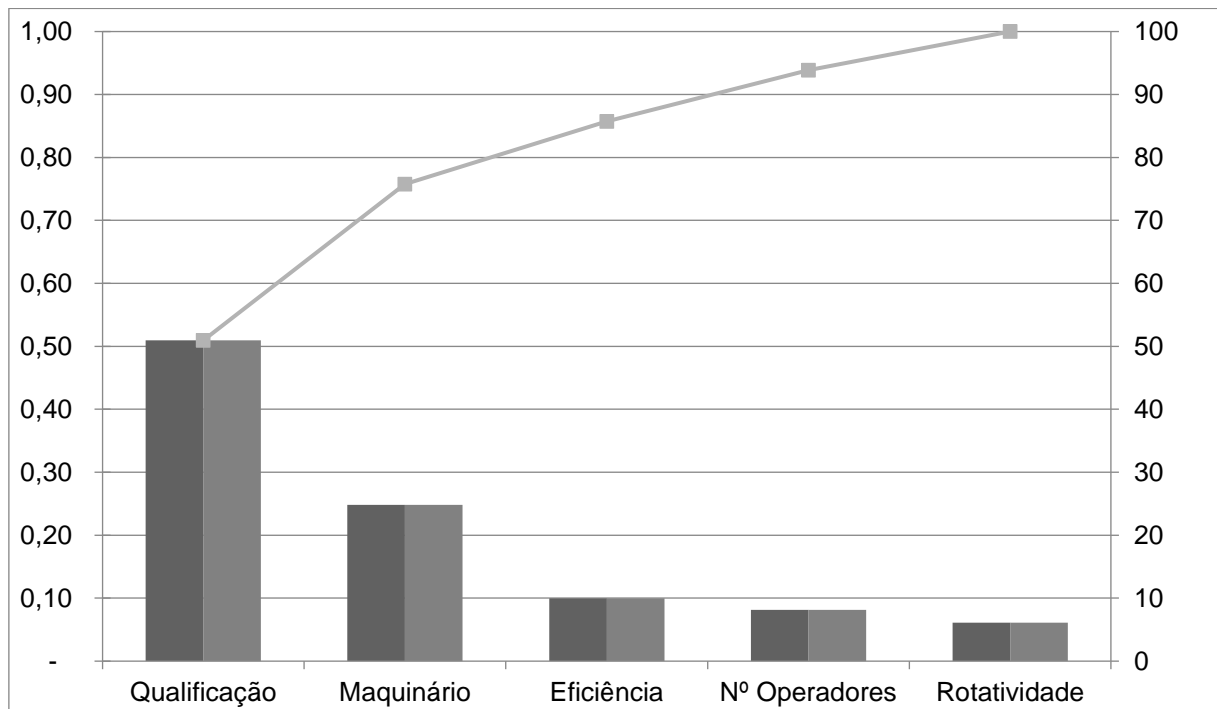
Tabela 5 – Matriz Normalizada e Vetor de Prioridade

Critérios	Qualificação	Maquinário	Eficiência	Rotatividade	Nº Operadores	Vetor de Prioridade
Qualificação	0,54	0,62	0,41	0,53	0,45	0,510
Maquinário	0,18	0,21	0,41	0,18	0,27	0,248
Eficiência	0,11	0,04	0,08	0,18	0,09	0,100
Rotatividade	0,06	0,07	0,03	0,06	0,09	0,061
Nº Operadores	0,11	0,07	0,08	0,06	0,09	0,082

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Conforme tabela 4, os critérios: qualificação do operador e maquinário obtiveram maior peso no cálculo utilizando o AHP, onde estão representados pelo Diagrama de Pareto no gráfico 2.

Gráfico 2 – Priorização dos Critérios



Fonte: Elaborado pelo autor/18.

De acordo com o tomador de decisão, os resultados dos pesos ficaram dentro do esperado. As informações traduziram o sentimento do tomador de decisão em relação à importância de cada critério na influência com a qualidade.

#### 4.2.3 Consistência Lógica

Nesta sessão, se apresenta o cálculo da razão de consistência para verificar a consistência das respostas atribuídas pelo tomador de decisão. Para isso, foi seguido o procedimento descrito no capítulo 2.3 deste trabalho. A consistência lógica encontrada para as respostas dadas pelo tomador de decisão são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 – Consistência Lógica

Índice	Valor
$\lambda_{máx}$	5,261
Índice de Consistência	0,065
Índice Randômico	1,120
Razão de Consistência	0,058

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

A Razão de Consistência do modelo foi calculada em 0,058, no qual, conforme indicado por Saaty (1991), considera aceitável, pois o valor se dá  $RC \leq 0,10$ .

O gestor foi orientado pelo pesquisador em cada comparação para observar as respostas dadas e atribuir os pesos. Com a definição dos cálculos de todos os vetores de prioridade e tendo a consistência das respostas do tomador de decisão verificada, as informações foram remetidas ao conjunto *Fuzzy*.

#### 4.3 ABORDAGEM FUZZY

A ideia do controle *Fuzzy* é modelar as ações a partir de conhecimento especialista, ao invés de, necessariamente, modelar o processo em si. Isso leva a uma abordagem diferente dos métodos convencionais de controle de processos, onde os mesmos são desenvolvidos via modelagem matemática dos processos de modo a derivar as ações de controle como função do estado do processo.

As variáveis de estado assumem valores *Fuzzy* cada, incorporando as tendências. O especialista define como variar as variáveis de controle nos casos possíveis de cada estratégia de controle. Por exemplo, imaginemos um caso onde, (Qualificação e Maquinário) = (Regular e Ruim). O especialista deve responder: o que pode ocorrer com a qualidade se qualificação do operador é regular e o maquinário está ruim? Soluções iniciais são oferecidas pelos casos selecionados e o especialista confirma ou modifica uma solução em alguma das variáveis. No caso exemplificado, o especialista poderá indicar as seguintes ações: realizar um treinamento no funcionário para o posto de trabalho e atualizar a manutenção do equipamento.

Seguindo o conceito de estrutura das MPEs, o gestor absorveu o papel de especialista na formulação das regras. O sistema parte segundo a estratégia associada de otimização das variáveis de entrada até atingir o valor desejado que não

afete a qualidade. A quantificação das variáveis indicou os pontos ideais para cada classe. A definição de cada variável e os valores admitidos para o domínio das variáveis são apresentados nos quadros 14 e 15.

Quadro 14 – Definição das variáveis

Variáveis de Entrada	Qualificação do Funcionário	Ruim	Funcionário com nenhuma experiência no processo (até 2 meses)
		Regular	Funcionário em aprendizagem no processo (2 a 6 meses)
		Bom	Funcionário com boa experiência no processo (6 meses a 1 ano)
		Muito Bom	Funcionário com muita experiência no processo (acima de 1 ano)
	Maquinário	Ruim	Baixo nível de confiabilidade, necessita de reparos e regulagem (abaixo de 0,20)
		Regular	Antigo, necessita de manutenção, porém com algum nível de confiabilidade (entre 0,20 e 0,50)
		Bom	Antigo, porém em boas condições de regulagem e manutenção (entre 0,50 e 0,70)
		Muito Bom	Equipamento novo, regulado e com alto nível de confiabilidade (acima de 0,70)
Variável de Saída	Qualidade	Ruim	Alto índice de retrabalho (acima de 5%)
		Regular	Médio nível de retrabalhos (3% - 5%)
		Bom	Nível aceitável de retrabalhos (1,5% - 3%)
		Muito Bom	Baixo índice de retrabalhos (abaixo de 1,5%)

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Quadro 15: Domínios de Intervalo das Variáveis

(continua)

Variáveis		Domínios de Intervalo	Caracterização Linguística
<b>Entrada</b>	Qualificação do Funcionário	0 - 0,25;	Ruim
		0,25 – 0,50;	Regular
		0,50 – 0,75;	Bom
		0,75 – 1;	Muito Bom
	Maquinário	0 - 0,25;	Ruim
		0,25 – 0,50;	Regular
		0,50 – 0,75;	Bom

Quadro 15: Domínios de Intervalo das Variáveis

(conclusão)

		0,75 – 1;	Muito Bom
Saída	Qualidade	0 - 0,25;	Ruim
		0,25 – 0,50;	Regular
		0,50 – 0,75;	Bom
		0,75 – 1;	Muito Bom

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

No quadro 16 são apresentados o bloco de regras, o qual foi gerado para base de casos possíveis, seguindo uma lógica de controle em situações formuladas com suporte da experiência do gestor. As funções de pertinência e combinações equitativas entre os quatro níveis de fuzzificação simulam diversas situações ocasionais no dia a dia da empresa.

Quadro 16 – Base de Casos Possíveis

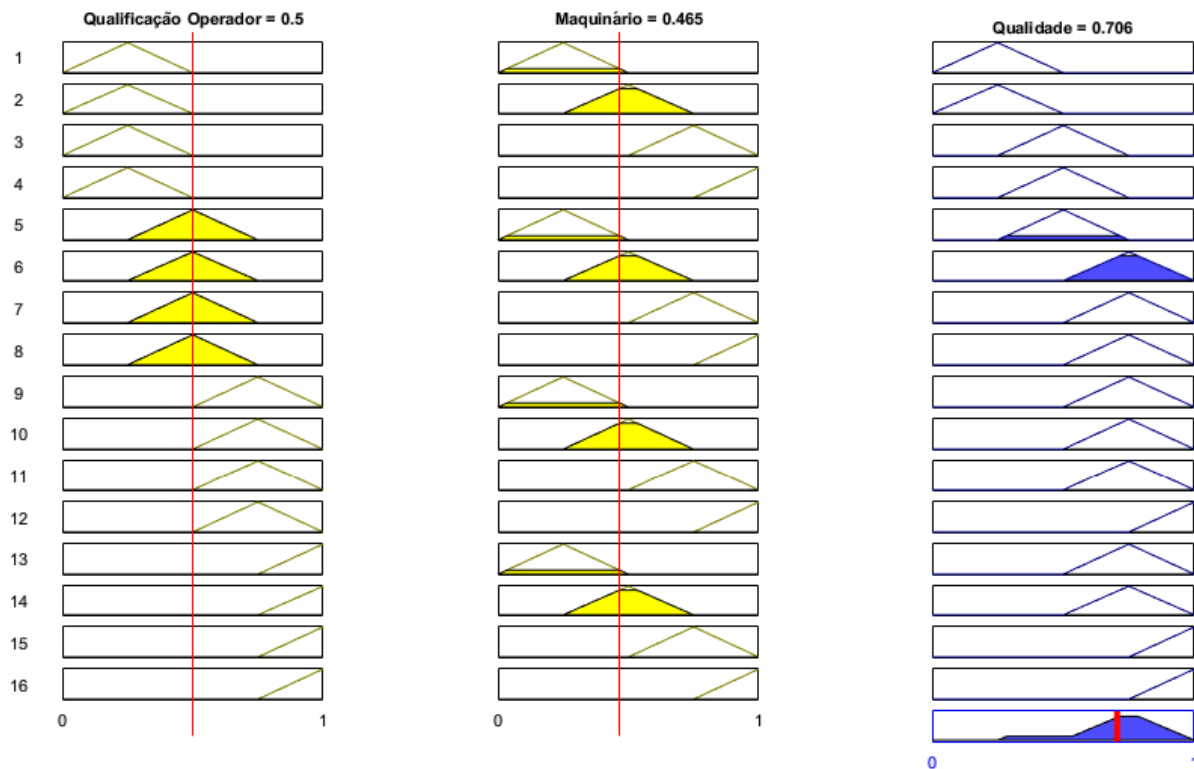
Caso	Se	Qualificação	e	Maquinário	então	Qualidade	
1	Se	0,00 - 0,25;	e	0,00 - 0,25;	então	0,00 - 0,25;	Ruim
2	Se	0,00 - 0,25;	e	0,25 – 0,50;	então	0,00 - 0,25;	Ruim
3	Se	0,00 - 0,25;	e	0,50 – 0,75;	então	0,25 – 0,50;	regular
4	Se	0,00 - 0,25;	e	0,75 – 1,00;	então	0,25 – 0,50;	regular
5	Se	0,25 – 0,50;	e	0,00 - 0,25;	então	0,25 – 0,50;	regular
6	Se	0,25 – 0,50;	e	0,25 – 0,50;	então	0,50 – 0,75;	Boa
7	Se	0,25 – 0,50;	e	0,50 – 0,75;	então	0,50 – 0,75;	Boa
8	Se	0,25 – 0,50;	e	0,75 – 1,00;	então	0,50 – 0,75;	Boa
9	Se	0,50 – 0,75;	e	0,00 - 0,25;	então	0,50 – 0,75;	Boa
10	Se	0,50 – 0,75;	e	0,25 – 0,50;	então	0,50 – 0,75;	Boa
11	Se	0,50 – 0,75;	e	0,50 – 0,75;	então	0,50 – 0,75;	Bom
12	Se	0,50 – 0,75;	e	0,75 – 1,00;	então	0,75 – 1,00;	muito bom
13	Se	0,75 – 1,00;	e	0,00 - 0,25;	então	0,50 – 0,75;	Bom
14	Se	0,75 – 1,00;	e	0,25 – 0,50;	então	0,50 – 0,75;	Bom
15	Se	0,75 – 1,00;	e	0,50 – 0,75;	então	0,75 – 1,00;	muito bom
16	Se	0,75 – 1,00;	e	0,75 – 1,00;	então	0,75 – 1,00;	muito bom

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

O conhecimento do gestor sobre a situação da empresa possibilitou o desenvolvimento da base de casos, como informa no quadro 16. Os casos foram utilizados para a modelagem do sistema inteligente, baseado em lógica *Fuzzy*.

A figura 14 ilustra as regras no MATLAB® com a situação da qualidade obtida apoiado nos dados médios de qualificação do operador e maquinário, visualizados na coleta de informações da linha durante as visitas. A combinação de cada regra e o resultado numérico é defuzzificada indicando uma possível ocorrência de perda de qualidade ou não. Portanto, existe uma tomada de decisão por meio dos valores obtidos e da visualização da base de regras, sabendo-se que dessa maneira é possível simular situações entre as variáveis de entrada (qualificação do funcionário e maquinário) e ter uma resposta da variável de saída (qualidade), evidenciada na figura 13.

Figura 13 - Base de regras



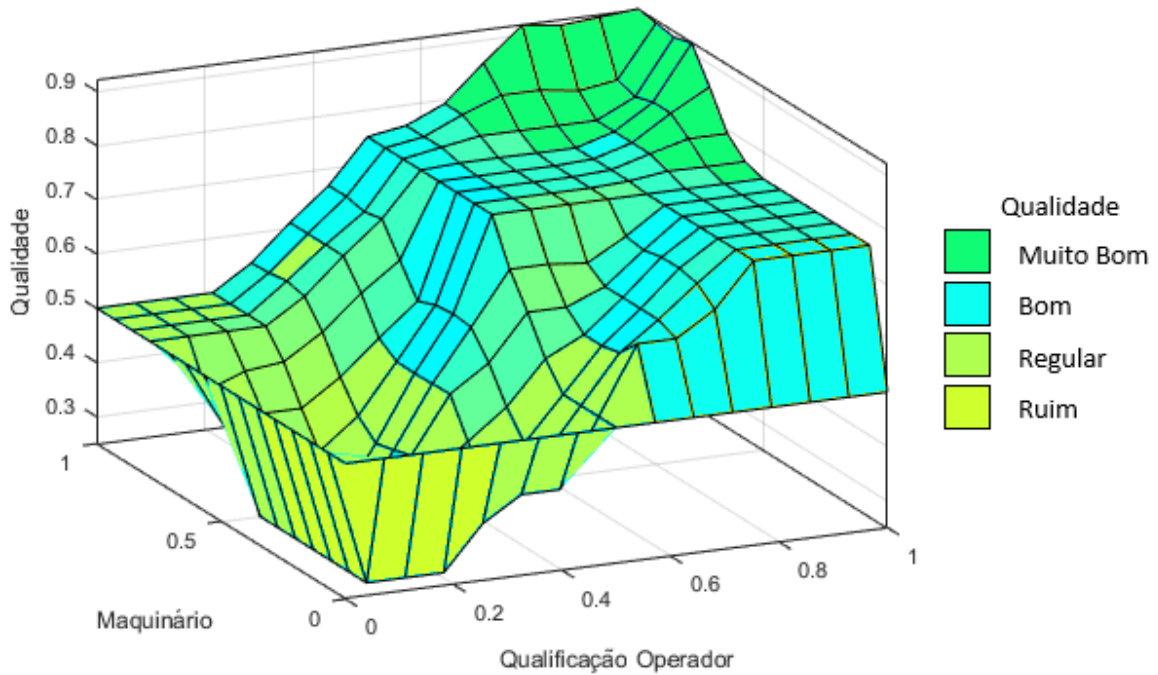
Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Com a base de regras para inferência do conjunto Mamdani se formou o ponto de equilíbrio em que as variáveis devem estar para que se mantenha um padrão de



qualidade aceitável na empresa. O gráfico 3 apresenta a estimativa do estado de qualidade em função da qualificação do operador e a condição do equipamento.

Gráfico 3 – Estimativa de qualidade



Fonte: elaborado pelo autor/18.

O gráfico gerado pelo MATLAB® é formado a partir da base de entrada maquinário x qualificação do operador. Os cruzamentos entre as entradas dão a estimativa de qualidade conforme os indicadores são alterados. Na medida que o maquinário e/ou qualificação tem pesos maiores, a estimativa de qualidade é maior.

A qualificação do operador tem peso maior no resultado da qualidade, onde os níveis mínimos para que se tenha uma qualidade de nível aceitável é acima de 0,50. Em alguns casos, a experiência do operador compensa o nível de confiabilidade da máquina, trazendo níveis de qualidade aceitáveis. Para ter níveis de qualidade bom e muito bom, o nível de qualificação do funcionário parte de 0,50 (bom) e nível mínimo de confiabilidade em 0.465 (regular-bom).

## 5 MELHORIAS APRESENTADAS

As ações de melhoria produção foram realizadas com a base de informações inicial da linha. A primeira ação realizada foi o treinamento dos operadores, a fim de aumentar a qualidade de produção e a padronização dos movimentos de processamento. Os processos de foco para busca da otimização, definidos pelo gestor, inicialmente como gargalos e geradores de retrabalho, foram os N° 04 (Colar Fita), N° 05 (Unir Fita), N° 14 (Unir e Virar Luva) e N° 16 (Avesso dobrado), onde o tempo de processamento de cada eram em, 0,165s, 0,175s, 67s e 0,177s por par, respectivamente, para se ter a produção de 202 pares/hora. O quadro 17 apresenta as características dos processos.

Quadro 17 – Detalhes dos processos de gargalo Antes

Nº	Operação	Qualificação	Equip.	Confiab.	Tempo	RH	Capac.	Qualidade
4	Cola Fita	Muito Bom	Manual	-	0,170	1	212	
5	Unir Fita	Muito Bom	Manual	-	0,178	1	202	0,50%
14	Unir e Virar Luva	Ruim	Manual	-	0,670	4	215	1,98%
16	Avesso Dobrado	Regular	PR5	Boa	0,177	1	203	2,97%
					1,992	7		5,45%

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Primeiramente foi realizado um treinamento dos operadores para melhoria do processamento e aplicado o programa 5s nos postos de trabalho, a fim de organizar as ferramentas utilizadas durante o serviço, bem como a padronização no manuseio da matéria-prima com as ferramentas e equipamentos. O resultado dessas melhorias foram a redução do tempo de movimento do funcionário e o aperfeiçoamento da técnica de processamento, como informado no quadro 18.

Quadro 18 – Detalhes dos processos de gargalo Depois

Nº	Operação	Qualificação	Equip.	Confiab.	Tempo	RH	Capac.	Qualidade
4	Cola Fita	Muito Bom	Manual	-	0,160	1	225	
5	Unir Fita	Muito Bom	Manual	-	0,130	1	277	0,50%
14	Unir e Virar Luva	Regular	Manual	-	0,450	3	240	0,99%
16	Avesso Dobrado	Boa	PR5	Boa	0,160	1	225	1,49%
					1,50	6		2,97%

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Os principais benefícios foram no tempo de processamento que foi reduzido de 1,992 para 1,50, o número de operadores necessários de 7 para 6 e os retrabalhos com redução de 5,45% para 2,97%. A melhoria possibilitou um acréscimo na produção/hora da empresa de 202 para 218 pares. A tabela 7 informa o cenário geral após as melhorias realizadas.

Tabela 7 – Informações da Linha de Produção Depois

Nº	Operação	Equip.	Tempo	RH	Eficiência	MOD	Capac.	Qualidade
1	Abastecimento	Manual	0,098	1	59,50%	R\$0,03	366	
2	Cola Forro	Manual	0,237	2	71,85%	R\$0,06	303	
3	Prensa Forro	PR1	0,160	1	97,15%	R\$0,04	224	
4	Cola Fita	Manual	0,160	1	97,15%	R\$0,04	224	
5	Unir Fita	Manual	0,130	1	78,93%	R\$0,04	276	0,46%
6	Prensa Fita	PR2	0,155	1	94,11%	R\$0,04	232	
7	Costura Forro	COS1	0,150	1	91,08%	R\$0,04	239	
8	Costura Luva	COS2	0,155	1	94,11%	R\$0,04	232	
9	Colar Fita Traseiro	PR3	0,157	1	95,13%	R\$0,04	229	0,46%
10	Costurar Orelha	COS3	0,157	1	95,13%	R\$0,04	229	
11	Costura Forro Avesso	COS4;5	0,240	2	72,86%	R\$0,06	299	
12	Virador	EQ1	0,140	1	85,01%	R\$0,04	256	
13	Passar Cola	Pistola	0,277	2	83,99%	R\$0,07	260	
14	Unir e Virar Luva	Manual	0,450	3	91,08%	R\$0,12	239	1,83%
15	Prensa	PR4	0,150	1	91,08%	R\$0,04	239	
16	Avesso Dobrado	PR5	0,160	1	97,15%	R\$0,04	224	0,92%
17	Costura Montagem	COS6	0,137	1	82,98%	R\$0,04	263	
			5,19	22	85,87%	R\$0,84	255	3,67%

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

A tabela 7 apresenta cronometragem final dos processos para avaliar as melhorias proporcionadas. Pode-se notar uma melhora geral nos índices de tempo, número de funcionários, eficiência, custo de MOD e redução dos retrabalhos. O custo efetivo real acrescentado ao custo dos retrabalhos somou R\$ 1,06. O resumo das melhorias pode ser analisado na tabela 8 e representada no gráfico 4.

Tabela 8 – Resumo das melhorias

(continua)

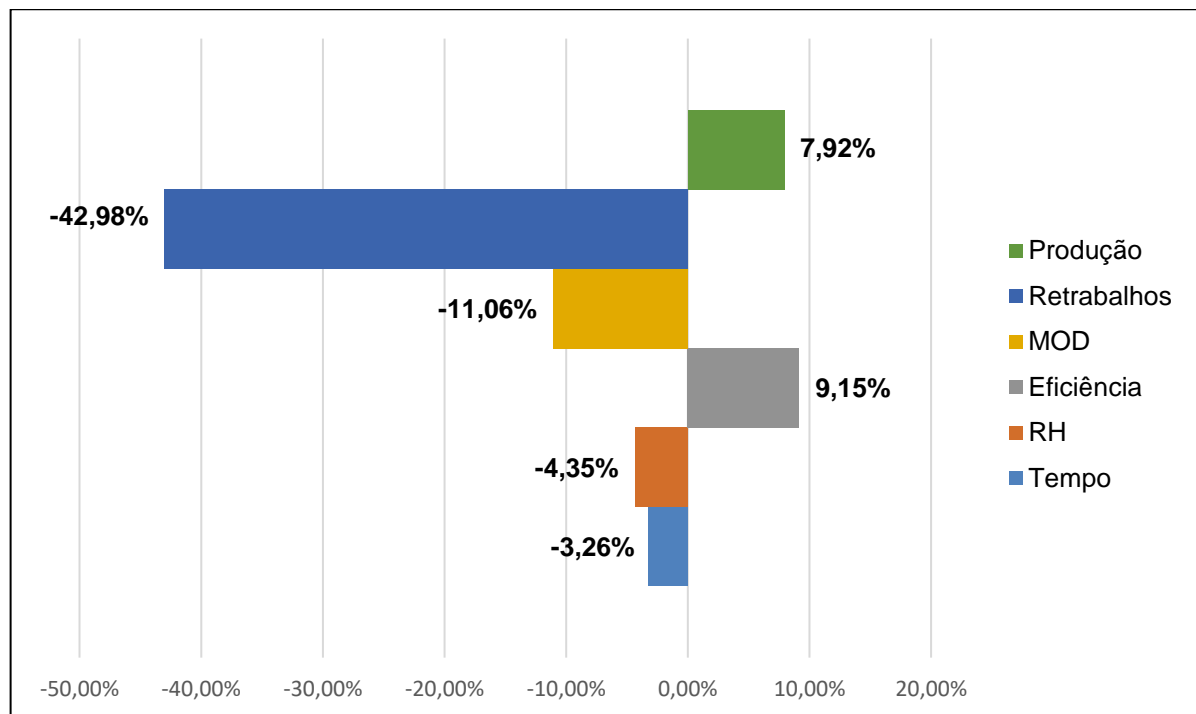
Indicador	Antes	Depois	%
Tempo	5,36	5,19	-3,26%
RH	23,00	22,00	-4,35%

Tabela 8 – Resumo das melhorias

	(conclusão)		
<b>Indicador</b>	<b>Antes</b>	<b>Depois</b>	<b>%</b>
Eficiência	0,79	0,86	9,15%
MOD	1,20	1,06	-11,06%
Retrabalhos	6,44	3,67	-42,98%
Produção	202,00	218,00	7,92%

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Gráfico 4 – Resumo das melhorias



Fonte: Elaborado pelo autor/18.

A empresa reduziu o tempo de produção em 3,26% e obteve acréscimo de 7,92% em unidades produzidas. O aumento da eficiência foi de 9,15% com queda de 11,06% no custo de mão de obra. A qualidade teve maior impacto, onde os retrabalhos caíram de 6,44% para 3,67%, representando queda de 42,98%.

No que tange a análise estatística das medições de tempo pode ser observado na tabela 9.

Tabela 9 – Estatística das Informações depois

<b>Operações</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Variabilidade Amostral</b>
Abastecimento	0,10	0,10	0,10	0,098	0,0029	0,17%
Cola Forro	0,23	0,25	0,23	0,237	0,0115	0,67%
Prensa Forro	0,17	0,16	0,16	0,160	0,0050	0,29%
Cola Fita	0,16	0,15	0,17	0,160	0,0100	0,58%
Unir Fita	0,12	0,13	0,14	0,130	0,0100	0,58%
Prensa Fita	0,16	0,16	0,15	0,155	0,0050	0,29%
Costura Forro	0,15	0,15	0,15	0,150	0,0000	0,00%
Costura Luva	0,17	0,15	0,15	0,155	0,0087	0,50%
Colar Fita Traseiro	0,16	0,15	0,16	0,157	0,0058	0,33%
Costurar Orelha	0,16	0,16	0,15	0,157	0,0058	0,33%
Costura Forro Averso	0,24	0,25	0,24	0,240	0,0050	0,29%
Virador	0,14	0,15	0,13	0,140	0,0100	0,58%
Passar Cola	0,27	0,28	0,28	0,277	0,0058	0,33%
Unir e Virar Luva	0,44	0,45	0,46	0,450	0,0100	0,58%
Prensa	0,15	0,16	0,15	0,150	0,0050	0,29%
Averso Dobrado	0,16	0,16	0,16	0,160	0,0010	0,06%
Costura Montagem	0,14	0,13	0,14	0,137	0,0058	0,33%
<b>Média</b>						<b>0,36%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor/18.

Conforme tabela 9, a média variabilidade foi de 0,36%, apresentando queda de 14,30% neste indicador em comparação com a medição anterior. A amplitude da variabilidade diminuiu, evidenciando que os processos estão com maior padronização.

As ferramentas de apoio do sistema *Lean*, em conjunto com o método AHP e a Lógica *Fuzzy* utilizadas na TABA Calçados otimizaram significativamente os indicadores produtivos na empresa. Ainda, auxiliaram na padronização dos processos diante de todo fluxo operacional do sistema, aumentando a eficiência e a qualidade final do produto.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho foram apresentados resultados da aplicação de métodos e ferramentas de gestão adaptados para MPEs. As técnicas estudadas foram combinadas em uma ferramenta de fácil interpretação que inclui uma função que facilita ao empresário uma melhor clareza para a tomada de decisão. Para este estudo foram implementadas ferramentas do sistema *Lean*, visando tornar o sistema enxuto com foco na qualidade e redução de custos e, também, controles de produção com objetivo de encontrar deficiências entre os postos de trabalho.

As principais vantagens da utilização destas técnicas de gestão é que, além de serem eficientes na geração de resultados, quando combinados com outros métodos, amplificam a possibilidade de sucesso na tomada de decisão. O método AHP, utilizado na priorização dos critérios interferentes de qualidade possibilitou a ênfase de controle na qualificação do operador e na condição de processamento do equipamento. O conjunto *Fuzzy* indicou os níveis mínimos necessários para que a qualidade gerada esteja de acordo com as especificações da empresa.

A pesquisa bibliográfica realizada mostrou os trabalhos nos quais as técnicas e ferramentas foram aplicadas. As deficiências e as boas práticas relatadas pelos autores possibilitaram um ajuste neste estudo. Com isso, em uma análise diferenciada do que a literatura apresenta em sua maioria, este estudo trouxe métodos traduzidos em uma linguagem simples e prática, direcionada para MPEs. Logo, em um modelo para otimização com cenários de restrições na capacidade e compreensão por parte do gestor da empresa, a ferramenta apresentou resultados satisfatórios.

A escolha da TABA Calçados se deve por apresentar uma representatividade que condiz com perfil médio das MPE brasileiras. Além disso, a ferramenta não foi desenvolvida para aplicada especificamente neste caso, onde se reforça o potencial de ser replicada também em outras empresas, de outros setores, tamanhos, capacidades, etc.

A análise da variabilidade amostral envolvida nas medições foi apresentada detalhadamente. A quantificação da variabilidade amostral de cada operação foi realizada a partir da contribuição de cada fonte de tempo envolvido na cronometragem dos processos, as quais foram propagadas visando obter um resultado global de todas as operações. Na primeira medição, a variabilidade foi de 0,42%, onde ao fim do

estudo o índice foi de 0,36%. Esta redução representa que os processos se tornaram mais padronizados.

Foi possível mostrar o potencial do método como uma nova ferramenta para otimização de linhas de produção e que também contribuirá cientificamente em seu resultado para ampliação da base de conhecimento podendo ser referência em futuras publicações científicas e industriais. Neste sentido, a utilização simultânea do sistema Lean, método AHP e lógica *Fuzzy* realizada neste trabalho deve ser seguida em trabalhos em trabalhos futuros.

Como limitação, pode ser questionado o potencial do gestor da empresa em fornecer os subsídios necessários para a construção das hierarquias e estabelecer as prioridades no método AHP bem como na formulação da base de regras para a lógica *fuzzy*. Trabalhos futuros podem realizar alterações no papel especialista, como a formação de uma equipe de apoio ao gestor para as definições no método AHP e lógica *fuzzy*. Isto visa proporcionar uma maior confiabilidade nas informações geradas nos sistemas. Além disso, recomenda-se a aplicação em indústrias de outros setores, tamanhos e capacidades, não se restringindo apenas em MPEs do ramo calçadista. Com isso, se busca reforçar a veracidade da ferramenta como fator impactante na geração de melhorias e suporte na tomada de decisão em outros setores industriais.

A conexão entre as técnicas de gestão e o potencial de tomada de decisão é indispensável para auxiliar na competitividade do negócio. Somente desta forma, é possível contribuir para o entendimento fiel dos processos industriais e alcançar os objetivos de aumentar sua eficiência e a qualidade dos produtos.

## REFERÊNCIAS

- ABDULMALEK, A.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **International Journal of production economics**, v. 107, n. 1, p. 223-236, 2007.
- AL-DARRAB, I. A. Relationships between productivity, efficiency, utilization, and quality. **Work Study**, v. 49, n. 3, p. 97-103, 2000.
- ALMEIDA, R. E. H. de. **Balanceamento de linhas de produção**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, 2015.
- ALVAREZ, R. R.; ANTUNES, J. A. V. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, v.8, n.1, p.1-18, 2001.
- AMENDOLA, M. et al. **Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5**. Campinas: UNICAMP, FEAGRI & IMECC, 2005. 46p. Acesso em: 10 jan. 2018. Online. Disponível em: <[http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/manual\\_fuzzy\\_matlab.pdf](http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/manual_fuzzy_matlab.pdf)>.
- ANDRADE, M.; JACQUES, M. A. P. Estudo comparativo de controladores de Mamdani e Sugeno para controle de tráfego em interseções isoladas. **TRANSPORTES**, v. 16, n. 2, 2008.
- ASSILIAN, S.; MAMDANI, E. H. **A fuzzy logic controller for a dynamic plant**. Queen Mary College, 1973.
- BABIC, Z.; PLAZIBAT, N. Ranking of enterprises based on multi-criteria analysis. **International Journal of Production Economics**. 56–57 (1–3) 29–35;1998.
- BAJAJ, S.; GARG, R.; SETHI, M. Total quality management: a critical literature review using Pareto analysis. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 67, n. 1, p. 128-154, 2018.
- BALDEA, M.; HARJUNKOSKI, L. Integrated production scheduling and process control: A systematic review. **Computers & Chemical Engineering**, v. 71, p. 377-390, 2014.
- BARON, L. G. et al. Modelagem fuzzy para apoio à tomada de decisão sobre as condições de trabalho em marmorarias. **Revista Brasileira de Qualidade de Vida**, v. 9, n. 4, 2017.
- BELDERRAIN, M. C. N.; SILVA, R. M. Considerações sobre Métodos de Decisão Multicritério. In: **XI Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA 2005**. São José dos Campos. 2005.
- BISPO, C. A. F; GIBERTONI, D. Ferramentas computacionais analíticas para o suporte ao gerenciamento estratégico dos negócios nas micro e pequenas empresas do Brasil. **EGEPE-Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2001.



BOHLANDER, G. W. **Administração de Recursos Humanos**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

BÜYÜKSAATÇI, S.; TÜYSÜZ, F.; BILEN, K. Balancing and simulation of assembly line in an LCD manufacturing company. In: Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO), 2015 6th **International Conference on. IEEE**, 2015. p. 1-5.

BUZACOTT, J. A.; SHANTHIKUMAR, J. G. **Stochastic models of manufacturing systems**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993.

CARDIAL, H. F. M.; ROCHA, S. P. B.; GOMES, C. A. Balanceamento de linha como estratégia para melhoria do desempenho de produção em uma empresa de artigos eletroeletrônicos de Sergipe. **Gestão & Planejamento**, v. 18, 2017.

CEZARINO, L. O.; CAMPOMAR, M. C. Micro e pequenas empresas: características estruturais e gerenciais. **Revista Hispeci & Lema**, v. 9, p. 10-12, 2006.

CECCHIN, D. et al. Índice fuzzy para o conforto térmico de suínos na fase de crescimento e terminação com base na temperatura superficial e frequência respiratória. **Energia Na Agricultura**, v. 31, n. 4, p. 334-341, 2016.

CLEMEN, R. T. **Making Hard Decision: An Introduction to Decision Analysis**. 2.ed. Belmont: Duxbury Press, 1995.

CORRÊA, H. L. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2006.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção E Operações: Manufatura E Serviços: Uma Abordagem Estratégica**. Editora Atlas SA, 2000.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Programação e Controle da Produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação**. São Paulo: Atlas, 1997.

COSTA, J. L. **Modelagem e controle fuzzy**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do ABC, Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional - PROFMAT, Santo André, 2017.

DA COSTA, A. P. N.; LEANDRO, L. A. L.. O Atual Cenário Das Micro E Pequenas Empresas No Brasil. **XIISEGET**. Resende/RJ, 2015.

DANA, S. **As pequenas empresas crescem no Brasil, mas os desafios ainda são grandes**. G1 Globo, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/blog/samy-dana/post/pequenas-empresas-crescem-no-brasil-mas-os-desafios-ainda-sao-grandes.html>> Acesso em: 21/01/2018.

DAYCHOUM, M. **40+ 10 ferramentas e técnicas de gerenciamento**. Brasport, 2013.

DIAS, B. et al. A computer simulation approach to evaluating assembly line balancing with variable operation times. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 7, p. 872-887, 2010.

DJURDJANOVIC, D. et al. Process and Operations Control in Modern Manufacturing. In: **ASME 2017** 12th International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the JSME/ASME 2017 6th International Conference on Materials and Processing. American Society of Mechanical Engineers, 2017.

FARNES, V. C. F.; PEREIRA, N. A. Balanceamento de linha de montagem com o uso de heurística e simulação: estudo de caso na linha branca. **Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 2, n. 1, p. 125, 2007.

FAYEZI, S.; ZUTSHI, A.; O'LOUGHLIN, A. Understanding and development of supply chain agility and flexibility: A structured literature review. **International Journal of Management Reviews**, v. 19, n. 4, p. 379-407, 2017.

FERNANDES, F. C. F. et al. O uso da programação inteira 0-1 para o balanceamento de linhas de montagem: modelagem, estudos de caso e avaliação. **Production**, v. 18, n. 2, p. 210-221, 2008.

GARG, H. Alguns métodos para a tomada de decisão estratégica com probabilidades imediatas no ambiente difuso de Pitágoras. **Jornal Internacional de Sistemas Inteligentes**, v. 33, n. 4, p. 687-712, 2018.

GENARI, B. **Uma análise de sistemas administrativos**. FGV, Rio de Janeiro. 1966.

GHINATO, P. **Produção & competitividade: aplicações e inovações**. Recife: Editora da UFPE, 2000.

GOMES, M. C. et al. Planejamento Estratégico Na Logística: Etapas e Estratégias para a Implementação. **SBIJOURNAL**, n. 67, 2017.

HAM, I.; HITOMI, K.; YOSHIDA, T. Group technology: applications to production management. **Springer Science & Business Media**, 2012.

HAMMOND, J.S.; KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisões inteligentes: somos movidos a decisões – como avaliar alternativas e tomar a melhor decisão**. Tradução: Marcelo Filardi Ferreira. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

IBGE. **Características adicionais do mercado de trabalho:2012-2016**. Coordenação de Trabalho e Rendimento. Rio de Janeiro: IBGA, 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 abr. 2018.

ISAAI, M. T. et al. Intelligent timetable evaluation using fuzzy AHP. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 4, p. 3718-3723, 2011.

JACQUES, M. A. P. et al. The impact of different approximate reasoning methods on fuzzy signal controllers. **Anais do 13th Mini-Euroconference**, 10 a 13 de Junho de 2002, Bari – Itália, p.184 – 192. 2002.

\_\_\_\_\_. Analysis of Different Defuzzyfication Methods Applied to Fuzzy Signal Controller. In: **XII Congresso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transport**. Quito – Equador. 2002b.

\_\_\_\_\_. Analysing Different Fuzzy Traffic Signal Controllers for Isolated Intersections. Paper accepted for presentation at **TRB 81st Annual Meeting**. January 13-17, 2002, Washington, DC. 2002c.

\_\_\_\_\_. Studying the importance of fuzzy sets definitions for fuzzy signal controllers. In: Uncertainty Modeling and Analysis, 2003. **ISUMA 2003**. Fourth International Symposium on. IEEE, 2003. p. 64-69..

JUNIOR, I. A. S. **Balanceamento de linha estudo de caso para otimização de recursos em uma linha de produção**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2012.

JUNIOR, L. F. N.; CHAMON, M. A. Método AHP: pesquisa-ação na pequena empresa. **XIII SIMPEP-Bauru**, SP, Brasil, v. 6, 2006.

JUNIOR, R. L. **Principais fatores causadores da mortalidade precoce das Micro e Pequenas no Brasil**. Portal Administradores. 2010. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br>> Acesso em: 18 de abril de 2018.

KAMBOJ, V.; KAUR, A. Comparison of constant SUGENO-type and MAMDANI-type fuzzy inference system for load sensor. **International Journal of Soft Computing and Engineering**, v. 3, n. 2, p. 204-207, 2013.

KATO, A. K.; TAKAKI, E. Y.; SOUZA, G. C. Modelagem da capacidade produtiva através da aplicação da engenharia de métodos em uma empresa de beneficiamento de mármore e granitos. In: **Encontro Nacional De Engenharia De Produção - ENEGEP, 23.**, 2003, Ouro Preto, MG, Brasil. Anais. 2003

KIM, Y.; AHN, C. Effect of Combined Use of Flipped Learning and Inquiry-Based Learning on a System Modeling and Control Course. **IEEE Transactions on Education**, 2017.

KING, P. J.; MAMDANI, E. H. The application of fuzzy control systems to industrial processes. **Automatica**, v. 13, n. 3, p. 235-242, 1977.

KOCSIS, T. et al. Case-Based Reasoning system for mathematical modelling options and resolution methods for production scheduling problems: Case representation, acquisition and retrieval. **Computers & Industrial Engineering**. v. 77, November 2014

KRAFCIK, J. F. Triumph of the lean production system. **MIT Sloan Management Review**, v. 30, n. 1, p. 41, 1988.

KROLL, A. Drivers of performance information use: systematic literature review and directions for future research. Public **Performance & Management Review** 38 (3): 459–486. 2015.

KULLSTAM, P. A. Availability, MTBF and MTTR for repairable M out of N system. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 30, n. 4, p. 393-394, 1981.

LIMA, A. J. C. et al. Gestão da produção em micro e pequenas empresas industriais da cidade de Itacoatiara. **Extensão em Revista**, n. 2, p. 93-109, 2017.

LIMA, M. L. S. C.; ZAWISLAK, P. A. A produção enxuta como fator diferencial na capacidade de fornecimento de PMEs. **Produção**. São Paulo. Vol. 13, n. 2 (2003), p. 57-69, 2003.

LOPES, H. A.; BLASCHEK, J. R. S. Minimizando as deficiências do planejamento operacional com o uso do orçamento baseado em atividades. **Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ**, v. 12, n. 2, 2010.

LOPES, R. B.; FREITAS, F.; SOUSA, I. Application of lean manufacturing tools in the food and beverage industries. **Journal of technology management & innovation**, v. 10, n. 3, p. 120-130, 2015.

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, Osvaldo; OLIVEIRA, Rodrigo. **Planejamento e Controle da Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MAMDANI, E. H. e ASSILIAN S. (1975) An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. Int. J. **Man-Machine Studies**, vol. 7, p. 1-13.

MAMDANI, E. H.; OSTERGAARD, JJ; LEMBESSIS, E. Uso da lógica difusa para implementar o controle baseado em regras de processos industriais. Em: *Avanços em Conjuntos Fuzzy, Teoria de Possibilidade e Aplicações*. Springer, Boston, MA, 1983. p. 307-323.

MARINS, C. S. **Uma abordagem multicritério para avaliação e classificação da qualidade do transporte público por ônibus segundo a percepção dos usuários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia de Produção. Campos dos Goytacazes, 2007.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, Magno da Silva. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. **XLI SBPO**, v. 1, 2009.

MARQUES, D. B.. **Desenvolvimento de um Modelo de Otimização da Produção na Indústria Corticeira**. Universidade do Porto. 2017.

MARTINS, E. et al. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINS, M. O. **Aplicação do método 5W2H em uma microempresa de artefatos têxteis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

MATÉ, A.; TRUJILLO, J.; MYLOPOULOS, J.. Specification and derivation of key performance indicators for business analytics: A semantic approach. *Data & Knowledge Engineering*, v. 108, p. 30-49, 2017.

**Matemática em Rede Nacional - PROFMAT**, Santo André, 2017.

MEDEIROS, D. L. A. **Implantação de sistemas de gestão da qualidade em microempresas: o caso da Granfinancional Fomento Mercantil**. Trabalho de conclusão de curso. Orientador: André Gustavo Carvalho Machado. João Pessoa/PB: UFP, 2008.

MELO, D. C. **Implementação do sistema fuzzy de mamdani usando como ferramenta o visual basic for application no excel**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de economia e finanças IBMEC programa de pós-graduação e pesquisa em Administração e economia. Rio de Janeiro, 2009.

MIRANDA, B. S. et al. Análise de Inovação: um estudo de caso em pequenas empresas do setor de Laticínios no interior do Rio Grande do Sul. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 9, n. 18, p. 164-181, 2017.

MIZUNO, S. **Company wide total quality control**. Quality Resources, 1988.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

MOURA, E. C. **As sete ferramentas gerenciais da qualidade: implementando a melhoria contínua com maior eficácia**. McGraw-Hill, 1994.

OBERHAUSEN, C. et al. Cross-enterprise value stream assessment. *Journal of Advances in Management Research*, v. 14, n. 2, p. 182-193, 2017.

OKUN, A. M. **Equality and efficiency: The big tradeoff**. Brookings Institution Press, 2015.

OLIVEIRA, E.P. **Modelo conceitual de um sistema de apoio à decisão, par gestores de logística e transporte em canais de exportação agrícola**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de produção) – Departamento de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2007.

OLIVEIRA, I. M. D. et al. Balanceamento de linha e arranjo físico: estudo de caso em uma linha de produção de cabines para máquinas de construção. **Exacta**, v. 15, n. 1, p. 101-110, 2017.

PACHECO, D. A. J. et al. Balanceamento de fluxo ou balanceamento de capacidade? Análises e proposições sistêmicas. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 2, p. 355-368, 2014.

PADOVEZE, C. L. **Controladoria estratégica e operacional: conceitos, estrutura, aplicação.** Pioneira Thomson Learning, 2003.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços.** Curitiba: UnicenP, 2007.

PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, 2009.

PIVETTA, G. A utilização do fluxo de caixa nas empresas: um modelo para a pequena empresa. **Revista eletrônica de contabilidade**, v. 1, n. 2, p. 14, 2004.

POLLANEN, R. et al. Relationships between strategic performance measures, strategic decision-making, and organizational performance: empirical evidence from Canadian public organizations. **Public Management Review**, v. 19, n. 5, p. 725-746, 2017.

RABELO, F. M. **Automação, estrutura industrial e gestão da mão-de-obra: o caso da introdução das máquinas-ferramentas com comando numérico na indústria metal-mecânica.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, SP, 1989.

RANGEL, D. A. et al. Aumento da eficiência produtiva através da redução do tempo de setup: aplicando a troca rápida de ferramentas em uma empresa do setor de bebidas. **Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia de Produção**, v. 10, n. 1, p. 36-49, 2012.

RODRIGUES, J. et al. O porto de Ponta Delgada, S. Miguel, Açores: avaliação das consequências de galgamento pelo método AHP. **Territorium**, n. 24, p. 127-139, 2017.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process and Health Care Problems.** New York: McGraw-Hill. 1980.

\_\_\_\_\_. Response to Holder's comments on the analytic hierarchy process. **Journal of the Operational Research Society**, v. 42, n. 10, p. 909-914, 1991.

\_\_\_\_\_. Decision making for leaders. Pitts burg, **USA: WS. Publications**, 2000.

SALIM, R. A. Measuring productive capacity realization of Bangladesh food manufacturing: a random coefficient frontier approach. **The Singapore Economic Review**, v. 46, n. 02, p. 195-209, 2001.

SALOMON, V. P.; MONTEVECHI, José AB; PAMPLONA, Edson O. Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 19, 1999.

- SANTOS, A. M. **Avaliação da competitividade em empresas de base tecnológica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – UFSM, Santa Maria, 2017
- SANTOS, A. G. A.; OLIVEIRA, G. M. E. Resistência À Mudança Nos Processos Da Organização – **Fundação Universidade Vida Cristã –FUNVIC**. 2016.
- SELLITTO, M. A. Inteligência artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 3, p. 363-376, 2002.
- SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint**. [S.l.]: Productivity Press, 1981.
- \_\_\_\_\_. **O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SILVA, C. L. Gestão estratégica de custos: o custo meta na cadeia de valor. **Revista da FAE**, v. 2, n. 2, 2017.
- SILVA, M. C. G. **Utilização do método Analytic Hierarchy Process (AHP) para localização de usina de reciclagem de resíduos da construção civil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2012.
- SILVEIRA, M. H. F. et al. O impacto das micro e pequenas empresas no mercado de trabalho: uma análise da região Sul/Sudoeste de Minas Gerais. In: **SIMPOSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA**. 2012.
- SLACK, N. **Operations strategy**. John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
- SOARES, A. C. M. **Modelos de controle semafórico Fuzzy adaptativo para cruzamentos isolados**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletricidade) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.
- STAUDT, F. H.; COELHO, A. S.; GONÇALVES, M. B. Determination of necessary real capacity in productive process using Markov chain. **Production**, v. 21, n. 4, p. 634-644, 2011.
- TELO, L. R. A. et al. Proposição de sequenciamento da produção com uso do tempo de preparação. **South American Development Society Journal**, v. 3, n. 08, p. 19-49, 2017.
- TOLEDO, C. F. M et al. Um modelo de otimização para o problema integrado de dimensionamento de lotes e programação da produção em fábricas de refrigerantes. **Pesquisa operacional**, v. 27, n. 1, p. 155-186, 2007.
- TUBINO, D. F.. **Manual de planejamento e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

UTIYAMA, M. H. R. et al. **Comparação entre diferentes estratégias de melhoria visando à redução do lead time**. São Carlos: UFSCar, 2016.

VEGGIAN, V. A.; SILVA, T. F. Planejamento e controle da produção. **Revista FAEF**, 2015.

VERCELLIS, C. **Business intelligence**. John Wiley & Sons, Ltd, 2009.

WAHID, R. A.; CORNER, J. Critical success factors and problems in ISO 9000 maintenance. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Vol. 26 Iss: 9, pp.881 – 893, Hamilton, 2009

WANG, L.; CHU, J.; WU, J. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. **International Journal of Production Economics**. v.107, n.1, p. 151-163, 2007.

WATTS, T. et al. Structural limits of capacity and implications for visibility. **Journal of Accounting & Organizational Change**, v. 5, n. 2, p. 294-312, 2009.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-53, June 1965. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

ZAIRI, M. Business process management: a boundaryless approach to modern competitiveness. **Business Process Management Journal**, v. 3, n. 1, p. 64-80, 1997.

ZHANG, F.; BUTT, S. I. A Systematic Approach to Quality Oriented Product Sequencing for Multistage Manufacturing Systems. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2016, 2016.

ZHENG, M. et al. Smart spare parts management systems in semiconductor manufacturing. **Industrial Management & Data Systems**, v. 117, n. 4, p. 754-763, 2017.





## ANEXO A – AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

### AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Eu **Tadiano Carloto Viero**, abaixo assinado, responsável pela **TADIANO CARLOTO VIERO E CIA LTDA – ME**, autorizo a realização do estudo "DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA HÍBRIDA PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO SERIADA UTILIZANDO O CONTROLADOR FUZZY MAMDANI" a ser conduzido pelo pesquisador Lucas Urach Sudati, juntamente com seu orientador, Prof. Dr. Nattan Roberto Caetano.

Fui informado, pelo responsável do estudo, sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas na instituição a qual represento.

Esta instituição está ciente de suas responsabilidades como instituição coparticipante do presente projeto de pesquisa e de seu compromisso no resguardo da segurança e bem-estar dos sujeitos de pesquisa nela recrutados, dispondo de infraestrutura necessária para a garantia de tal segurança e bem-estar.

Data:

01/03/2018

  
Tadiano Carloto Viero