



Centro de Tecnologia e Urbanismo
Departamento de Engenharia Elétrica

Adriano Kulpa

**MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: IMPACTO NA EFICIÊNCIA GLOBAL DOS
EQUIPAMENTOS E PERCEPÇÕES SOBRE OS FATORES CRÍTICOS PARA A SUA
IMPLANTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

LONDRINA – PR

2020



Adriano Kulpa

**MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: IMPACTO NA EFICIÊNCIA GLOBAL DOS
EQUIPAMENTOS E PERCEPÇÕES SOBRE FATORES CRÍTICOS PARA A SUA
IMPLANTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Eletrônicos
Especialidade: Engenharia de Sistemas

Orientador:
Prof. Dr. Leonimer Flávio de Melo

LONDRINA – PR

2020

Ficha Catalográfica

Kulpa, Adriano.

Manutenção autônoma: impacto na eficiência global dos equipamentos e percepções sobre os fatores críticos para a sua implantação.

Londrina, PR, 2020. 144p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina PR. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

1. Gestão de Operações. 2. Engenharia de Sistemas. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

II. Título

Adriano Kulpa

**MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: IMPACTO NA EFICIÊNCIA GLOBAL DOS
EQUIPAMENTOS E PERCEPÇÕES SOBRE FATORES CRÍTICOS PARA A SUA
IMPLANTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sistemas Eletrônicos
Especialidade: Engenharia de Sistemas.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonimer Flávio de Melo
Depto. de Engenharia Elétrica – UEL-PR
Orientador

Prof. Dr. Francisco Granziera Junior
Depto. de Engenharia Elétrica - UEL-PR

Prof. Dra. Claudia Tania Picinin
Depto. de Engenharia de Produção – UTFPR

Londrina, 14 de dezembro de 2020

Dedico este trabalho
a minha esposa Lidiane e ao meu filho Pedro,
pela compreensão e amor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por tudo.

Aos meus pais Waldomiro Kulpa e Maria Rivanda Kulpa, pelo incentivo aos estudos.

À Efeso Consulting e seus consultores, pela vivência por mais de doze anos no suporte às empresas na implantação de Programas de Gestão de Operações de Classe Mundial, alinhados com as melhores práticas da Engenharia de Produção.

À Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Campus Londrina, por ter me possibilitado um grande aprendizado, inicialmente como estudante e atualmente como docente.

Aos profissionais das empresas pesquisadas, pelo compartilhamento dos seus pontos de vista sobre a Manutenção Autônoma e à contribuição para esta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leonimer Flávio de Melo, pelo apoio não apenas nesta dissertação, mas durante todo o Mestrado.

Aos professores integrantes das bancas - Profa. Dra. Claudia Tania Picinin; Prof. Dra. Erica Regina Takano Natti; Prof. Dr. Francisco Granziera Jr e Prof. Norival F. dos Santos Neto - pelas recomendações e conhecimentos transmitidos.

A professora Maria Bernadete de Moraes França (coord. Mestrado), aos professores da Pós Graduação em Engenharia Elétrica e aos servidores da Universidade Estadual de Londrina que, por serem muitos, torna-se difícil citar todos sem ser traído pela memória. Muito obrigado pelo apoio, compreensão e aprendizado neste período enriquecedor em minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por sua existência e apoio à pesquisa no Brasil.

Aos meus amigos Paulo Barbosa dos Santos, Rogers Marcelo Rosa, Vinícius Costa e Daniel Ayub que, mesmo distantes fisicamente, compartilham prosas agradáveis sobre música, cinema e literatura.

Meu agradecimento especial aos meus avós Wlodzimierz Kulpa (*in memoriam*) e Francisca Domingues Kulpa (*in memoriam*), por terem sido meus segundos pais.

A todos o meu muito obrigado.

“Se não fosse pelas pessoas, sempre presas às
máquinas, a Terra seria o paraíso dos
Engenheiros”

Engenheiro Ed Finnerty, em “Player Piano” (1952),
de Kurt Vonnegut

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original”
(Albert Einstein)

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE QUADROS	IV
LISTA DE GRÁFICOS	V
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos geral e específicos	2
1.2 Justificativas.....	3
1.3 Delimitações	4
1.4 Metodologia de pesquisa	4
1.5 Estrutura da dissertação	6
2 MANUFATURA DE CLASSE MUNDIAL	7
2.1 Contextualização.....	7
2.2 Programas de melhoria contínua organizacional	8
2.3 Manufatura Enxuta	10
2.4 Manutenção Produtiva Total.....	11
2.5 Seis Sigma.....	13
2.6 Gestão de Operações de Classe Mundial	14
3 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA	16
3.1 Definição.....	16
3.2 Etapas para a implantação.....	17
3.2.1 Etapa 1 - Limpeza inicial.....	19
3.2.2 Etapa 2 - Contramedidas para as fontes de sujeira e locais de difícil acesso	20
3.2.3 Etapa 3 - Padrões de limpeza, inspeção e lubrificação.....	21
3.2.4 Etapa 4 - Inspeção geral.....	23
3.2.5 Etapa 5 - Inspeção autônoma.....	24
3.2.6 Etapa 6 - Padronização	25
3.2.7 Etapa 7 - Gestão autônoma.....	26
3.3 Aspectos importantes para implantação.....	29
3.4 Abrangência e aplicações recentes	32
3.5 A Manutenção Autônoma e o consumo de energia elétrica	35
4 EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO.....	40

4.1	Contextualização.....	40
4.2	Definição.....	41
4.3	Implantação.....	43
4.4	A OEE e a Manutenção Autônoma.....	47
4.5	Abrangência e aplicações recentes	49
5	PLANEJAMENTO DA PESQUISA	52
5.1	Classificação	52
5.2	A pesquisa de avaliação	53
5.3	Amostragem.....	54
5.4	Projeto da pesquisa de avaliação.....	56
5.5	Teste piloto	60
5.6	Análise de conglomerados	64
6	COLETA DE DADOS	69
6.1	Envio dos questionários	69
6.2	Recebimento dos questionários.....	71
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS	73
7.1	Características das empresas pesquisadas.....	73
7.2	Características dos cargos entrevistados.....	76
7.3	Características dos programas de melhoria contínua.....	79
7.4	Características das máquinas modelo	82
7.5	Impactos da Manutenção Autônoma na OEE.....	84
7.6	Impactos da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE.....	86
7.7	Impactos da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE.....	90
7.8	Impactos da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE.....	93
7.9	Percepções sobre os fatores críticos para o sucesso da Manutenção Autônoma	97
7.9.1	Percepção global.....	97
7.9.2	Percepção por origem da empresa	100
7.9.3	Percepção por cargo.....	101
7.9.4	Percepção por segmento industrial	105
7.9.5	Percepção por tipo de programa de melhoria contínua	108
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
	REFERÊNCIAS.....	114
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS	124
	APÊNDICE B – CARTAS ENVIADAS AOS PARTICIPANTES DA PESQUISA	131
	APÊNDICE C – TEMPO NO CARGO (DADOS)	133
	APÊNDICE D – MÁQUINAS MODELO (DADOS).....	134

APÊNDICE E – PROGRAMAS DE MELHORIA CONTÍNUA (DADOS)	135
APÊNDICE F – IMPACTO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA NA OEEs (DADOS).....	136
APÊNDICE G – PERCEPÇÕES SOBRE OS FATORES CRÍTICOS PARA O SUCESSO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA (DADOS)	137
APÊNDICE H – RELATÓRIOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA.....	142

RESUMO

No cenário econômico atual para que as empresas sejam competitivas é imperativo o uso adequado de suas competências, sendo que o desafio está em desenvolvê-las ao nível do chão da fábrica. A Manutenção Autônoma contribui para a formação de operadores capazes de gerenciar autonomamente suas atividades, podendo impactar nos resultados do negócio por meio da melhoria da eficiência global dos seus equipamentos (OEE). Esta dissertação tem por objetivo identificar quais os fatores mais importantes para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma e os seus impactos na melhoria da OEE das máquinas modelo pesquisadas. Isso é demonstrado por meio de uma pesquisa aplicada do tipo levantamento, com propósito descritivo, envolvendo nove cargos distintos em empresas que fazem parte das cinquenta maiores indústrias do Brasil - segundo a revista Melhores e Maiores (Exame, 2019) - incluindo outras empresas que se tem conhecimento de sua aplicação. Os resultados obtidos demonstram que dentre dez fatores analisados, três apresentam-se simultaneamente citados como mais importantes para 36% das empresas, 44% dos cargos e 38% dos segmentos industriais pesquisados, podendo requerer, portanto, maior atenção durante a implantação da Manutenção Autônoma. Com relação à OEE constata-se que o índice de disponibilidade foi o que mais apresentou melhoramento entre as máquinas modelo pesquisadas (com 50% das máquinas acima de 10 pontos percentuais), seguido do índice de performance (31% das máquinas acima de 10 pontos percentuais) e do índice de qualidade (18% das máquinas acima de 10 pontos percentuais), sendo o conhecimento destes resultados nas máquinas modelo evidenciado por 93% dos entrevistados. Com esta pesquisa espera-se prover informações que possibilitem uma gestão efetiva sobre os fatores críticos identificados, reduzindo assim as dificuldades inerentes à implantação da Manutenção Autônoma e maximizando as suas chances de sucesso.

Palavras-chave: manufatura de classe mundial; manutenção produtiva total; fatores críticos de sucesso; análise de conglomerados.

ABSTRACT

In the current economic scenario for companies to be competitive, the proper use of their skills is imperative, and the challenge is to develop them at the factory floor level. Autonomous Maintenance contributes to the training of management operators autonomously in their activities, which can impact business results by improving the overall efficiency of their equipment (OEE). This dissertation aims to identify which are the most important factors for a proper implementation of Autonomous Maintenance, as well its impacts in improving the OEE of the researched model machines. This is reinforced through research applied to the survey type, with descriptive purpose, involving nine different positions in companies that are part of the fifty largest industries in Brazil - according to the magazine *Melhores e Maiores* (Exame, 2019) - including other companies that is aware of its application. The results obtained show that among the ten factors, three are simultaneously mentioned as most important for 36% of the companies, 44% of the company positions and 38% of the surveyed industrial segments, and may therefore require more attention during the implementation of Autonomous Maintenance. Regarding the OEE, it seems that availability index was the one that most showed improvement among the model machines surveyed (with 50% of the machines above 10 percentage points), followed by the performance index (31% of the machines above 10 percentage points) and the quality index (18% of machines above 10 percentage points), with knowledge of results on model machines evidenced by 93% of respondents. With this research it is expected to provide information that allows an effective management on the identified critical factors, thus reducing the difficulties inherent to the implementation of Autonomous Maintenance and maximizing your chances of success.

Keywords: world class manufacturing; total productive maintenance; critical success factors; cluster analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Roteiro para a condução de uma pesquisa de avaliação (<i>survey</i>).....	5
Figura 2 – Conjugação dos ciclos de manutenção, melhoria e inovação.....	27
Figura 3 – Inovação sem kaizen.....	28
Figura 4 – Inovação com kaizen.....	28
Figura 5 – Estrutura conceitual da OEE.....	45
Figura 6 – Dendograma e formação de grupos.....	67
Figura 7 – Impacto da Manutenção Autônoma na OEE (<i>clusters</i> de segmentos industriais)	85
Figura 8 – Fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma (<i>clusters</i> de cargos)	102
Figura 9 – Fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma (<i>clusters</i> de segmentos industriais)	106
Figura 10 – Fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma (<i>clusters</i> de programas de melhoria contínua)	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre definições das etapas da Manutenção Autônoma.....	18
Quadro 2 – Itens, modos de falhas e causas relacionadas à lubrificação.....	39
Quadro 3 – Etapas da Manutenção Autônoma x perdas evitáveis.....	47
Quadro 4 – Categorias de perguntas e dados a serem coletados.....	58
Quadro 5 – Resultados acerca do envio, recebimento e validação dos questionários.....	71
Quadro 6 – Informações básicas sobre as empresas pesquisadas.....	73
Quadro 7 – Conversão de dados intervalares em numéricos.....	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Porte das empresas pesquisadas.....	74
Gráfico 2 – Origem das empresas pesquisadas.....	75
Gráfico 3 – Empresas por segmento industrial.....	75
Gráfico 4 – Tempo no cargo dos entrevistados.....	76
Gráfico 5 – Conhecimento dos entrevistados sobre a máquina modelo.....	77
Gráfico 6 – Desconhecimento sobre o impacto da Manutenção Autônoma na OEE.....	78
Gráfico 7 – Empresas e programas de melhoria contínua.....	79
Gráfico 8 – Tipo de programa de melhoria contínua por segmento industrial.....	80
Gráfico 9 – Lançamento dos programas de melhoria contínua por período.....	81
Gráfico 10 – Pilares de Manutenção Autônoma nas empresas pesquisadas.....	81
Gráfico 11 – Quantidade de máquinas com Manutenção Autônoma por empresa.....	82
Gráfico 12 – Regiões geográficas das máquinas modelo.....	82
Gráfico 13 – Período de instalação das máquinas modelo.....	83
Gráfico 14 – Período de lançamento da Manutenção Autônoma nas máquinas modelo.....	83
Gráfico 15 – Etapa de Manutenção Autônoma implementada por máquina modelo.....	84
Gráfico 16 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE.....	86
Gráfico 17 – Melhoria no índice de disponibilidade por segmento industrial.....	88
Gráfico 18 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE por etapa mínima implementada.....	89
Gráfico 19 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE por tipo de programa de melhoria contínua.....	90
Gráfico 20 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE.....	91
Gráfico 21 – Melhoria no índice de performance por segmento industrial.....	92
Gráfico 22 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE por etapa mínima implementada.....	92
Gráfico 23 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE por tipo de programa de melhoria contínua.....	93
Gráfico 24 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE.....	94
Gráfico 25 – Melhoria no índice de qualidade da OEE por segmento industrial.....	95
Gráfico 26 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE por etapa mínima implementada.....	95

Gráfico 27 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE por tipo de programa de melhoria contínua.....	96
Gráfico 28 – Percepção global dos fatores críticos para o sucesso da Manutenção Autônoma..	98
Gráfico 29 – Percepção dos fatores críticos por origem da empresa.....	100
Gráfico 30 – Percepção dos fatores críticos por cargo.....	104
Gráfico 31 – Percepção dos fatores críticos por segmento industrial.....	107
Gráfico 32 – Percepção dos fatores críticos por tipo de programa de melhoria contínua.....	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5S	<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i> (organizar, limpar, padronizar, manter)
AC	Apoio da consultoria
AD	Apoio da diretoria
AG	Apoio da gerência
AP	Apoio da coordenação do programa de melhoria contínua
AS	Apoio da supervisão
APR	Análise preliminar de riscos
AUT	Automotivo (segmento industrial)
BEM	Bem de capital (segmento industrial)
COS	Cosmético (segmento industrial)
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i> (definir, medir, analisar, melhorar, controlar)
DI	Diretor (cargo pesquisado)
DO	Disponibilidade de orçamento
DT	Disponibilidade de tempo para execução das atividades
EG	Experiência em gestão do líder da equipe de Manutenção Autônoma
EMB	Embalagem (segmento industrial)
EP	Engenheiro de processos (cargo pesquisado)
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (análise dos modos e efeitos das falhas)
GM	Gestor de melhoria contínua (cargo pesquisado)
GP	Gerente de produção (cargo pesquisado)
HIG	Higiene e limpeza (segmento industrial)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IISE	<i>Institute of Industrial and Systems Engineers</i>
IROG	Índice de rendimento operacional global do equipamento
JIT	<i>Just In Time</i> (no momento certo)
LUB	Lubrificante (segmento industrial)
MA	Mantenedor (cargo pesquisado)
MA	Manutenção Autônoma
ME	Motivação da equipe da máquina

MOV	Moveleiro (segmento industrial)
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> (tempo médio entre falhas)
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> (tempo médio para reparo)
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (eficiência global do equipamento)
OEEE	<i>Overall Environmental Equipment Effectiveness</i> (eficiência global do equipamento incluindo aspectos ambientais)
OP	Operador (cargo pesquisado)
OPL	<i>One Point Lesson</i> (lição de um ponto)
OTE	<i>Overall Throughput Effectiveness</i> (eficiência global da taxa de transferência)
OU	Outros
PAP	Papel e celulose (segmento industrial)
PCP	Planejamento e controle da produção
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i> (planejar, fazer, verificar, agir)
pp	Pontos percentuais
PPM	Partes por milhão
<i>PQCDSM</i>	<i>Production, Quality, Cost, Delivery, Safety, Morale</i> (produção, qualidade, custo, entrega, segurança, moral)
QT	Qualificação técnica do líder da equipe de Manutenção Autônoma
SDCA	<i>Standardize, Do, Check, Act</i> (padronizar, executar, verificar, agir)
SEBRAE	Serviço brasileiro de apoio para as micro e pequenas empresas
SM	Supervisor de manutenção (cargo pesquisado)
SMED	<i>Single-Minute Exchange of Die</i> (troca rápida de ferramentas)
SP	Supervisor de produção (cargo pesquisado)
SQ	Supervisor de qualidade (cargo pesquisado)
TEEP	<i>Total Effective Equipment Performance</i> (performance efetiva total do equipamento)
TEEP	<i>Total Effective Equipment Productivity</i> (produtividade efetiva total do equipamento)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (manutenção produtiva total)
TQC	<i>Total Quality Control</i> (controle total da qualidade)
TOC	Theory Of Constraints (teoria das restrições)
WCM	<i>World Class Manufacturing</i> (manufatura de classe mundial)
WCOM	<i>World Class Operations Management</i> (gestão de operações de classe mundial)

1 INTRODUÇÃO

Dentre os recursos produtivos disponíveis à moderna gestão industrial, um dos que requer atenção cuidadosa por parte da alta administração são as pessoas. Principalmente no Brasil - que a partir de sua abertura de mercado em fins da década de 1980 passou a receber cada vez mais filiais de empresas originárias de países melhor desenvolvidos industrialmente (Corseuil e Kume, 2003) - as pessoas, em todos os níveis hierárquicos, passaram a ser cada vez mais relevantes ao negócio, tanto para a sua condução como também para a melhoria dos seus resultados.

Antes da abertura de mercado prevaleciam como mais competitivas as empresas que detinham mais eficientes parques industriais e/ou tecnologias inovadoras, aspectos estes considerados diferenciais importantes para o seu crescimento. Entretanto, com a abertura de mercado e o aumento das linhas de crédito no Brasil, rapidamente muitas empresas passaram a ter acesso a tecnologias antes restritas a um número reduzido de grandes competidores. Nesse contexto, a capacitação e o desenvolvimento das pessoas passam a ter um papel de grande importância, uma vez que apenas o acesso às novas tecnologias e/ou importações não mais era considerado um grande diferencial competitivo. Com relação à Toyota - maior empresa automobilística do mundo - Liker e Meier (2008, p.28) afirmam que entre os seus líderes é consenso que a única fonte de vantagem competitiva da empresa é o grupo de pessoas talentosas que ela desenvolve. Em um contexto mais amplo, países que progressivamente foram investindo cada vez mais em educação – como a Coreia do Sul, por exemplo – destacaram-se por meio de aumento de competitividade e hoje já possuem empresas consideradas de classe mundial, como a Hyundai e a Samsung, por exemplo.

Infelizmente, no Brasil a melhoria do nível educacional da população vem caminhando em passos lentos em comparação com outros países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) (EXAME, 2019), podendo ser necessário às empresas brasileiras promoverem programas de treinamento, ou ainda programas de melhoria contínua voltados à Manufatura de Classe Mundial, que desenvolvam pessoas com base em necessidades, ao invés de apenas desejos. Como, geralmente, as empresas possuem orçamentos restritos para treinamento e desenvolvimento, é de suma importância direcioná-los às necessidades que mais possam contribuir ao atendimento de suas metas estratégicas, como por exemplo produtividade e qualidade.

Em 1971 surgiu no Japão um programa de melhoria contínua que ficaria mundialmente conhecido como TPM (Manutenção Produtiva Total) (Nakajima, 1988). Neste programa havia, desde os seus primórdios, a preocupação do envolvimento do operador nos cuidados para com o seu equipamento, originando uma metodologia denominada Manutenção Autônoma, cujo foco inicial era restrito à prevenção das quebras e falhas nos equipamentos. Seu escopo foi sendo gradualmente ampliado e levado a cabo por meio de sete etapas, onde inicialmente o operador cuidava da limpeza do equipamento, em seguida realizava inspeções em componentes e parâmetros de processo, culminando com atividades autônomas de melhoria e gestão da OEE (*Overall Equipment Effectiveness*, em português Eficiência Global do Equipamento).

Apesar de haver clareza na literatura quanto às atividades a serem feitas em cada etapa da Manutenção Autônoma - conforme atestam Tajiri & Gotoh (1992), Nakazato (1994) e Morikawa (1996) - algumas empresas são mais bem sucedidas do que outras quanto aos resultados obtidos após a implantação de cada etapa. Dentre esses resultados, talvez os que melhor evidenciem uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma estejam relacionados à melhoria da OEE e à criação do senso de propriedade do equipamento pelo operador (Kimura, 1997). Assim, pode ser considerado relevante às empresas que pretendam melhorar a OEE por meio das pessoas, reconhecer o impacto da Manutenção Autônoma neste índice, bem como identificar os principais fatores para uma implantação bem sucedida da mesma. Nesse contexto espera-se com a realização desta pesquisa responder as seguintes questões: quais os fatores que mais requerem atenção para a implantação da Manutenção Autônoma em máquinas modelo? Qual o impacto da Manutenção Autônoma nos índices de disponibilidade, performance e qualidade destas máquinas?

1.1 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral desta dissertação consiste em analisar a percepção de representantes de nove cargos por empresa pesquisada acerca dos principais fatores críticos para a implantação da Manutenção Autônoma em máquinas modelo e o seu impacto na melhoria da OEE. Para se alcançar este objetivo geral, faz-se necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

a) Identificar e priorizar os fatores críticos para o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma.

b) Avaliar se estes fatores apresentam alguma correspondência entre os setores industriais das empresas pesquisadas, do tipo de programa de melhoria contínua adotado pela empresa bem como entre os cargos entrevistados em cada empresa.

c) Avaliar se os cargos pesquisados têm conhecimento sobre a contribuição da Manutenção Autônoma para a melhoria da OEE nas máquinas modelo em suas empresas.

d) Identificar quais segmentos industriais das empresas pesquisadas têm sido mais bem sucedidos na implantação da Manutenção Autônoma, levando em consideração o seu impacto na melhoria da OEE.

1.2 Justificativas

As empresas que não utilizam seus recursos produtivos de forma eficiente podem apresentar perdas que impactam em seu nível de competitividade num mercado cada vez mais acirrado e globalizado. Com base no que afirma Fleury (2008), tais recursos não se limitam apenas aos financeiros, mas também equipamentos, matérias-primas, energia, métodos, sistemas e, principalmente, pessoas.

A Manutenção Autônoma é uma metodologia com aplicação recomendada por pelo menos quatro programas de melhoria contínua mundialmente reconhecidos (Baroncelli & Ballerio, 2016): Manufatura Enxuta; TPM; Seis Sigma e WCOM (Gestão de Operações de Classe Mundial). Sua aplicação pode contribuir tanto para o aumento da produtividade em processos industriais que envolvam máquinas e operadores, como também para a redução de falhas e desperdícios relacionados ao consumo de energia elétrica, por exemplo.

Entretanto, se a Manutenção Autônoma não for implantada de forma adequada, ou seja, com patrocínio, dedicação e empenho por parte dos *stakeholders*, tal como afirmam Poduval, Pramod & Raj (2013), pode-se empregar tempo e recursos em iniciativas não duradouras, proporcionando resultados efêmeros. Nesse contexto não é incomum ocorrerem atrasos e priorização de outras atividades distintas da Manutenção Autônoma, durante o seu avanço.

Assim espera-se que a identificação dos impactos da Manutenção Autônoma na melhoria da OEE e dos fatores críticos para a sua implantação contribuam para a definição de estratégia, suporte e planejamento adequado para aplicações bem sucedidas desta metodologia.

1.3 Delimitações

Esta dissertação limita-se em obter dados, analisá-los e apresentar conclusões a partir de levantamentos de campo (*survey*) aplicados a representantes de nove cargos distintos em empresas ranqueadas entre as cinquenta maiores empresas industriais segundo a revista Melhores & Maiores (Exame, 2019), bem como outras empresas que se tenha conhecimento da aplicação da Manutenção Autônoma e da OEE.

Com isso, ressalva-se que não se pretende generalizar os resultados desta pesquisa para, por exemplo, toda uma população composta por indústrias que utilizam a Manutenção Autônoma e a OEE. Entretanto o trabalho pode servir como base para estudos posteriores, visando a expansão do número de empresas, dos setores industriais, dos cargos pesquisados e/ou até mesmo do impacto da Manutenção Autônoma na melhoria da OEE sob bases quantitativas, por meio de análise de dados contínuos.

1.4 Metodologia de pesquisa

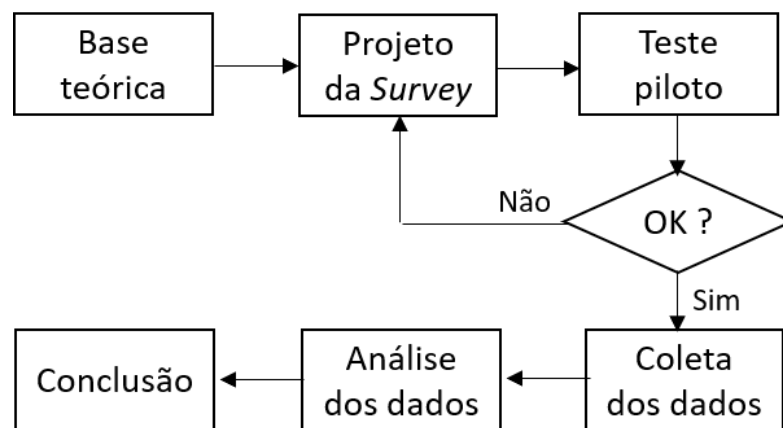
Segundo Gil (2018), uma pesquisa científica pode ser classificada segundo quatro critérios: área do conhecimento, finalidade, propósitos gerais e métodos empregados.

Com relação à área do conhecimento, esta pesquisa enquadra-se na grande área “engenharias”, mais especificamente na engenharia de produção, que segundo o IISE (2020) é “a especialidade da engenharia preocupada com o projeto, aprimoramento e instalação de sistemas integrados de pessoas, materiais, informações, equipamentos e energia. Ela se baseia em conhecimentos e habilidades oriundos das ciências matemáticas, físicas e sociais, em conjunto com os princípios e métodos de análise e projeto da engenharia, para especificar, prever e avaliar os resultados a serem obtidos a partir de tais sistemas”. Uma vez que a Manutenção Autônoma depende da interação dos operadores (pessoas) com suas máquinas (equipamentos), procedimentos de trabalho (informações), matérias-primas (materiais), com vistas à redução de desperdícios (entre eles energia, e em relação a esta, a da forma elétrica), esta metodologia enquadra-se nesta área de conhecimento.

A sua finalidade é aplicada, pois é voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação em uma situação específica, neste caso, na identificação dos fatores críticos para o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma e o seu impacto na OEE. Quanto ao seu propósito geral, apresenta-se como uma pesquisa descritiva, pois é voltada à compreensão dos fatores e impactos relacionados à Manutenção Autônoma para, a partir daí, fornecer subsídios

para a construção de teorias ou refinamento destas. Com relação ao método empregado, consiste em uma pesquisa de avaliação, também denominada levantamento de campo (*survey*), realizada por meio da aplicação e análise de questionários nas empresas selecionadas. Miguel & Lee Ho (2012, p.75) afirmam que no levantamento de campo (*survey*) o pesquisador avalia uma amostra de um problema a ser investigado, com o objetivo de extrair conclusões desta amostra. A figura 1 ilustra as etapas necessárias para a estruturação desta pesquisa de avaliação.

Figura 1 - Roteiro para a condução de uma pesquisa de avaliação (*survey*)



Fonte: adaptado de Miguel e Lee Ho (2012, p.95)

Na etapa “base teórica” foram selecionados tanto textos clássicos como aqueles referentes a aplicações recentes de assuntos como Manufatura de Classe Mundial, programas de melhoria contínua organizacionais, Manutenção Autônoma e Eficiência Global dos Equipamentos, visando uma delimitação do estudo para atendimento aos objetivos almejados.

Em seguida, na etapa de “projeto da *survey*” foram definidos aspectos tais como período para a condução da pesquisa, número de empresas e participantes (tamanho da amostra). Com relação ao instrumento de coleta de dados - no caso desta pesquisa um questionário - foi definido o que perguntar; como perguntar e para quem será perguntado. Também nessa etapa foram definidos os formatos dos dados a serem coletados e analisados, bem como desenvolvidas cartas de apresentação do projeto de pesquisa a serem enviadas aos respondentes.

Antes da aplicação do questionário é necessário testá-lo e, se necessário, efetuar ajustes para que seu preenchimento seja simples e apresente maior clareza ao respondente. Isso foi feito na etapa de “teste piloto”, a qual tem grande importância tanto para prover ao respondente um instrumento simples - evitando, portanto, erros - como fornecer ao pesquisador dados em formato adequado para posterior análise.

Após aprovada a aplicação teste do questionário, ele foi enviado (juntamente com a carta de apresentação do projeto e instruções para o seu preenchimento) à amostra definida na etapa de “projeto da *survey*”, visando a coleta dos dados necessários à pesquisa. Nesta etapa foi executado o acompanhamento dos questionários enviados, estabelecendo-se prazos a partir dos quais, em alguns casos, foram feitas cobranças visando aumentar a taxa de retorno, aspecto importante para se obter uma melhor qualidade nas análises.

Após o recebimento de uma quantidade mínima de questionários (20% dos enviados) deu-se início ao processo de inserção dos dados em uma planilha para, com apoio de um *software* estatístico, analisá-los e apresentar conclusões sobre os resultados obtidos, buscando-se assim apresentar uma contribuição científica ao problema de pesquisa estudado.

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma: no capítulo 1 foi apresentada a introdução ao tema da dissertação e expostos o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa. Em seguida foram apresentadas as suas delimitações e finalmente a metodologia a ser utilizada na pesquisa.

Entre os capítulos 2 e 4 são apresentados os fundamentos teóricos que embasam a pesquisa. O capítulo 2 inicia com a Manufatura de Classe Mundial e em seguida são discutidos os principais programas de Melhoria Contínua Organizacionais que a suportam. No capítulo 3 é apresentada a Manutenção Autônoma, as etapas e cuidados para sua implantação, além de uma apresentação do estado da arte em que se encontra, bem como aspectos de sua contribuição na redução do consumo de energia elétrica na indústria. O capítulo 4 apresenta uma ferramenta que é comumente utilizada para se medir os impactos da Manutenção Autônoma nos sistemas produtivos: a Eficiência Global dos Equipamentos. Após a sua definição e apresentadas as etapas para a sua implantação e forma de cálculo, discute-se algumas aplicações recentes, exemplificando o estado da arte do assunto.

Os capítulos 5 a 8 apresentam a realização da pesquisa propriamente dita. No capítulo 5 é explanado o seu planejamento, enquanto o capítulo 6 explica como foram coletados os dados. No capítulo 7 são apresentadas análises desses dados com o intuito de se atender aos objetivos geral e específicos da pesquisa. Finalmente o capítulo 8 contempla a conclusão da pesquisa, incluindo recomendações sobre possíveis trabalhos futuros correlatos ao tema.

2 MANUFATURA DE CLASSE MUNDIAL

2.1 Contextualização

Desde a formação das primeiras sociedades, num amplo contexto, pode-se constatar que a capacidade de sobrevivência e a qualidade de vida do homem tem melhorado significativamente. Leme (*apud* Contador, 1998, p.1) afirma que “comemos, vestimo-nos, moramos, viajamos e divertimo-nos de forma diferente de nossos antepassados, estando nossas necessidades atuais mais bem satisfeitas do que há um século”. Esta melhoria resulta da incorporação às nossas vidas dos resultados de descobertas e invenções da engenharia em forma de novos produtos e serviços que consumimos ou utilizamos em nosso cotidiano. Entretanto, para que os produtos sejam competitivos e, portanto, acessíveis a um público que deles necessita e tenha as suas expectativas atendidas, surge a gestão de operações com um papel fundamental neste contexto.

Baroncelli & Ballerio (2016, p.51) definem “operações” como um conjunto de processos que executam uma estratégia. Se considerarmos um processo como algo que transforma entradas (materiais, informações e pessoas) em saídas (produtos, serviços e necessidades atendidas), pode-se inferir que para os processos apresentarem resultados satisfatórios é necessária alguma forma de gestão sobre estes. Nesse sentido, Rentes (2008, p.41) afirma que a gestão de operações corresponde ao conjunto das ações de planejamento, gerenciamento e controle das atividades operacionais necessárias à obtenção de produtos e serviços oferecidos ao mercado consumidor.

Segundo Slack, Brandon-Jones & Johnston (2018, p.3), qualquer operação produz bens ou serviços, ou ainda um misto dos dois, e que esta produção pode ser melhor compreendida por meio de um modelo que transforma “entradas” em “saídas” composto por três elementos básicos: recursos de transformação (instalações, máquinas, funcionários), recursos a serem transformados (materiais, informações, clientes) e o processo de transformação (o qual fornece produtos ou serviços). Cada elemento deste modelo possui importância e relevância próprias para a geração de valor aos clientes, porém um deles requer atenção especial quando se buscam elevados índices de disponibilidade, performance e qualidade nos equipamentos da operação: os “recursos de transformação”. Estes podem contribuir de forma decisiva quando se busca produzir com níveis de qualidade e custos que possibilitem competir em um mercado globalizado.

No clássico livro “*World Class Manufacturing*” Schonberger (1986) afirma que ao se buscar uma manufatura de classe mundial, não apenas os gestores, mas todos os funcionários devem estar envolvidos em iniciativas que busquem o melhoramento contínuo da organização, o que vem de encontro ao que afirmam Lam, O’Donnell e Robertson (2015). Em contrapartida, os principais aspectos que podem dificultar esta busca estão relacionados a questões organizacionais e gerenciais (Lodgaard et al 2016). Schonberger (1986) ainda enfatiza que a Manufatura de Classe Mundial está fundamentada em três importantes preceitos, o JIT (*Just-in Time*), o TQC (*Total Quality Control*) e o TPM (*Total Productive Maintenance*). Tais preceitos estão relacionados a programas de melhoramento contínuo que vieram a ser conhecidos mundialmente como Manufatura Enxuta, Seis Sigma e Manutenção Produtiva Total, respectivamente.

A relevância da Manufatura de Classe Mundial pode ser constatada por meio de estudos que incluem sistemas contábeis (Averina, Kolesnik e Makarova, 2016), medição de performance (Petrillo, De Felice e Zomparelli, 2018), modelagem de performance (Digalwar, Jindal e Sangwan, 2015), coexistência entre inovação e melhoramento contínuo (Furlan e Vinelli, 2018), otimização de manufatura (De Felice e Petrillo, 2015) e até mesmo comparação entre modelos WCM (Chiarini e Vagnoni, 2014).

2.2 Programas de melhoria contínua organizacional

Desde o surgimento da gestão de operações, com base na cronologia histórica apresentada por Corrêa & Corrêa (2017, p.63), nota-se que sempre houve a preocupação de se aprimorar tal gerenciamento por meio de novas teorias, podendo tanto estar relacionadas a novas ferramentas como também a novas abordagens de gestão. Isso se justifica tanto sobre problemas operacionais (internos às organizações), por exemplo estudos de tempos e movimentos realizados nas fábricas da Ford na década de 1920, como também sobre problemas estratégicos (externos às organizações), tal como o impacto de concorrentes japoneses na competitividade da indústria norte americana em fins da década de 1960 (Skinner, 1969).

Um cuidado a ser considerado é que o uso de ferramentas de gestão, em geral, proporciona resultados focados ao problema detectado nem sempre levando em consideração o quanto este problema impacta (ou não) na estratégia organizacional. Indo além, isso significa que “ótimos locais” não necessariamente contribuem para “ótimos globais”, surgindo a preocupação de que todos os recursos humanos, financeiros e de tempo da organização estejam devidamente alocados para a solução de seus problemas prioritários. Nesse contexto surgem os

“programas de melhoramento contínuo das empresas”, sendo pertinente a definição de cada termo deste conceito.

Segundo o *Project Management Body of Knowledge* (PMI, 2017), um programa é um conjunto de projetos gerenciados de modo coordenado visando obter benefícios que não seriam possíveis caso fossem gerenciados individualmente. Já um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único. O termo “melhoramento contínuo” significa a melhoria de determinados indicadores de uma organização por meio de ações, implementadas por meio de projetos ou iniciativas, de forma periódica, ou seja, contínua. Hill (2011, p.82), em sua *“The Encyclopedia of Operations Management”*, relaciona o termo *continuous improvement* a *kaizen*, *six sigma*, *lean thinking* e TQM, ou seja, tanto à ferramenta (*kaizen*) como aos programas para a melhoria de processos (demais termos). Já uma “empresa”, na concepção jurídica do termo, é uma atividade econômica exercida profissionalmente por um empresário por meio da articulação dos fatores produtivos para a produção ou circulação de bens e serviços (COELHO, 2010).

Do exposto, pode-se relacionar um programa de melhoramento contínuo a um conjunto de ações e projetos com execução coordenada, voltados a atingir os objetivos da organização de forma contínua ou ainda cíclica (semestralmente ou anualmente), possibilitando à operação articular seus fatores produtivos para a geração e/ou circulação de bens e/ou serviços, atendendo plenamente as necessidades de seus clientes.

Carnerud, Jaca e Bäckström (2018) relatam padrões e tendências entre 1980 e 2017 sobre iniciativas de melhoramento contínuo, evidenciando crescimento no período e corroborando a sua importância para a moderna gestão de operações. Para que tais iniciativas sejam efetivas é importante que nos programas de melhoramento contínuo haja uma gestão adequada sobre os fatores críticos de sucesso das iniciativas. Nesse sentido, Gonzalez Aleu e Van Aken (2016) realizam uma revisão de literatura sobre estes fatores em projetos de melhoria contínua, enquanto Wijayanti et al (2020) apresentam um estudo identificando quais aspectos relacionados aos colaboradores envolvidos em iniciativas de melhoria contínua que mais contribuem para o sucesso do programa. Por sua vez, Hermkens, Dolms e Romme (2019) discutem acerca das respostas da média gerência às iniciativas de melhoramento contínuo da alta gerência, demonstrando quão importante é o desdobramento de tais iniciativas para que estas sejam bem sucedidas.

Dentre vários programas de melhoria contínua desenvolvidos durante a evolução da gestão de operações, quatro merecem destaque (Baroncelli & Ballerio, 2016): Manufatura Enxuta, Manutenção Produtiva Total, Seis Sigma e Gestão de Operações de Classe Mundial. Os dois primeiros tiveram origem no oriente, enquanto os dois últimos no ocidente. Um aspecto interessante é que no Japão as ferramentas de melhoria contínua foram desenvolvidas inicialmente no chão de fábrica, em seguida pesquisadas academicamente. O contrário geralmente ocorria no ocidente: o desenvolvimento iniciava na academia para depois ser implantado no chão de fábrica. Isso, talvez, devido ao fato de que no Japão muitas das ferramentas surgiram diante de necessidades ao invés de desejos, tal como afirma Kiichiro Toyoda (presidente da Toyota em 1945): “alcancemos os Estados Unidos em três anos. Caso contrário, a indústria automobilística do Japão não sobreviverá” (Ohno, 1997, p.25). Nesse sentido Taiichi Ohno, considerado um dos pais da Manufatura Enxuta, complementa: “a necessidade é a mãe da invenção”.

2.3 Manufatura Enxuta

Até fins do século XIX, de acordo com Womack, Jones & Roos (2004, p.3) a produção artesanal utilizava trabalhadores altamente qualificados e ferramentas simples, mas flexíveis, para produzir exatamente o que o cliente queria. Sabe-se que um cliente costuma valorizar produtos customizados às suas necessidades, porém o problema é o seu custo elevado para a maioria das pessoas, além de tais produtos apresentarem maior variabilidade em termos de qualidade, por tanto dependerem do talento do produtor artesanal. Nesse contexto, a produção em massa foi desenvolvida no início do século XX como uma alternativa ao sistema de produção artesanal.

No sistema de produção em massa são utilizados profissionais excessivamente especializados para projetar produtos manufaturados por trabalhadores semi ou não-qualificados, utilizando máquinas dispendiosas, geralmente caras e especializadas em uma única tarefa. Por esses motivos, o produtor adiciona “folgas” como suprimentos, trabalhadores e espaços adicionais, visando assegurar a continuidade da produção. Nesse sistema de produção, o cliente obtém preços mais baixos, porém à custa de menor variedade e métodos de trabalho que muitos trabalhadores consideram monótonos (WOMACK, JONES, ROOS, 2004).

Foi com base nos sistemas de produção artesanal e em massa que surgiu a Manufatura Enxuta, combinando as vantagens de ambos, evitando os altos custos da produção artesanal e a baixa flexibilidade da produção em massa. Na Manufatura Enxuta as equipes são compostas

por trabalhadores polivalentes, máquinas altamente flexíveis e automatizadas, visando produzir volumes de produtos com ampla variedade, sob uma cultura organizacional de combate aos desperdícios, geralmente identificados no fluxo de valor do produto ou serviço da empresa. Nesse contexto, um dos principais objetivos da Manufatura Enxuta é reduzir os *leadtimes* (tempos de atravessamento nos processos). Liker (2005, p.47-48) afirma que oito tipos de desperdícios podem aumentar os *leadtimes*: superprodução, espera, transporte, defeitos, movimentação, excesso de processamento, estoque e conhecimento sem uso.

Womack & Jones (2004) propõem cinco princípios, organizados em uma sequência temporal, com o objetivo de transformar uma organização de massa para uma organização enxuta: (1) determinar o que é valor para o cliente, (2) identificar o fluxo de valor para cada produto / serviço, (3) fazer o valor fluir sem interrupções, (4) deixar que o cliente puxe o valor do produtor e, finalmente, (5) buscar a perfeição. Nesse contexto fica clara a preocupação da Manufatura Enxuta em atender aos clientes no tempo certo e com o máximo de valor agregado, contribuindo de forma efetiva à Manufatura de Classe Mundial.

Apesar de a manufatura enxuta ter surgido na segunda metade do século XX no Japão ela continua sendo aplicada em uma variedade de processos, tais como petroquímicos (Passos e Aragão, 2013), serviços (Lopez, Requena e Lobera, 2015), logística (Carvalho et al, 2017), desenvolvimento de novos produtos (Marodin et al, 2018), também havendo preocupação nos cuidados com liderança envolvida no seu processo de implantação (Alefari, Salonitis e Xu, 2017) bem como sua integração com a indústria 4.0 (Buer, Strandhagen e Chan, 2018). Quando sua aplicação está relacionada à manufatura envolvendo máquinas e equipamentos, uma ferramenta de melhoria que se destaca evoluiu a partir de uma abrangência local (máquina) para um programa completo de melhoria contínua, a Manutenção Produtiva Total.

2.4 Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total (TPM) surgiu a partir de estudos de manutenção preventiva iniciados na década de 1950 por Seiichi Nakajima (Nakajima, 1988). Desde 1962, quando passou a visitar regularmente os Estados Unidos, ele foi paulatinamente desenvolvendo uma metodologia – mais tarde denominada de Manutenção Autônoma - que tinha como objetivo ampliar a abrangência da manutenção preventiva por meio do envolvimento dos operadores nos processos, vindo a ser introduzida no Japão em 1971 na Nippondenso, uma empresa do grupo Toyota. Em seguida foi difundida pelo grupo e para outras empresas de

fabricação e montagem dos ramos automotivo, bens de capital e semicondutores. Na década de 1980 expandiu-se para indústrias de processo (químicas, alimentos, cimento e cerâmica).

Quando o foco inicial do TPM estava restrito aos equipamentos, Nakajima (1988, p.10-11) definiu o TPM como “manutenção produtiva envolvendo total participação dos funcionários”, destacando cinco elementos que o caracterizavam: (1) TPM significa maximizar a eficiência do equipamento; (2) TPM possibilita estabelecer um sistema completo de manutenção produtiva, projetado para toda a vida útil do equipamento; (3) TPM envolve todos os setores envolvidos com o equipamento, incluindo o planejamento, operação e manutenção; (4) TPM é baseado na participação de todos membros, da alta gestão ao chão de fábrica e (5) TPM realiza a manutenção produtiva por meio da gestão da motivação, isto é, atividades de pequenos grupos.

Mais tarde, Nakajima (1996, p.11) apresentou uma nova definição de TPM, com um foco expandido para toda a empresa: (1) TPM possibilita criar um sistema corporativo que maximiza a eficiência do sistema de produção; (2) TPM cria sistemas para prevenir a ocorrência de todas as perdas na linha de frente e é focado no produto final, incluindo sistemas para buscar “zero acidentes, zero defeitos e zero falhas” em todo o ciclo de vida do sistema de produção; (3) TPM é aplicado em todos os setores, incluindo a produção, desenvolvimento de produtos e departamentos administrativos; (4) TPM é baseado na participação de todos os membros, desde a alta administração até os funcionários da linha de frente e (5) TPM atinge zero perdas por meio da sobreposição de atividades de pequenos grupos às rotinas dos trabalhadores.

Sob uma visão norte americana, Rubrich & Watson (2004, p.209) definem TPM como “um método para o melhoramento contínuo da eficiência do equipamento de produção ou processo de manufatura por meio do envolvimento de todas as pessoas da organização”, característica essa que o difere de outras iniciativas da manutenção, tais como manutenção corretiva (corrigir falhas), preventiva (prevenir falhas) ou ainda a preditiva (prever falhas).

Segundo Nakajima (1988, p.3), as atividades de TPM podem contribuir eficazmente para o melhoramento dos indicadores relacionados à sigla PQCDMS (produtividade, qualidade, custo, distribuição, segurança e moral) na empresa. O suporte para o melhoramento de tais indicadores pode ocorrer a partir da formação de equipes multifuncionais - denominadas como “pilares” por Augustiady & Cudney (2016, p.13) - para conduzir oito categorias de atividades, propiciando assim uma gestão integrada e efetiva da operação da empresa: melhoramento focalizado; manutenção autônoma; manutenção planejada; educação e treinamento; gestão

antecipada de novos produtos e equipamentos; manutenção da qualidade; setores administrativos e de apoio e, finalmente, saúde, segurança e meio ambiente.

Apesar de o TPM ter surgido no início da década de 70 (Nakajima, 1988) suas aplicações são amplas, envolvendo indústrias químicas (Mwanza e Mbohwa, 2015), farmacêuticas (Modgil e Sharma, 2016), automotivas (Habidin et al, 2018) e até hotelaria (Manjunatha, Srinivas e Ramachandra, 2018). Preocupações como barreiras para a sua implantação (Attri, Grover e Dev, 2014) bem como melhoria da performance da manufatura com o seu uso (Hooi e Leong, 2017) demonstram sua importância na manufatura mesmo após quase cinquenta anos de seu surgimento.

Uma das principais contribuições que o TPM possa trazer para a Manufatura de Classe Mundial refere-se ao aumento da eficiência dos equipamentos. Tendo visto que a contribuição da Manufatura Enxuta reside no melhoramento dos fluxos de valor, será apresentado um programa de melhoramento contínuo cuja ênfase principal reside na otimização da qualidade do produto: o Seis Sigma.

2.5 Seis Sigma

Werkema (2012, p.15) define o Seis Sigma como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa que visa aumentar drasticamente a performance e a lucratividade das empresas por meio da melhoria da qualidade de produtos, processos e da satisfação dos clientes. Matematicamente “seis sigma” está relacionado a um índice de conformidade de 99,99966% em produtos/serviços, representando 3,4 defeitos para cada milhão de oportunidades.

O Seis Sigma nasceu na Motorola em 1987 a partir de conceitos e métodos aplicados pelo engenheiro Bill Smith, embora muitos destes já haviam sido desenvolvidos previamente, tendo o Seis Sigma o diferencial de apresentá-los por meio de etapas adequadamente estruturadas. Pande, Neuman & Cavanagh (2007) destacam que na época a Motorola estava sob forte ameaça de concorrentes japoneses e que o Programa Seis Sigma fez com que ela atingisse objetivos de melhoria da ordem de 10 vezes a cada dois anos, via melhoramentos em seus produtos e processos. Apenas dois anos após ter lançado o Seis Sigma, a Motorola foi honrada com o prêmio *Malcolm Baldrige National Quality Award*, que atestava a sua nova condição de empresa de Manufatura de Classe Mundial.

A aplicação do Seis Sigma é feita sobre processos, sejam eles técnicos ou não técnicos. Rotondaro (2002, p.21) afirma que um processo é visto como técnico quando apresenta como

entradas peças, montagens e matérias-primas. A saída é normalmente um produto, montagem ou submontagem. Em um processo técnico o fluxo do produto é muito visível e tangível, existindo muitas oportunidades para a coleta dos dados e medições. Por outro lado, um processo não técnico (administrativo, de serviços ou transações) é mais difícil de ser visualizado. Nesses processos as entradas podem não ser tangíveis, porém é importante a sua tratativa enquanto “processos” para que seja possível melhor entendê-los, determinar suas características, otimizá-los e controlá-los, desta forma, eliminando a possibilidade de erros e falhas.

O método para se aplicar o Seis Sigma com o objetivo de resolver um problema é denominado de DMAIC (*define, measure, analyze, improve, control*), o que significa uma aplicação sequencial de etapas que objetivam - em relação ao processo que contém o problema em estudo – defini-lo, medi-lo, analisá-lo, melhorá-lo e controlá-lo.

Da mesma forma que os programas de Manufatura Enxuta e Manutenção Produtiva Total, o Seis Sigma também apresenta aplicações abrangentes, incluindo, por exemplo, os setores hospitalares (Improta et al, 2019), educação (LeMahieu, Nordstrum e Cudney, 2017), performance corporativa (Shafer e Moeller, (2012), estratégia de operações (Drohomeretsky et al, 2014), além da sua integração com a indústria 4.0 (Arcidiacono e Pieroni, 2018). O Seis Sigma também apresentou evolução integrando a Manufatura Enxuta em suas aplicações, tal como atestam Pepper e Spedding (2010) e Salah, Rahim e Carretero (2010). A preocupação com os fatores críticos de sucesso para a sua implantação é tratada nos trabalhos de Tapa et al (2014), Marzagão e Carvalho (2016) e Stankalla, Koval e Chromjakova (2018).

2.6 Gestão de Operações de Classe Mundial

O Programa WCOM (Gestão de Operações de Classe Mundial) tem suas raízes nos três programas até aqui apresentados: a Manufatura Enxuta com foco inicial em Zero Estoques tendo o *leadtime* como principal indicador; o TPM objetivando Zero Quebras e o Seis Sigma buscando o Zero Defeitos (ou Zero Variabilidade) com aplicação de ferramentas estatísticas, tendo como indicador o índice de capacidade de processo (BARONCELLI, BALLERIO, 2016).

Nesse contexto, o WCOM é fundamentado na obtenção de resultados via redução das perdas relacionadas a *leadtimes*, qualidade e eficiência dos equipamentos, por meio da capacitação, envolvimento e desenvolvimento de todos os funcionários da organização. Sua abordagem inicia no planejamento estratégico da organização, pelo qual se realiza um processo de desdobramento de objetivos e metas a serem atingidas. Por meio do planejamento estratégico

e seu desdobramento tornam-se claros aspectos como o que atingir, porque atingir, como atingir, onde atingir, quem vai atingir, em quanto tempo será atingido e quanto custará atingir.

Em um estudo recente sobre a integração de um Programa de Manufatura de Classe Mundial com a Indústria 4.0, Ebrahimi, Baboul & Rother (2019) afirmam que a evolução nos equipamentos produtivos e nas tecnologias de comunicações aliados a uma demanda cada vez mais personalizada de produtos, têm forçado as empresas de manufatura a adaptar seus sistemas de produção a esse contexto. Segundo os autores um programa de Manufatura de Classe Mundial é baseado principalmente em melhoria contínua e redução de custos, mas sem necessariamente apresentar uma visão global de otimização de custos. Nesse contexto destaca-se o programa WCOM em relação aos demais programas apresentados, pois ele direciona iniciativas de melhoria contínua ligadas à estratégia da empresa. Uma vez que a Indústria 4.0 fundamenta-se em princípios de se utilizar todos os dados disponíveis nos sistemas de informação de modo a tornar as decisões descentralizadas, sem deixar de considerar uma otimização global dos custos, o WCOM se apresenta alinhado com este conceito.

3 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

Como visto, a busca da construção de uma empresa de Manufatura de Classe Mundial pode ser possível com a introdução programas de melhoria contínua organizacional. Nos quatro programas apresentados no capítulo anterior há aplicações de ferramentas em comum, entre elas, a Manutenção Autônoma examinada no presente capítulo, e a OEE no capítulo 4.

3.1 Definição

No início da década de 70, no Japão, a Manutenção Autônoma surgiu como um dos objetivos do programa TPM, criado por Nakajima (1988, p.xix), que destacava como características importantes deste programa: (1) atividades para maximizar a eficiência dos equipamentos; (2) manutenção autônoma realizada pelos operadores e (3) atividades de pequenos grupos para a melhoria dos resultados. O autor não define especificamente o termo “Manutenção Autônoma” em sua obra, mas a partir das características supracitadas entende-se que a Manutenção Autônoma está relacionada aos operadores realizarem atividades de inspeção e conservação dos equipamentos, contribuindo assim para a melhoria de suas eficiências.

Segundo Tajiri & Gotoh (1992, p. 51) a Manutenção Autônoma possui dois objetivos principais: (1) na perspectiva do homem, ela contribui para o desenvolvimento de operadores experientes e com novas responsabilidades, ao invés de somente operar o equipamento, e (2) na perspectiva do equipamento, ela estabelece um chão de fábrica organizado onde qualquer desvio das condições normais de operação pode ser detectado rapidamente.

Por sua vez, Kimura (1997, p.8) define Manutenção Autônoma como “atividades projetadas para envolver operadores na manutenção de seus equipamentos”, enquanto Nakazato (1994, p.87) afirma que “a Manutenção Autônoma inclui qualquer atividade realizada pelo departamento de produção que possua função de manutenção e que se destine a manter a planta operando de forma eficiente e estável para atender os planos de produção”.

A partir das definições apresentadas nota-se que a Manutenção Autônoma apresenta uma relação muito próxima com as perdas relacionadas aos equipamentos. Tajiri & Gotoh (1992, p.2-5) citam que as perdas no chão de fábrica podem ser classificadas em categorias, sendo importante entender a sua natureza, e propõem uma classificação de seis grandes perdas: quebras de equipamento; *setups* e ajustes; pequenas paradas; baixa velocidade; defeitos de qualidade nos produtos e queda no rendimento do uso das matérias primas nos equipamentos.

Outro aspecto importante é que a contribuição da Manutenção Autônoma em busca da Manufatura de Classe Mundial pode extrapolar os resultados da OEE, incluindo um efetivo desenvolvimento das pessoas na empresa. Nakajima (1988, p.10) afirma que cinco elementos definem completamente o TPM: (1) a possibilidade de maximizar a eficiência dos equipamentos; (2) o estabelecimento de um sistema de manutenção produtiva para o ciclo de vida dos equipamentos; (3) a implantação por meio de vários departamentos (engenharia, manutenção, operação); (4) o envolvimento de todos os colaboradores, da alta administração aos operadores e (5) a promoção da manutenção produtiva através da motivação de colaboradores e das atividades de pequenos grupos. Assim, nos cinco elementos apresentados, nota-se a participação do “M” mão de obra (pessoas) como recurso fundamental para uma implantação bem sucedida do programa. Nesse contexto a Manutenção Autônoma pode contribuir para a integração dessas pessoas em um programa de melhoria contínua, conforme será detalhado na próxima seção.

A Manutenção Autônoma também apresentou evolução em seu escopo, o qual inicialmente abrangia apenas o cuidado e a manutenção básica do equipamento feita pelos operadores até, mais tarde, englobar atividades de gestão do equipamento, também executadas pelos próprios operadores. Nesse contexto o termo “Manutenção Autônoma” evoluiu para “Gestão Autônoma”, um método composto por sete etapas que desenvolve os operadores a partir de atividades práticas, mas sistemáticas, que vão desde a conservação até a gestão (medição, análise e melhoramento) da eficiência global de seu equipamento, podendo também impactar nos indicadores PQCDSM (produtividade; qualidade; custo; entrega ou inventário; segurança e moral dos colaboradores).

3.2 Etapas para a implantação

A descrição das sete etapas da Manutenção Autônoma varia sutilmente entre sete autores pesquisados para a realização deste trabalho, conforme ilustra o quadro 1.

Nakajima (1988, p.77), o precursor da Manutenção Autônoma, apresentou a primeira descrição das sete etapas, e na sequência, Tajiri & Gotoh (1992, p. 58-61) apresentaram a sua. Por sua vez, Nakazato (1994, p.102) definiu as etapas enfatizando a sua implantação em indústrias de processos. Na mesma época, Robinson & Ginder (1995, p.94) apresentaram as etapas baseadas na implantação do TPM nos Estados Unidos e, finalmente, Morikawa (1996, p.32), definiu as etapas considerando sua implantação em indústrias de fabricação e/ou montagem.

Quadro 1 – Comparativo entre definições das etapas da Manutenção Autônoma

Autor / Etapa	NAKAJIMA (1988)	TAJIRI & GOTOH (1992)	NAKAZATO (1994)	ROBINSON & GINDER (1995)	MORIKAWA (1996)
1	Limpeza inicial	Limpeza inicial	Realizar limpeza inicial	Limpeza inicial	Limpeza inicial
2	Contramedidas para as fontes de problemas	Contramedidas para as fontes de contaminação	Tratar fontes de sujeira e locais inacessíveis	Medidas preventivas para limpeza	Contramedidas para fontes de problemas e locais difíceis
3	Padrões de limpeza e lubrificação	Padrões de limpeza e lubrificação	Estabelecer padrões de limpeza e inspeção	Desenvolvimento de padrões de limpeza e lubrificação	Estabelecimento de padrões provisórios para manutenção autônoma
4	Inspeção geral	Inspeção geral	Conduzir a inspeção geral do equipamento	Inspeção geral	Inspeção geral
5	Inspeção autônoma	Padrões de manutenção autônoma	Realizar a inspeção geral do processo	Inspeção autônoma	Inspeção autônoma
6	Organização e cuidados	Garantia da qualidade do processo	Manutenção autônoma sistemática	Disciplina no processo	Padronização
7	Manutenção autônoma total	Supervisão autônoma	Praticar a gestão autônoma total	Manutenção autônoma independente	Gestão autônoma

Fonte: o autor (2020)

No quadro 1 constata-se que as principais diferenças entre as abordagens residem na etapa 6, na qual Tajiri & Gotoh destacam a qualidade do processo, enquanto Nakajima, Robinson & Ginder e Morikawa enfatizam, respectivamente, organização, disciplina e padronização no equipamento. Por sua vez, Nakazato, para a indústria de processo, propõe uma Manutenção Autônoma sistemática.

É importante salientar que o sucesso das etapas está diretamente ligado ao treinamento e desenvolvimento dos operadores nas mesmas. Segundo Morikawa (1996, p.212-14), cada etapa possui atividades específicas a serem executadas pelos operadores e mantenedores; objetivos voltados tanto ao equipamento como às pessoas, além dos papéis dos gestores na implantação da Manutenção Autônoma. A falta de clareza e/ou execução inadequada impactará negativamente nos resultados da implantação, os quais, em última instância, podem estar ligados ao desenvolvimento dos colaboradores e ao resultado da OEE.

Um aspecto muito importante relacionado a implantação da Manutenção Autônoma é a formalização dos conhecimentos tácitos (que vão sendo adquiridos com a evolução das etapas) em explícitos, por meio de documentos denominados OPL (lição de um ponto), criados pelos próprios operadores (Szwedzka e Kaczmarek, 2017). Estes documentos, em geral elaborados

em uma folha padrão A4, objetivam ensinar um assunto específico em no máximo cinco minutos, pois priorizam ilustrações (fotos ou desenhos) ao invés de textos, podendo ser de três tipos: conhecimento básico (sobre algum assunto); solução de problemas (orienta como atuar sobre um problema) e melhoria (registra uma melhoria “antes” e “depois” de sua implantação). Dentre várias vantagens proporcionadas com o uso desses documentos destacam-se: (1) a perenização do conhecimento adquirido com a implantação da Manutenção Autônoma, (2) a utilização desses documentos para treinamento de novos operadores, e (3) a possibilidade (e agilidade) de expansão desse conhecimento para equipamentos similares. Em praticamente todas as etapas da Manutenção Autônoma costumam ser criadas lições de um ponto.

A seguir são descritas as sete etapas para a implantação da Manutenção Autônoma. Em cada etapa serão destacadas as suas principais atividades, o papel dos operadores, mantenedores, áreas de apoio e dos gestores. A finalização de cada etapa pode ser considerada como uma conquista, não sendo possível evoluir com etapas subsequentes caso as antecessoras não tenham sido finalizadas em conformidade com os requisitos esperados. A validação da conquista de cada etapa costuma ser feita por meio de auditorias, geralmente realizadas por consultores ou integrantes do pilar de Manutenção Autônoma. Sugestões de *check-lists* de auditorias para cada etapa são fornecidas em Tajiri & Gotoh (1992). A realização de auditorias contribui para que o programa de desenvolvimento dos operadores ocorra de forma sólida, visando validar tanto o nível de conhecimento dos envolvidos na etapa avaliada, como a conversão desse conhecimento em resultados no equipamento, contribuindo para a perenização destes no longo prazo.

3.2.1 Etapa 1 - Limpeza inicial

O principal objetivo dessa etapa é o de fazer com que os operadores limpem, inspecionem e identifiquem anomalias no seu equipamento. Uma vez identificadas anomalias tais como folgas, ruídos anormais, superaquecimentos, vazamentos de óleo, estas serão solucionadas por meio de manutenções corretivas programadas, evitando, portanto, manutenções corretivas emergenciais, em muitos casos mais onerosas do que as primeiras.

As principais atividades desta etapa são: remoção de sujeira (superficial e no interior do equipamento); identificação e exposição de fontes de sujeira e locais de difícil acesso; identificação e solução de anomalias no equipamento por meio da etiquetagem – a qual, segundo Nosaku (1997, p.27) expõe as anomalias evitando o esquecimento de sua solução - e,

finalmente, a elaboração e implantação de um padrão provisório de limpeza. Nakajima (1988, p.76) enfatiza que atividades de limpeza são um processo educacional que levanta questões importantes (por exemplo, por que este local acumula sujeira tão rapidamente?) e responde outras (por exemplo, não há vibração quando este parafuso está adequadamente fixado). Nesse contexto, os operadores aprendem que limpeza também é sinônimo de inspeção.

De acordo com Nakazato (1994, p.102) estas atividades previnem a degradação acelerada do equipamento; reduzem perdas (quebras e falhas, pequenas interrupções imprevistas do equipamento, defeitos nos produtos, tempo elevado de *setup*, baixa velocidade) cujas causas raízes estejam relacionadas com sujeira e sintomas iniciais de falhas; além de exporem anomalias para que estas possam ser solucionadas. Dessa forma os operadores adquirem maior familiaridade com seus equipamentos e desenvolvem um maior senso de propriedade sobre eles, operacionalizando o conceito “da minha máquina cuida eu”. Os gestores têm participação fundamental neste processo, quando explicam aos operadores as relações entre sujeira e degradação acelerada do equipamento, bem como a importância da manutenção das suas condições de base, por meio de limpeza, inspeção e etiquetagem.

Uma vez constatado (por meio de auditorias) que os operadores aprenderam a identificar anomalias, a manter o equipamento livre de sujidades que possam ocasionar perdas e que este apresente condições adequadas de funcionamento, passa-se à etapa 2.

3.2.2 Etapa 2 - Contramedidas para as fontes de sujeira e locais de difícil acesso

Ao iniciar esta etapa os operadores já se encontram executando o padrão provisório elaborado na etapa anterior, visando manter o equipamento limpo e inspecionado. Porém, geralmente, demanda-se um tempo considerável para a realização de todas as atividades de limpeza previstas neste padrão. Assim, na etapa 2 realizam-se estudos visando reduzir este tempo, mas sem renunciar ao estado de limpeza obtido na etapa 1. Para isso busca-se identificar e implementar ações visando – nesta ordem - eliminar, conter ou reduzir as fontes de sujeira, consideradas as origens das necessidades de limpeza. Não sendo possível nenhuma dessas estratégias de ação, então procura-se simplificar a limpeza, a qual também poderá contribuir para a redução do tempo gasto com limpeza. Assim, de acordo com Tajiri & Gotoh (1992, p.113), objetiva-se manter o estado de limpeza obtido na etapa 1, porém, com as fontes de sujeira eliminadas.

Também na etapa 2 objetiva-se facilitar o acesso às áreas inacessíveis, uma vez que estas contribuem para o aumento do tempo de limpeza e/ou dificultam a sua realização. Com a implantação dessas ações, os equipamentos tornam-se mais fáceis de serem limpos, e o padrão provisório de limpeza é atualizado, requerendo menos tempo para ser cumprido. É importante frisar que quaisquer iniciativas de modificações estruturais dos equipamentos visando facilitar o acesso à limpeza ou inspeção, antes de serem implementadas, devem ser validadas com o setor de Segurança Ocupacional, visando evitar riscos de acidentes. Nesse sentido, técnicas como Análise Preliminar de Riscos (APR), proposta por Araújo (2011, p.83) podem ser aplicadas antes de quaisquer alterações físicas nos equipamentos.

Nesta etapa também é possível a introdução de controles visuais sobre parâmetros que os operadores - uma vez capacitados - possam inspecionar fácil e autonomamente, por exemplo, nível de óleo em redutor de velocidade e faixa de pressão em manômetro. Ortiz e Park (2011), em sua obra, apresentam vários exemplos de aplicação de controles visuais em uma fábrica para facilitar o processo de inspeção. Dessa forma formulam-se padrões de inspeção que, uma vez facilmente seguidos, podem prevenir manutenções corretivas emergenciais no equipamento.

Devido aos operadores participarem ativamente dessas análises com os mantenedores e técnicos de processo, são desenvolvidos aspectos de criatividade, trabalho em equipe e aumento de conhecimento sobre os mecanismos do equipamento. Nesse contexto, Tajiri & Gotoh (1992, p.113), afirmam que os operadores aprendem a resolver problemas e experimentar a satisfação por meio dos resultados bem sucedidos, aspectos esses geralmente inexistentes antes da introdução de um programa de Manutenção Autônoma. Segundo Nakazato (1994, p.103) é importante que os gestores cumpram o papel de encorajar ideias de melhoria, ensinar técnicas de análise, além de garantir que outros departamentos (manutenção, processos e recursos humanos, por exemplo) forneçam o apoio necessário a esta etapa.

Caso, após realização de auditoria, se constatar que os operadores demonstram conhecimento e propriedade sobre as análises e os melhoramentos feitos no equipamento, bem como seguem os novos planos estabelecidos e o equipamento apresenta melhores condições de limpeza e inspeção, prossegue-se para a etapa 3.

3.2.3 Etapa 3 - Padrões de limpeza, inspeção e lubrificação

Alguns especialistas - segundo Tanaka (1997, p.65) - apontam que cerca de 60% das quebras dos equipamentos podem ter relação com problemas de lubrificação, cujas principais

causas são o não cumprimento dos padrões de lubrificação estabelecidos, a falta de padrões de lubrificação, ou o uso de padrões incorretos. Tal afirmação reforça a importância da lubrificação adequada quando se buscam altas disponibilidades nos processos de produção, além de que máquinas mal lubrificadas podem contribuir para o aumento no consumo de energia elétrica, devido ao maior atrito entre as suas partes mecânicas.

A etapa 3 inicia com a consolidação dos padrões de limpeza e inspeção criados na etapa 2, seguida de um estudo do sistema de lubrificação do equipamento visando simplificá-lo para, posteriormente - segundo Tajiri & Gotoh (1992, p.150) - alocar as tarefas rotineiras de lubrificação entre a manutenção e a operação. Neste processo também se avalia a possibilidade de transferir atividades de lubrificação da manutenção para a operação. Como resultado, são estabelecidos padrões de limpeza, inspeção e lubrificação com execução demandando mínimos tempo e esforço dos operadores. Também se obtém uma redução das horas de lubrificação realizadas pelos mantenedores, para que estes possam se dedicar a outras atividades mais especializadas tais como a realização de manutenção preventiva ou análises de falhas, por exemplo.

É importante frisar que esta etapa requer grande empenho por parte da manutenção em estudar o sistema de lubrificação atual do equipamento com o objetivo de torná-lo mais simples, por meio da aplicação de técnicas visando eliminar pontos de lubrificação; centralizar pontos de lubrificação; reduzir tipos de lubrificantes; facilitar acesso aos pontos de lubrificação; introduzir padrões visuais para os lubrificantes e codificar pontos de lubrificação no equipamento. Após a simplificação é que a manutenção avalia a possibilidade de transferir atividades de lubrificação para a operação, mas não antes de capacitá-la em conceitos teóricos de lubrificação, bem como na execução prática do plano de lubrificação.

De acordo com Kimura (1997, p.8), as três primeiras etapas da Manutenção Autônoma apresentadas até o momento contêm as atividades básicas para manter o equipamento em bom estado, prevenindo-o da deterioração forçada. Isto contempla estabelecer as condições de base do equipamento para que sua operação seja acompanhada de limpeza, inspeção e lubrificação adequadas, controlando, dessa forma, fatores que possam acelerar a deterioração do equipamento tais como vazamentos, sujeira e pó. Nesse contexto, o operador adquire uma mudança de comportamento, pois passa a conhecer melhor seu equipamento, suas condições anormais, além de entender o que deve ser feito para mantê-lo funcionando adequadamente. Sendo comprovados esses resultados por meio de auditorias, segue-se para a etapa 4.

3.2.4 Etapa 4 - Inspeção geral

Nesta etapa o operador recebe capacitação sobre aspectos dos sistemas mecânicos, elétricos, hidráulicos, pneumáticos, entre outros, de seu equipamento, possibilitando-lhe inspecionar condições básicas e/ou parâmetros de componentes da máquina de modo a detectar sintomas iniciais de falhas. Uma vez identificados tais sintomas, o mantenedor é acionado para realizar uma manutenção corretiva programada, ao invés de uma manutenção corretiva emergencial caso a falha ocorresse. Também se intensifica o uso de controles visuais e técnicas para facilitar o acesso a áreas inacessíveis, com o intuito agilizar as atividades de inspeção.

A realização destas atividades aumenta o nível de conhecimento técnico do operador sobre o seu equipamento, pois passa a compreender as relações de causa e efeito de uma falha a partir do princípio de funcionamento dos componentes do equipamento, além de aprender como estes componentes devem ser mantidos e quais os seus sintomas iniciais de falhas.

O papel da manutenção nesta etapa é crucial para a transferência do conhecimento técnico da máquina e seus componentes para a operação. Caso esta transferência seja feita de forma inadequada o operador pode não identificar o sintoma inicial de uma falha, resultando na ocorrência desta e, por consequência, em uma manutenção corretiva emergencial. Por outro lado, sendo a transferência bem sucedida, a manutenção passa a ter a operação como uma importante aliada na redução de manutenções emergenciais e no aumento da disponibilidade do equipamento, devido inspeções preventivas serem realizadas pelo próprio operador durante a sua jornada de trabalho.

Nesse contexto, Kimura (1997, p.8), afirma que “na etapa 4 aprendemos mais sobre os subsistemas dos equipamentos através dos treinamentos de inspeção geral, e se implementam mais controles visuais para facilitar os procedimentos de inspeção”. Um exemplo seria a prevenção da falha de um rolamento a partir de uma inspeção realizada por um operador. O rolamento, antes do colapso completo, apresenta sintomas iniciais de falha na seguinte ordem: vibração; ruído; superaquecimento e, finalmente, o colapso. Caso o operador seja capacitado para inspecionar tais sintomas (por exemplo, vibração e/ou superaquecimento por meio do tato; e ruído excessivo pela audição), este avisará o mantenedor que o seu equipamento apresenta condições anormais, com isso possibilitará a realização de uma parada programada para a substituição do rolamento. Sabe-se que uma parada programada, geralmente, apresenta tempos de intervenção e custos menores em comparação a uma parada não programada.

A partir do exposto, uma vez constatado que os operadores adquiriram práticas de elaborar e executar planos de inspeção do equipamento, identificando sintomas iniciais de falhas e evitando a ocorrência de manutenções corretivas emergenciais - por meio de manutenções programadas a partir dos sintomas relatados - passa-se a uma nova abordagem de inspeção, a relacionada a qualidade do produto, enfatizada na etapa 5.

3.2.5 Etapa 5 - Inspeção autônoma

Em continuidade ao desenvolvimento técnico dos operadores, nesta etapa eles são capacitados a entender a relação entre as propriedades das matérias primas processadas e os seus equipamentos. Com base nas competências necessárias aos operadores de processos propostas por Nakazato (1994, p.125), os engenheiros de qualidade apresentam aos operadores os defeitos típicos dos produtos processados em seu equipamento. Os operadores, com apoio destes engenheiros irão identificar no equipamento os componentes e seus respectivos parâmetros os quais, sendo adequadamente inspecionados e mantidos, contribuirão para a prevenção dos defeitos nos produtos.

Nas etapas anteriores houve intensa transferência de conhecimento do setor de manutenção para a operação, porém, na presente etapa, esta transferência parte da área de qualidade. Aqui objetiva-se capacitar o operador não a inspecionar a qualidade do produto, mas sim a mantê-la por meio de inspeções de parâmetros de componentes do processo. O operador também passa a entender a relação entre o seu equipamento e as propriedades das matérias primas por ele processadas, desta forma possibilitando-o a realizar ajustes adequados no processo, reduzindo a ocorrência de defeitos nos produtos.

Além dos aspectos mencionados, Kimura (1997, p.8) destaca que nesta etapa também “move-se da prevenção da deterioração (obtida nas etapas 1 a 4) para a medição ou monitoramento da deterioração, continuando a fazer com que as atividades de manutenção sejam mais eficientes”. A medição da deterioração em componentes da máquina, além de prevenir defeitos nos produtos, também auxilia o setor de manutenção no planejamento do reparo ou da substituição do componente, conforme o avanço de seu estado de deterioração.

Foi exposto que as três primeiras etapas da Manutenção Autônoma promovem uma mudança de comportamento dos operadores. Por sua vez, as etapas 4 e 5 contribuem para melhorar a competência e a eficácia dos operadores, pois estes passam a conhecer melhor a função e estrutura de seus equipamentos bem como a relação entre o estado do equipamento e

a qualidade do produto nele produzido. Uma vez validadas estas competências por meio de auditorias, passa-se à penúltima etapa da Manutenção Autônoma.

3.2.6 Etapa 6 - Padronização

Esta etapa compreende a consolidação de todos os padrões elaborados nas etapas anteriores. Partem-se de revisões objetivando possíveis melhoramentos, acrescidas da elaboração de novos padrões relacionados às atividades do operador no entorno do equipamento (Morikawa, 1996, p.258). Também nesta fase, segundo (Robinson & Ginder, 1995, p.109-110), os *check-lists* relacionados aos padrões devem ser integrados com base no intervalo de execução (turno, diário, semanal, mensal) e distribuídos conforme uma rota lógica, reduzindo assim os tempos de execução pelo operador.

Robinson & Ginder (1995, p.112) ainda destacam que os benefícios típicos da implantação desta etapa são a redução do tempo de *setup*; a redução do tempo de ciclo; a padronização do manuseio de materiais e a redução do estoque em processo. Nota-se que estes conceitos apresentam relação direta com o programa de Manufatura Enxuta, pois a sua melhoria resulta em uma redução do *leadtime* global do processo. Assim, para se atingir esses objetivos, os operadores são capacitados e apoiados pela engenharia industrial, também sendo intensificada a aplicação da gestão visual no entorno do processo (Galsworth, 2017) incluindo, se necessário, sistemas *Kanban* (cartões com informações para produzir e parar a produção), consolidando o *modus operandi* até então desenvolvido.

Em resumo, as atividades de padronização desenvolvidas desde o início da Manutenção Autônoma até a presente etapa foram: padrões de limpeza e inspeção básica (etapa 2); lubrificação (etapa 3); inspeção geral do equipamento (etapa 4); inspeção de qualidade no processo (etapa 5) e, finalmente, os padrões de fluxo de materiais; *setup*, tempo de ciclo e estoque em processo (etapa 6). Os *check-lists* pertinentes aos padrões de limpeza, inspeção e lubrificação - que até a etapa 5 eram aplicados de forma isolada - passam a compor um único documento partindo de estudos suportados pela engenharia industrial, visando definir uma rota ótima de execução. Assim, economiza-se tempo na execução destes padrões, liberando os operadores para a próxima competência a ser desenvolvida na etapa 7.

Uma vez constatada pela auditoria a adequada integração dos padrões e os seus resultados nas pessoas e no equipamento, passa-se à última etapa da Manutenção Autônoma, formando-se os grupos autônomos de gestão e melhoria da eficiência dos seus equipamentos.

3.2.7 Etapa 7 - Gestão autônoma

Até a etapa 6 foram definidos e implantados padrões visando a reduzir perdas e trazer estabilidade ao equipamento. Segundo Morikawa (1996, p.261), na etapa 7 os operadores adquirem autoconfiança para superar desafios a partir das atividades previamente realizadas, pois nesta etapa eles serão capacitados a analisar, melhorar e manter a OEE de seu equipamento.

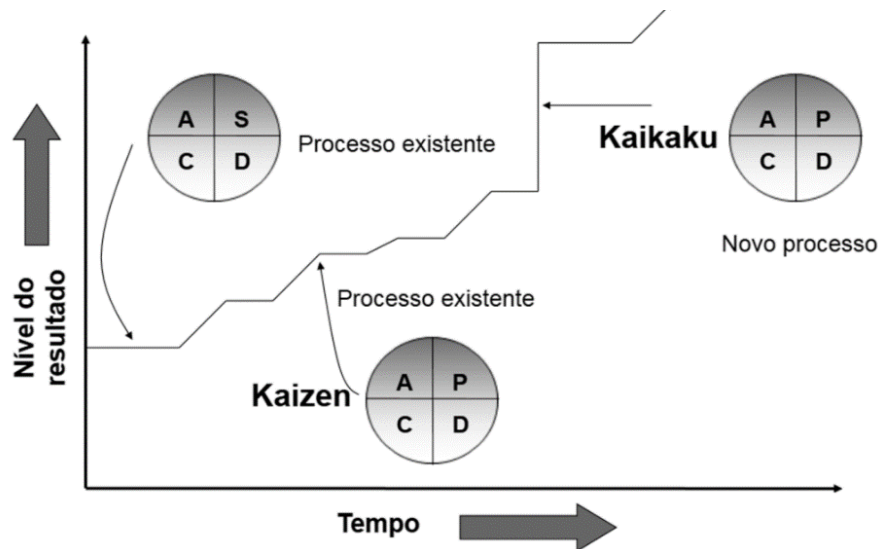
A análise pode ser realizada a partir do desdobramento da OEE em seus índices de disponibilidade, performance e qualidade ou ainda em suas seis grandes perdas (quebras, *setup*, pequenas paradas, baixa velocidade, defeitos e baixo rendimento) (Nakajima, 1988, p.14, 25). O melhoramento pode ser obtido por meio da condução de grupos *Kaizen* apoiados pelo método PDCA de solução de problemas (Campos, 2004, p.47) ou por outras ferramentas aplicáveis à redução de perdas, tais como a SMED (troca rápida de ferramenta) (Shingo, 2000, p.47), o relatório A3 (Sobek II & Smalley, 2010, p.53), o DMAIC (Werkema, 2012, p.30-31) entre outras. A manutenção dos resultados pode ser realizada por meio de ferramentas do gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia (Campos, 2004, p.85), fundamentado no ciclo SDCA (padronizar, executar, verificar, agir).

Segundo Imai (2005, p.3) “*Kaizen* significa melhoramento. Mais ainda, *Kaizen* significa melhoramento contínuo envolvendo a todos, inclusive gerentes e operários”. Nota-se aqui que o *Kaizen* é mais do que iniciativas isoladas de melhoramento, mas sim a promoção de uma cultura de envolvimento de todos os colaboradores da empresa na busca pela melhoria contínua dos seus processos. Por sua vez, Miyake (2002, p.270-71) enfatiza que “a atitude preconizada pelo *Kaizen* é a busca contínua de pequenas melhorias, cujos benefícios podem ser incrementais, mas que acumulados no decorrer do tempo, rendem à empresa uma tendência firme e consistente de aumento de sua competitividade”. Também expõe que a filosofia do *Kaizen* é diferente da promoção de grandes ações que visam impulsionar a organização a realizar mudanças radicais, tais como inovações.

Campos (2004, p.185) propõe uma conjugação dos ciclos de manutenção, melhoria e inovação, resultando no que ele define como melhoramento contínuo, evidenciado pela figura 2. A figura ilustra que, inicialmente, em um processo existente, tem-se a padronização (ciclo SDCA) como fundamento para a manutenção de sua estabilidade. Nesse contexto, as seis primeiras etapas da Manutenção Autônoma talvez possam contribuir para essa estabilidade. Então, em seguida, para a melhoria dos resultados desse processo, aplica-se o *Kaizen* (ciclo

PDCA). Aqui é importante salientar que o *Kaizen* será liderado pelo operador, ao invés deste atuar como integrante de um grupo geralmente conduzido por um técnico ou um gestor. É importante notar na figura 2 que o *Kaizen* proporciona a melhoria dos resultados por meio de pequenos saltos incrementais, quando comparado ao *Kaikaku* (inovação) que, por sua vez, apresenta um salto maior nos resultados.

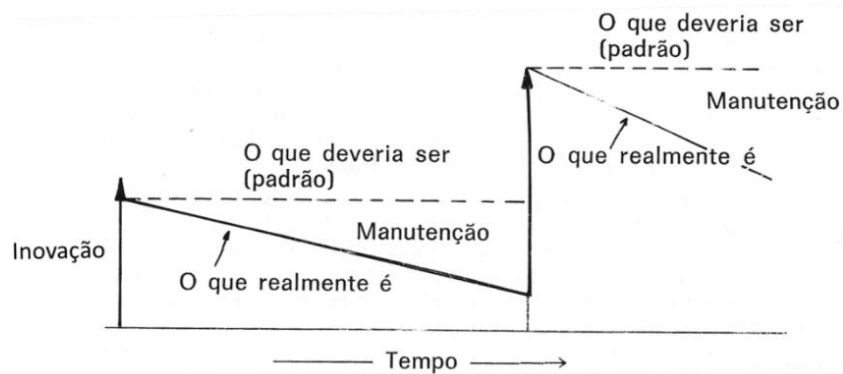
Figura 2 – Conjugação dos ciclos de manutenção, melhoria e inovação



Fonte: adaptado de Campos (2004)

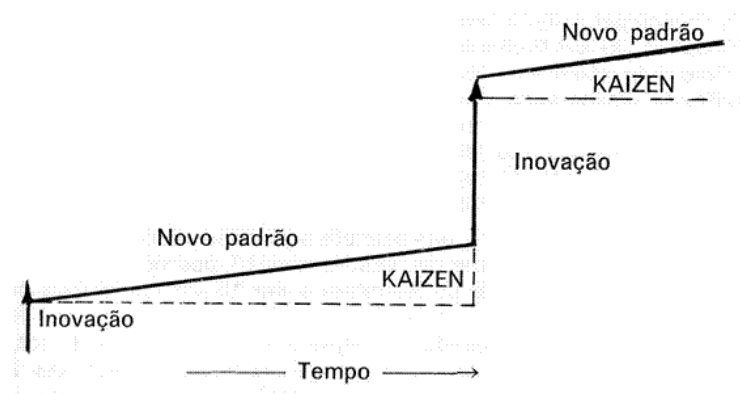
A introdução da inovação, segundo Miyake (2002, p.271), “representa uma ruptura mais dramática do estado atual, *prometendo* render saltos de desempenho significativamente maiores”. É importante ressaltar o termo “*prometendo*”, porque, como afirma Imai (2005, p.23) “uma das famosas Leis de Parkinson é que, uma vez que a organização tenha construído o seu edifício, inicia-se a sua decadência”. Em outras palavras, deve haver um esforço contínuo de melhoramento até para manter o *status quo*. Isso significa que *Kaikaku* (inovação) sem *Kaizen* (melhoria) pode não se sustentar. Nesse sentido o modelo proposto por Campos (figura 2), com relação ao *Kaikaku*, pode ser aprimorado a partir da abordagem proposta por Imai (2005), em um ciclo combinado de *Kaikaku* e *Kaizen*.

A figura 3 ilustra a introdução da inovação sem que haja o esforço contínuo de melhoramento. Nota-se que na linha tracejada (“o que deveria ser”) a “promessa” (citada por Miyake) não se materializou, pois não se conseguiu manter o patamar da inovação almejado, resultando na linha decrescente “o que realmente é”.

Figura 3 – Inovação sem *Kaizen*

Fonte: Imai (2005)

Por outro lado, na figura 4 é ilustrada uma forma combinada de *Kaikaku* e *Kaizen*, de modo que a inovação tenha como base o melhoramento contínuo. Não apenas a inovação não se perde, como há um incremento no melhoramento embasado no *Kaizen*. Imai (2005) também enfatiza que “enquanto a inovação é algo momentâneo, com efeitos gradualmente desgastados pela intensa competição e pela deterioração dos padrões, o *Kaizen* é um esforço contínuo, com efeitos cumulativos, mostrando uma elevação constante com o passar dos anos”, e isso ocorre, principalmente, porque o *Kaizen* pressupõe o envolvimento de todas as pessoas da empresa, resultando em uma efetiva mudança de cultura organizacional para a melhoria contínua em busca de uma empresa de Manufatura de Classe Mundial.

Figura 4 – Inovação com *Kaizen*

Fonte: Imai (2005)

É sobre esse contexto que se pode apontar outro aspecto relevante da Manutenção Autônoma: ela pode contribuir para a alavancagem das iniciativas de inovação a partir do envolvimento dos operadores, devido estes se tornarem altamente capazes e competentes em

influenciar os resultados em seu processo de produção. Isto posto, ficam estabelecidos os princípios sobre os quais na etapa 7 os operadores passam a ter maior responsabilidade sobre seus processos, não apenas mantendo os seus resultados através dos padrões criados, mas também, inclusive, estando aptos a melhorá-los e a gerenciá-los.

É feita então uma última auditoria para validar as competências desenvolvidas nesta etapa. Sendo validada, a Manutenção Autônoma deixa de ser um projeto (pois todas as suas etapas já foram implementadas) e passa a ser um novo processo (rotina) de gestão do equipamento pelos seus operadores. Segundo Robinson & Ginder (1995, p.116-117), é partir daí que a Manutenção Autônoma se tornará auto sustentável, pois as competências desenvolvidas nos operadores os tornam aptos a interpretar os objetivos da empresa e auto gerenciar suas atividades, dando sua parcela de contribuição - por meio da gestão da OEE - para atingir tais objetivos.

3.3 Aspectos importantes para implantação

Uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma pode não ser algo simples. Compreende-se o termo “bem sucedida” para fins deste trabalho quando a implantação da Manutenção Autônoma transforma tanto o comportamento das pessoas como o estado do equipamento e, por consequência, a sua eficiência global.

Com relação ao TPM, há trabalhos que enfatizam os fatores críticos para o seu sucesso tais como Ng, Goh & Eze (2011), Piechinicki (2013), Prodanov, Pramad & Raj (2013), Oliveira, Muniz & Marins (2014), Bakri, Mahzan & Latif (2018), Arromba (2018), Sellem, Attia & El-Assal (2018) e Woldesilassi & Ivatury (2020). Por sua vez Tanaka, Muniz & Neto (2013) relatam fatores críticos para a implantação de projetos de melhoria contínua de modo global. Entretanto, estes trabalhos não apresentam um foco específico sobre a Manutenção Autônoma. Nesse contexto, a seguir são discutidos aspectos importantes a serem atentamente acompanhados para se atingir plenamente os resultados oriundos desta metodologia.

Uma das dificuldades iniciais da implantação da Manutenção Autônoma pode estar relacionada à sua aceitação no ambiente fabril, principalmente se houver objetivos divergentes entre os setores de operação e manutenção, como, por exemplo, cada setor priorizando atingir as suas próprias metas. Nakajima (1988, p.72) afirma que quanto mais tempo uma empresa está estabelecida, maior a dificuldade de se implantar a Manutenção Autônoma, porque os operadores e os mantenedores encontram dificuldade para abandonar o conceito “eu opero,

você conserta” (Ferreira e Leite, 2016). Nesse sentido a comunicação e o treinamento precisam ser efetivos por ser difícil mudar atitudes da noite para o dia, sendo, talvez, uma das razões pelas quais um programa de Manutenção Autônoma poder levar um tempo considerável para ser plenamente implantado. Shen (2015) relata que o tempo de implantação de um programa TPM pode levar até 5 anos, podendo depender, entretanto, do nível de suporte e patrocínio dedicados ao programa.

Devido a Manutenção Autônoma, em geral, ocasionar quebra de paradigmas sobre o relacionamento entre a operação e a manutenção, é recomendável que se escolha uma máquina modelo (piloto) para o início de sua implantação na empresa, ao invés de se iniciar em várias máquinas simultaneamente, da mesma forma que Nakajima (1988, p.55) recomenda a implantação do TPM: iniciando com um equipamento modelo. Estando inicialmente as atividades de Manutenção Autônoma limitadas à máquina modelo, faz desta uma espécie de “laboratório” a partir do qual práticas bem sucedidas poderão ser expandidas posteriormente em outros equipamentos, reduzindo a quantidade de erros e aumentando a assertividade de sua implantação.

Antunes Junior *et al* (2013, p.18) definem “método” como uma sequência de passos lógicos que iniciam em um ponto A objetivando atingir um ponto B. Sob uma perspectiva de Manutenção Autônoma, os pontos A e B podem ser entendidos como resultados, e o método representando o caminho (sete etapas) para sair do resultado atual A e atingir um resultado futuro desejado B. Nesse contexto é importante deixar claro quais são os objetivos a serem atingidos após a conquista de cada etapa da Manutenção Autônoma. Tajiri e Gotoh (1992) esclarecem tais objetivos, etapa a etapa, tanto sob a perspectiva das pessoas como dos equipamentos. Sob o enfoque do senso de propriedade dos equipamentos pelos operadores, Pinto, Pimentel e Cunha (2016) ressaltam a necessidade de se planejar e implementar estratégias e ferramentas capazes de promover laços emocionais entre os operadores e a empresa, fortalecendo a sustentabilidade das iniciativas de Manutenção Autônoma, contribuindo para que os resultados atingidos sejam também mantidos.

Para que os objetivos definidos por etapa sejam alcançados, é imprescindível o treinamento dos envolvidos nas etapas da Manutenção Autônoma, antes que cada etapa seja iniciada. Mais ainda, é necessária a aplicação prática desse conhecimento adquirido, pois segundo Campos (2004, p.37), somente a prática do conhecimento agrega valor, ou seja, as mudanças tanto nas pessoas como no equipamento só virão a ocorrer com a prática deste

conhecimento. Os funcionários a serem capacitados em cada etapa da Manutenção Autônoma constituem equipes multifuncionais formadas por operadores, mantenedores, engenheiros / analistas (processos, qualidade, manutenção), supervisores (produção, qualidade, manutenção), profissionais da área de treinamento e desenvolvimento de pessoas, técnicos de segurança, etc.

Sobre as atividades de Manutenção Autônoma no chão de fábrica, aspectos como estabilidade da equipe, distribuição homogênea de atividades entre seus participantes, e realização de reuniões também requerem atenção. Deve-se procurar evitar trocas de operadores na máquina modelo pois isso dificulta a mudança de comportamento coletivo na equipe da máquina, tão necessária ao sucesso da implantação. A distribuição homogênea das atividades evita a sobrecarga de atividades em operadores e a ociosidade em outros. Yoshida (1997, p.97) recomenda à equipe de Manutenção Autônoma definir e adotar regras para que as reuniões sejam produtivas, e realizadas com a frequência e durações necessárias. Importante também é a adoção e uso de quadros de gestão à vista como um meio de evidenciar o andamento das atividades, os resultados alcançados até o momento, bem como local de disposição dos padrões e *check-lists* utilizados no dia a dia, entre outras informações que se julgar necessárias.

Kimura (1997, p.19) afirma que as empresas prosperam a partir das ações de seus funcionários, e é nesse contexto que capacitação adequada, formas de reconhecer e recompensar os envolvidos na implantação da Manutenção Autônoma pode potencializar seus resultados e, portanto, os da empresa. Deve-se ter em mente que os envolvidos não abandonarão as suas atividades atuais enquanto a Manutenção Autônoma for implementada, pelo contrário, passarão a realizar atividades até então inéditas, demandando tempo e uma organização adequada para que se atinjam os objetivos, podendo ser importante reconhecer e recompensar esse esforço.

O sucesso da equipe de Manutenção Autônoma, segundo Yoshida (1997, p.85), depende da habilidade, motivação e um ambiente favorável à sua implantação. A habilidade vem da prática em se aplicar os conceitos, resultando na melhoria nos resultados da OEE. Um ambiente de trabalho no qual haja empoderamento e reconhecimento nas atividades de Manutenção Autônoma favorece a sua continuidade, contribuindo para a motivação dos operadores perseguirem a melhoria contínua em seu local de trabalho.

Tomando-se os cuidados necessários com os aspectos apresentados aumentam-se as chances de sucesso da implantação da Manutenção Autônoma a qual - como será apresentado na próxima seção - pode ser aplicada nos mais variados segmentos industriais, também beneficiando vários tipos de programas de melhoria contínua.

3.4 Abrangência e aplicações recentes

A importância da Manutenção Autônoma para a Manufatura de Classe Mundial pode ser avaliada conforme a sua abrangência e aplicações, mediante critérios como tipo de programa de melhoria contínua; tipo de setor (ou processo) industrial e/ou por meio dos resultados obtidos com a sua implantação. Nesse contexto, o desenvolvimento das competências e habilidades dos operadores para além de suas responsabilidades de operar o equipamento e a consequente melhoria da OEE, talvez tornem a Manutenção Autônoma uma metodologia diferenciada quando se deseja construir uma nova cultura no chão de fábrica.

Tajiri e Gotoh (1992, p.279), a partir de diversas experiências japonesas, propõem adaptações da Manutenção Autônoma para aplicação em processos em que se preponderam atividades manuais, tais como setores de montagem e movimentação de materiais. Eles afirmam que o planejamento deve ser adaptado a cada tipo de setor, porém costuma estar embasado em três estágios: (1) estabelecer as condições básicas, (2) estabelecer condições de uso para ferramentas, gabaritos e métodos de trabalho, e (3) estabelecer padronização e supervisão autônoma. Assim, segundo os autores, as sete etapas de Manutenção Autônoma aplicáveis a uma linha de montagem automobilística seriam: (1) limpeza inicial, (2) organização do processo, (3) padrões provisórios, (4) treinamento nas características do produto (inspeção geral de ferramentas, gabaritos e instrumentos de medição), (5) fornecimento de peças JIT (no momento certo), (6) padronização e, finalmente, (7) sequência de trabalho padrão.

Uma integração da Manutenção Autônoma com o Controle Estatístico de Processo e a OEE é descrita por Azizi (2015) em uma linha de produção de vidros, cujo objetivo foi o de aumentar a produtividade desta linha com o apoio de ferramentas usualmente aplicadas em processos de manufatura. Após cinco meses de implantação da Manutenção Autônoma, houve redução de 8,49 pontos percentuais da taxa de defeitos (14,61 para 6,12%), aumento de disponibilidade de 1.341 minutos (redução do tempo de máquina parada por quebra de 2502 para 1.161 minutos) e um aumento da OEE de 6,49 pontos percentuais (22,12 para 28,61%).

Em uma empresa do setor metal mecânico - mais especificamente do ramo de armamentos militares, civis (defesa e caça esportiva) e policiais – uma implantação de Manutenção Autônoma descrita por Biehl e Sellitto (2015), apresentou resultados expressivos após cerca de 8 meses em uma área piloto composta por três centros de usinagem: aumento de 546,2% do tempo médio entre falhas (MTBF, de 2,6 para 16,8 dias); redução de 42,6% no tempo médio para reparo (MTTR, de 136 para 78 minutos) e redução de 57,1% nos custos de

manutenção mecânica e eletroeletrônica (de R\$ 6.285 para R\$ 2.695), considerando materiais e eventuais contratações de terceiros.

Nunes e Sellitto (2016) descrevem uma implantação da Manutenção Autônoma em uma empresa fabricante de máquinas agrícolas, mais especificamente em uma célula de manufatura composta por três centros de usinagem. O artigo demonstra melhorias para vários indicadores (valores médios) da célula: aumento de 670,6% do MTBF (de 1,7 para 13,1 dias); redução de 17,5% do MTTR (de 143 para 118 minutos); aumento da OEE em 10,3 pontos percentuais (de 78 para 88,3%); aumento de produtividade de 50% (de 0,38 para 0,57 peças/homem*hora); redução dos refugos e retrabalhos em 98,5% (de 340 para 5 PPM); redução de 12% do inventário (de 2,5 para 2,2 ton); redução da área utilizada em 8,3% (de 240 para 220 m²); redução do tempo de setup em 50% (de 40 para 20 minutos) e aumento da taxa de disponibilidade em 4,9 pontos percentuais (de 94,5 para 99,4%). É interessante destacar que nesta implantação utilizou-se o mapeamento do fluxo de valor (ferramenta da Manufatura Enxuta) para se identificar as principais perdas da célula, cujos resultados foram obtidos após um ano da implantação da Manutenção Autônoma.

Em um artigo sobre gestão de mudanças em empresas enxutas - baseado em uma empresa metalúrgica - Furman e Kuczynska-Chalada (2016) afirmam que tanto o TPM como a Manutenção Autônoma são exemplos relevantes de mudanças nas competências dos operadores, e que a Manutenção Autônoma é o pilar mais importante do TPM. Os autores ainda destacam como o principal resultado obtido com a implantação da Manutenção Autônoma o aumento do conhecimento e habilidade dos operadores para operar as máquinas e reduzir falhas durante o processo, tendo implicações em reduções de custos e reparos, substituição de peças menos frequente, além de rápidas respostas aos problemas e limpeza das estações de trabalho.

Um estudo da implantação da Manutenção Autônoma como condição para a construção de Sistema Inteligente de Gestão de Qualidade - em uma empresa do setor automotivo - é descrito por Molenda (2016). O autor analisa tanto o número das falhas como o tempo de maquinário indisponível devido sua ocorrência, tomando como referência dados referidos aos períodos “um ano antes” e “um ano após” a implantação da Manutenção Autônoma. Houve redução do número de falhas de 35,2% (788 para 511 falhas) bem como redução do tempo de maquinário indisponível devido as falhas de 26,4% (14.282 para 10.519 minutos).

De acordo com Guariente *et al* (2018) o setor automotivo - composto por montadoras e fornecedores de componentes - é uma das mais exigentes atividades no mercado global. No

artigo - a partir de uma empresa fornecedora de componentes para o setor automotivo - os autores descrevem os resultados obtidos com a implantação da Manutenção Autônoma em uma linha que produz tubulações para ar-condicionado. Após quatro meses de implementação de atividades das sete etapas, foram obtidos aumentos de 10 pontos percentuais (75 para 85%) na taxa de disponibilidade da linha e 8 pontos percentuais (74 para 82%) na OEE, principalmente devido às reduções das pequenas paradas e quebras.

Uma aplicação da Manutenção Autônoma em uma empresa química (produção de polietileno) é retratada por Andrade (2019), que descreve a implantação de roteiros eletrônicos de inspeção em substituição aos de papel, apresentando vantagens como: reporte das anomalias em tempo real pela operação à manutenção; redução de 60% no tempo empregado nas rotas de inspeção e evolução de 2 para 13 pontos percentuais na aplicação de técnicas preditivas. É possível afirmar que a inspeção por meio de coletores eletrônicos sem fio possibilita a centralização destas informações em bancos de dados, integrando-as a outros sistemas, gerando estatísticas, análises e ações, cada vez mais presentes nas indústrias 4.0 e suas tecnologias (XU, XU e LI, 2018).

Shihundla, Mpofo e Adenuga (2019) apresentam uma proposta de integração de sistemas envolvendo produtos, serviços - e respectivos meios de produção - sob uma perspectiva da indústria 4.0. De acordo com os autores, o sistema engloba processos de manufatura (máquinas) com dados sendo gerados, processados e transmitidos via sistemas *cyber* físicos para armazenamento em nuvem, possibilitando assim a elaboração de algoritmos para a geração de cenários e tomadas de decisão mais rápidas e assertivas sobre os produtos, serviços e/ou seus respectivos processos produtivos. Partindo dessa perspectiva, os dados gerados pelo plano de inspeção criado na etapa 6 da Manutenção Autônoma - ao serem coletados por um coletor eletrônico e lançados à nuvem - podem contribuir para uma primeira integração da Manutenção Autônoma com o conceito de indústria 4.0. Em um segundo momento, após se adquirir maturidade sobre os dados mais importantes às análises, estes podem vir a ser coletados automaticamente por meio de sensores, que podem vir a interagir com sistemas de controle adaptativo proporcionando auto ajustes no processo produtivo.

Além da abrangência da aplicação da Manutenção Autônoma nos mais diversos processos produtivos, outro aspecto importante é o seu impacto na sustentabilidade, contribuindo também para a redução dos desperdícios no consumo de energia elétrica.

3.5 A Manutenção Autônoma e o consumo de energia elétrica

As empresas têm sofrido pressões de vários setores da sociedade tais como organizações não governamentais de cunho ambientalista (Greenpeace), novas legislações ambientais (destinação de resíduos sólidos eletroeletrônicos na Europa), tratados internacionais (protocolo de Quioto), além de demandas de mercados consumidores cada vez mais exigentes e preocupados com os impactos ambientais, sociais e éticos, que podem ser gerados pelo seu padrão de consumo (GOUVINHAS, 2013, p.56). Assim o uso racional dos insumos necessários ao processo produtivo industrial torna-se cada vez mais importante, não apenas em termos dos custos, mas também para a imagem da empresa perante a sociedade na qual está inserida.

Já foi discutida a contribuição da Manutenção Autônoma para a redução dos desperdícios de matérias primas utilizadas nos processos produtivos, entretanto, ela também pode contribuir para o uso racional da energia elétrica nestes processos, pois é desenvolvido um senso de propriedade no operador pelo seu equipamento, de modo que inspeções passam a ser realizadas periodicamente, podendo ser identificadas e solucionadas anomalias que poderiam resultar em desperdícios no uso de energia elétrica. Outro aspecto é que a prevenção das falhas que interrompam a produção das máquinas acionadas por motores elétricos pode contribuir tanto para a redução de custos destas falhas como também para a preservação da vida útil destes motores, pois será necessária uma quantidade menor de partidas durante a produção programada.

Mamede (2017, p.692) relata procedimentos e ações aplicáveis à redução dos desperdícios de energia elétrica nas instalações industriais, sobre os seguintes aspectos: (1) motores elétricos; (2) consumo de água; (3) climatização; (4) refrigeração; (5) aquecimento de água; (6) ar comprimido; (7) iluminação; (8) instalações elétricas; (9) condutores elétricos; (10) correção do fator de potência; (11) ventilação; (12) elevadores e escadas rolantes; (13) desequilíbrio de tensão; (14) carregamento de transformadores; (15) controle de demanda; (16) administração do consumo de energia elétrica; (17) geração no horário de ponta e (18) cogeração. Sobre estes aspectos há uma fase de diagnóstico que contempla coletas de dados e/ou inspeções nos locais de consumo. Sob a ótica da Manutenção Autônoma, pelo menos nos sete primeiros aspectos, o operador pode atuar identificando anomalias e prevenindo falhas e desperdícios no uso de energia elétrica.

O autor afirma que os motores elétricos consomem cerca de 75% da energia elétrica industrial demandada, sendo necessárias avaliações periódicas para determinar se estão

operando na faixa de melhor desempenho. Nesse contexto, foi apresentado que a Manutenção Autônoma desenvolve no operador competências para realizar limpezas, inspeções e lubrificações, podendo ser identificadas e etiquetadas anomalias como ruídos, vibrações e/ou superaquecimentos anormais, sendo estas encaminhadas ao setor de manutenção para serem corrigidas, evitando falhas e/ou desperdícios no consumo de energia elétrica. Limpezas periódica das aletas das carcaças (estatores) dos motores também contribuem para evitar elevação da temperatura durante o seu funcionamento. Geitner e Bloch (2015, p.314) citam que lubrificações adequadas contribuem para evitar vibrações e superaquecimento dos rolamentos.

Por meio da inspeção, um operador pode detectar vazamentos de água em instalações produtivas. Tais vazamentos nas tubulações contribuem para um consumo excessivo resultando num trabalho adicional do motor elétrico que aciona a bomba hidráulica para compensar o volume de água desperdiçado, resultando em um aumento do consumo de energia elétrica. Nestes motores e bombas o operador também pode realizar inspeções de ruído, vibrações e aquecimentos anormais, além de avaliar a condição dos filtros nos sistemas de bombeamento.

Sistemas de climatização podem provocar grandes desperdícios de energia elétrica nas instalações industriais. Nesse contexto a Manutenção Autônoma pode desenvolver no operador competências para detectar vazamentos de fluidos em circuitos de condensação, água gelada e/ou distribuição de ar, além de identificar vibrações, ruídos e aquecimentos anormais em motores e compressores, os quais podem ser devidamente etiquetados e solucionados de forma programada pelo pessoal de manutenção. Atividades simples como limpeza de incrustações nas superfícies dos trocadores de calor, trocas de filtros e identificação de climatização ligada sem necessidade, também podem ser desenvolvidas pelos operadores, igualmente contribuindo para evitar desperdícios no consumo de energia elétrica nestas instalações.

A inspeção visual e limpeza de componentes de um sistema de refrigeração também pode ser realizada por um operador capacitado por meio de técnicas de Manutenção Autônoma. Manter limpos os termostatos, verificar periodicamente a vedação das portas das antecâmaras e mantê-las fechadas quando fora de operação são atividades que contribuem para a redução do desperdício no consumo de energia elétrica. Com o mesmo objetivo, em sistemas de aquecimento de água podem ser realizadas limpezas e inspeções relacionadas a danos em isolamento térmica das tubulações, reservatórios e demais elementos deste tipo de sistema.

Outra fonte típica de desperdício no consumo de energia elétrica em uma indústria refere-se aos sistemas de ar comprimido, sendo os vazamentos as principais causas de

desperdício. De acordo com Mamede (2017, p.730), estudos apontam que entre 20 e 70% do ar comprimido produzido em um compressor são desperdiçados entre esse equipamento e os pontos de consumo, com o desperdício no consumo de energia elétrica referindo-se ao funcionamento do motor que aciona o compressor para manter o reservatório de ar comprimido a uma determinada pressão, visando compensar as perdas oriundas dos vazamentos. Nesse contexto, por meio da Manutenção Autônoma, o operador ao realizar uma simples limpeza e inspeção, por tato e audição, pode identificar vazamentos a serem solucionados pelo pessoal da manutenção. Da mesma forma, podem ser inspecionados e drenados filtros nas linhas de ar comprimido, contribuindo com uma maior eficiência no uso desta utilidade.

Um outro aspecto relacionado à economia no uso da energia elétrica em um ambiente industrial refere-se à iluminação, a qual, segundo o mesmo autor, representa de 2 a 8% do consumo de energia elétrica da instalação. As principais causas de seus desperdícios costumam decorrer da diversidade dos pontos de consumo, do uso indiscriminado e ao frequente emprego de aparelhos de baixa eficiência. Apesar de as ações para minimizar este tipo de desperdício estarem mais voltadas ao pessoal técnico da manutenção, sob a ótica da Manutenção Autônoma, os operadores podem vir a ser treinados em inspeções de lâmpadas danificadas, sujidade excessiva em telhas translúcidas e/ou luminárias, manter desligadas lâmpadas que não requerem necessidade de acendimento contínuo, além de manter paredes, forro, pisos e janelas limpos, contribuindo assim para a redução do desperdício no consumo da energia elétrica.

Segundo Mamede (2017, p.277-8) a partida de um motor elétrico de indução pouco influencia no consumo e na demanda registrados no medidor de energia elétrica da instalação, no entanto, correntes elevadas de partidas frequentes podem provocar perdas excessivas nos enrolamentos estatóricos e rotóricos. Caso o motor já esteja em operação – e, portanto, aquecido à sua temperatura de regime – e seja desligado e logo em seguida religado - sem que haja tempo suficiente para redução da temperatura de suas partes ativas a certo valor – pode ocorrer um aumento temperatura a níveis superiores àqueles indicados pela classe de isolamento do motor, reduzindo a sua vida útil. É nesse contexto que a prevenção de falhas e pequenas paradas nas máquinas propiciada pela Manutenção Autônoma pode contribuir para a redução dos custos de manutenção e o cumprimento da vida útil operacional dos motores elétricos.

Geitner e Bloch (2015, p.3) afirmam que uma falha pode ser entendida como qualquer alteração de algum elemento ou componente do equipamento que o torna incapaz de desempenhar, de modo satisfatório, a função para a qual foi projetado. Os autores também

apresentam sete classificações das causas das falhas: (1) falhas de projeto; (2) defeitos de materiais; (3) deficiências de processos de fabricação; (4) erros de montagem ou instalação; (5) condições operacionais inadequadas; (6) manutenção inadequada (procedimentos negligenciados) e (7) operação inadequada. Partindo destas classificações e dos conceitos apresentados sobre a Manutenção Autônoma, a sua aplicação pode contribuir para evitar (ou ao menos identificar rapidamente) quatro dessas classes: os operadores, por meio de inspeções, podem identificar deficiências nos processos de fabricação (ruído anormal de um motor), condições operacionais inadequadas (matéria prima não conforme), manutenção inadequada (não completado o nível de óleo), além de operação inadequada (ajuste inadequado de uma temperatura, recomendada por uma folha de processo). Dessa forma, a aplicação adequada da Manutenção Autônoma pode contribuir para evitar tais falhas.

Outra contribuição importante da Manutenção Autônoma para uma maior eficiência energética nos equipamentos refere-se às atividades de Lubrificação, desenvolvidas na etapa 3. De acordo com Budynas e Nisbett (2011, p.624), o objetivo da lubrificação é reduzir o atrito, o desgaste e o aquecimento de partes de máquinas que se movem umas em relação às outras. Nesse contexto, sistemas mal lubrificados poderão apresentar maiores índices de atrito entre suas partes, demandando mais energia do que o necessário para o cumprimento de suas funções, podendo resultar tanto em desperdícios no consumo de energia elétrica como também ocasionar falhas e/ou quebras nos equipamentos. A título de ilustração, Geitner e Bloch (2015) descrevem no quadro 2 os principais modos de falha (estados em que falha se apresenta) e suas respectivas causas relacionadas à lubrificação, para itens como rolamentos e engrenagens.

Na etapa 3 de um programa de Manutenção Autônoma são desenvolvidos procedimentos de modo a se estabelecer e padronizar uma rotina de lubrificação a ser conduzida pelos operadores e mantenedores, atendendo às necessidades de lubrificação dos equipamentos. Nesse contexto, no quadro 2, os modos de falha relacionados às causas “lubrificante inadequado” e “lubrificante insuficiente”, por exemplo, podem ser evitadas por meio do cumprimento de um plano de lubrificação que especifique “o que lubrificar”, “como lubrificar”, “quantidade de lubrificante”, “periodicidade da lubrificação” e “quem lubrifica”. Por outro lado, ações como correta armazenagem e manuseio dos lubrificantes podem evitar causas como “lubrificante contaminado”, “lubrificante deteriorado” e “viscosidade inadequada”. Tais ações fazem parte do desenvolvimento de competências em lubrificação nos operadores por meio da realização da etapa 3 da Manutenção Autônoma.

Quadro 2 – Itens, modos de falha e causas relacionadas à lubrificação

Item	Modo de falha	Causas relacionadas à lubrificação				
		Lubrificante contaminado	Lubrificante deteriorado	Lubrificante inadequado	Lubrificante insuficiente	Viscosidade inadequada
Rolamento	Corrosão	x	x			
	Deformação				x	
	Descamação	x		x	x	
	Desgaste	x	x		x	x
	Embutimento	x				
	Emperramento	x			x	
	Rachadura				x	
	Ranhura	x			x	
Engrenagem	Roçamento				x	
	Arranhadura	x	x		x	x
	Corrosão	x	x			x
	Desgaste	x	x		x	x
	Escoamento a quente				x	
	Raspagem	x	x		x	x

Fonte: adaptado de Geitner e Bloch (2015, p.74 e 139)

Em se tratando de rolamentos, de acordo com Norton (2013, p.658), se houver lubrificante limpo e em quantidade suficiente, a falha neste tipo de componente ocorrerá por fadiga superficial, ou seja, devido as duas superfícies estarem em contato por rolamento puro ou quando rolarem combinadas com uma pequena porção de deslizamento. O mesmo autor afirma que o rolamento dará um aviso audível (oriundo da vibração) que, a partir deste ponto, até poderá continuar em funcionamento, porém a superfície continuará a se deteriorar com aumento de níveis de ruído e vibração resultando, mais cedo ou mais tarde, em fragmentação ou fratura do rolamento e possíveis danos aos outros elementos a ele conectados. E é nesse contexto que um operador bem treinado pode prevenir tal colapso, inicialmente realizando atividades básicas de lubrificação e, em última instância, detectando vibrações e ruídos e informando-as à equipe de manutenção, visando a realização de uma intervenção corretiva programada, ao invés de uma intervenção corretiva emergencial.

Uma vez discutida a importância da implantação da Manutenção Autônoma na indústria, a próxima seção trata de um indicador comumente associado às máquinas que possuem Manutenção Autônoma: a Eficiência Global do Equipamento.

4 EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO

Neste trabalho tem sido enfatizado que a Manufatura de Classe Mundial é aquela que oferece um produto que pode ser comercializado em vários mercados, devido apresentar resultados excelentes em, por exemplo, qualidade, produtividade e custos. Isso possibilita ao fabricante de um determinado país competir com outro de outro país e ainda assim obter lucro.

Tais resultados podem ser alavancados por meio da implantação de programas de melhoria contínua organizacionais, os quais embora apresentem suas particularidades, também compartilham alguns métodos e ferramentas, sendo duas delas - sob o enfoque desta dissertação - bastante próximas e interligadas: a Manutenção Autônoma e a Eficiência Global do Equipamento (OEE). Nesse contexto, a OEE pode ser utilizada como uma forma de medir o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma, sob a perspectiva do equipamento beneficiado por ela.

4.1 Contextualização

Espera-se que qualquer operação almeje produzir com eficiência e baixo custo. Tal condição é cada vez mais necessária em um cenário altamente competitivo, onde clientes demandam produtos de alto valor agregado a preços justos. Porém, segundo Hansen (2002, p2), poucas fábricas conseguem atingir e manter altos níveis de produtividade com baixos custos.

O mesmo autor afirma que empresas de Manufatura de Classe Mundial compartilham duas características em comum: são orientadas por dados e conduzidas por equipes multifuncionais sinérgicas. Isso implica que medir os principais parâmetros do processo e atuar precisamente sobre eles pode contribuir para maiores produtividades no setor e na planta. Nesse contexto, a OEE, enquanto indicador, possibilita ao gestor entender o quão bem um setor produtivo performa e a identificar o que está limitando-o em atingir maiores eficiências. Segundo Baldwin (*apud* Hansen, 2002), o OEE “começou a ser reconhecido como um importante método para a medição de desempenho de uma instalação industrial no final dos anos 80 e início dos anos 90”, sendo a partir daí largamente empregado em sistemas de manufatura.

Os sistemas de manufatura são compostos de equipamentos, máquinas e pessoas que transformam materiais e sub montagens em produtos, que tanto podem ser acabados como também sub montagens para próximas fases de manufatura. Uma significativa quantidade de

capital é geralmente investida para projetar, construir e implementar um sistema de manufatura até que os produtos possam ser produzidos com altas performances e mínimos desperdícios, daí a importância de medições, tal como a OEE, para entendimento e melhoramento do processo. Nesse sentido, altas eficiências obtidas nos equipamentos restritivos (gargalos) podem impactar diretamente na lucratividade da empresa, pois sua operação estaria produzindo com menores custos. Antunes *et al* (2013, p.xi) definem gargalos como “recursos cuja capacidade disponível é menor do que a capacidade necessária para atender às ordens demandadas pelo mercado”, ou seja, são recursos cuja capacidade instalada é inferior à demanda de mercado no período de tempo, em geral longo, considerado para análise.

Nesse sentido Hansen (2002, p.11) destaca que os processos de manufatura sempre apresentam algum tipo de restrição. Tais processos são geralmente subdivididos em vários estágios, sendo utilizados estoques ou filas entre eles, contribuindo para evitar interrupções de fornecimento no fluxo, porém acarretando aumento de custos baseado nos princípios da Manufatura Enxuta. Quando recursos da fábrica são compartilhados - ou utilizados de múltiplas formas - cresce a complexidade do processo de manufatura, podendo ser a restrição de um produto diferente de outros. Apesar de a aplicação da OEE ser benéfica para qualquer estágio do processo, atuações sobre esse índice devem ser priorizadas em etapas gargalo. Nesse contexto, o mesmo autor, recomenda primeiro introduzir a OEE nos processos que restringem as taxas de saída ou quaisquer outras áreas críticas e caras de uma linha de fabricação. Isso porque tais áreas são vitais para tornar a planta eficaz, contribuindo de forma decisiva aos objetivos da empresa quando conduzidas adequadamente.

Finalmente, Hansen (2002, p.10) afirma ser a OEE uma métrica usada para identificar como as empresas de Manufatura de Classe Mundial abordam a eficácia com que suas fábricas executam seus processos em um período planejado. Em complemento, para examinar o quão eficientemente as fábricas operam seus processos em relação ao tempo total calendário (incluindo períodos planejados e não planejados, como finais de semana, por exemplo) o autor recomenda utilizar-se uma segunda métrica, denominada por TEEP (performance efetiva total do equipamento).

4.2 Definição

A eficiência global do equipamento (OEE, do inglês *Overall Equipment Effectiveness*) é definida por Nakajima (1988, p.25) como o resultado do produto de três taxas: disponibilidade, performance (ou desempenho) e qualidade. A disponibilidade está relacionada

ao tempo disponível para a produção, descontados os tempos pertinentes às paradas não planejadas; enquanto a performance refere-se ao cumprimento do tempo de ciclo ideal para a produção e, por sua vez, a qualidade está relacionada à produção de itens sem defeitos.

É importante frisar que os cuidados com o equipamento – principalmente aqueles operacionalizados pelas iniciativas de Manutenção Autônoma – podem contribuir significativamente para a redução das perdas relacionadas às taxas de disponibilidade, performance e qualidade, tendo como consequência o melhoramento da OEE. Nakajima (1988, p.14) associa as seis grandes perdas em equipamentos da indústria de manufatura discreta às taxas supracitadas, da seguinte forma:

- *Disponibilidade:* (1) quebras, devido falhas do equipamento; (2) *setups* e ajustes, devido trocas de insumos e acessórios entre serviços.
- *Performance:* (3) interrupções de processo, devido operações anormais de sensores, enroscos de material, etc; (4) redução da velocidade, devido diferenças entre a velocidade atual e a projetada para o equipamento.
- *Qualidade:* (5) defeitos oriundos do processo, devido refugos e aspectos de qualidade a serem retrabalhados; (6) perdas por rendimento dos materiais, devido partidas de máquina ou produção instável.

Por sua vez, para a indústria de processos contínuos, Miyoshi (1994, p.26) descreve oito grandes perdas associadas às taxas de disponibilidade, performance e qualidade:

- *Disponibilidade:* (1) desligamentos, devido paradas anuais para manutenção; (2) ajustes de produção, devido alterações em matérias primas e demandas; (3) falhas nos equipamentos, devido perdas repentinas de função; (4) falhas no processo, devido alterações físicas ou químicas nas propriedades dos materiais ou erros operacionais. É importante frisar que essa classe de perdas se refere às “paradas” de máquinas.
- *Performance:* (5) perdas de ritmo por produção normal, devido início ou término de operação, *setup*; (6) perdas de ritmo por produção anormal, devido defeitos ou anormalidades no processo.
- *Qualidade:* (7) defeitos, devido produção não conforme ou produtos rejeitados; (8) reprocessamento, devido repassar produtos pelo processo.

Antunes *et al* (2013, p.xi) apresentam definições de rendimento operacional de equipamentos com base na teoria das restrições. Os autores denominam por IROG (Índice de Rendimento Operacional Global dos Equipamentos) o equivalente ao conceito que Nakajima (1988) atribui à OEE. Quando o equipamento é considerado restritivo (gargalo) a medição é feita pela TEEP (produtividade efetiva total do equipamento, uma variante da sigla proposta por Hansen, 2002) e em equipamentos não restritivos, a medição é feita por meio da OEE.

4.3 Implantação

A OEE pode ser calculada a partir de dados coletados sobre os equipamentos nos setores produtivos, inclusive podendo evidenciar uma “fábrica escondida” quando expõe perdas elevadas nestes setores. Nesse sentido, a liderança da planta pode designar pessoas e recursos para áreas específicas visando rápidas melhorias. Segundo Hansen (2002, p.12), mesmo nos setores sem coletas de dados detalhadas pode-se ainda usar métodos simples para se calcular uma OEE, a partir de três questões que todo setor de manufatura deve ser capaz de responder para cada produto:

1. Quantas unidades conforme as especificações foram produzidas e transferidas para a próxima etapa?
2. Quanto tempo foi planejado para a produção de cada produto?
3. Qual é o tempo de ciclo (ou taxa de transferência) ideal (ou melhor) para as unidades do produto?

Com essas informações, cálculos simplificados podem gerar uma OEE acurada para cada produto. Nesse contexto, para o equipamento em análise, acumulando-se as OEEs de cada produto pode ser calculada a OEE do equipamento. O mesmo raciocínio pode ser aplicado aos equipamentos visando obter valores consolidados por setor. Porém é importante reiterar que a maior contribuição ao melhoramento da OEE está na tratativa dos equipamentos (ou setores) gargalos da planta, pois são estes os que restringem o volume total produzido na planta.

A implantação da OEE requer um processo adequado de planejamento, geralmente iniciando em um equipamento e/ou setor modelo, a partir do qual serão conduzidas expansões por toda a operação. De acordo com Hansen (2002, p.13-14), a melhoria da performance da operação através da gestão da OEE envolve os seguintes passos:

1. Calcular o valor da OEE para a performance atual.

2. Elaborar um plano de negócios realista baseado na redução da lacuna entre o resultado atual da OEE e de seu nível classe mundial. Calcular as oportunidades financeiras baseadas nessa lacuna.
3. Identificar a hierarquia dos processos críticos, gargalos e definir metas para a planta.
4. Definidas as metas e o plano para atuar nos gargalos, compartilhar essa visão com os funcionários.
5. Treinar todos os funcionários sobre a OEE (definição, finalidade, coleta de dados, cálculo, interpretação, relatórios).
6. Fornecer os recursos (dinheiro, pessoas, tempo e treinamento) para fazer as mudanças acontecerem, se necessário criando de grupos de melhoria.
7. Utilizar as métricas da OEE em todos os níveis da planta. Compartilhar os resultados com todos os envolvidos.

Antes da apresentação dos cálculos dos índices de disponibilidade, performance e qualidade, cujo produto destes índices obtém-se a OEE, é pertinente a explanação de termos chaves correlatos, baseada em definições de Hansen (2002, p.26).

Tempo total (T_T): refere-se ao tempo calendário no período considerado, por exemplo, um mês de 31 dias representa um tempo total de 744 horas (31 dias multiplicado por 24 horas por dia), enquanto um mês de 30 dias, 720 horas.

Parada planejada (P_{PL}): tempo relacionado às paradas planejadas para não ocorrer produção, podendo contemplar finais de semana; manutenção preventiva; refeições; desenvolvimento de novos produtos, entre outros motivos determinados pelo PCP (planejamento e controle de produção) da empresa.

Tempo planejado (T_{PL}): refere-se à diferença entre o tempo total e a parada planejada, utilizado pelo PCP para o planejamento da produção.

Perda por parada (PE_P): tempo referente a quaisquer paradas de máquinas não planejadas, podendo ter causas técnicas (falhas no equipamento), operacionais (procedimentos não seguidos) ou ainda relacionadas à qualidade (não conformidades de matérias primas). Na figura 9 referem-se às perdas por quebras / falhas e regulagem / mudança de linha (*setup*).

Tempo de funcionamento (T_F): é a diferença entre o tempo planejado e as perdas por paradas, ou seja, é o tempo em que o equipamento operou.

Perda por queda de velocidade (PE_{QV}): consiste no tempo sem produção devido operações em vazio, pequenas paradas e/ou produzindo abaixo do tempo de ciclo ideal.

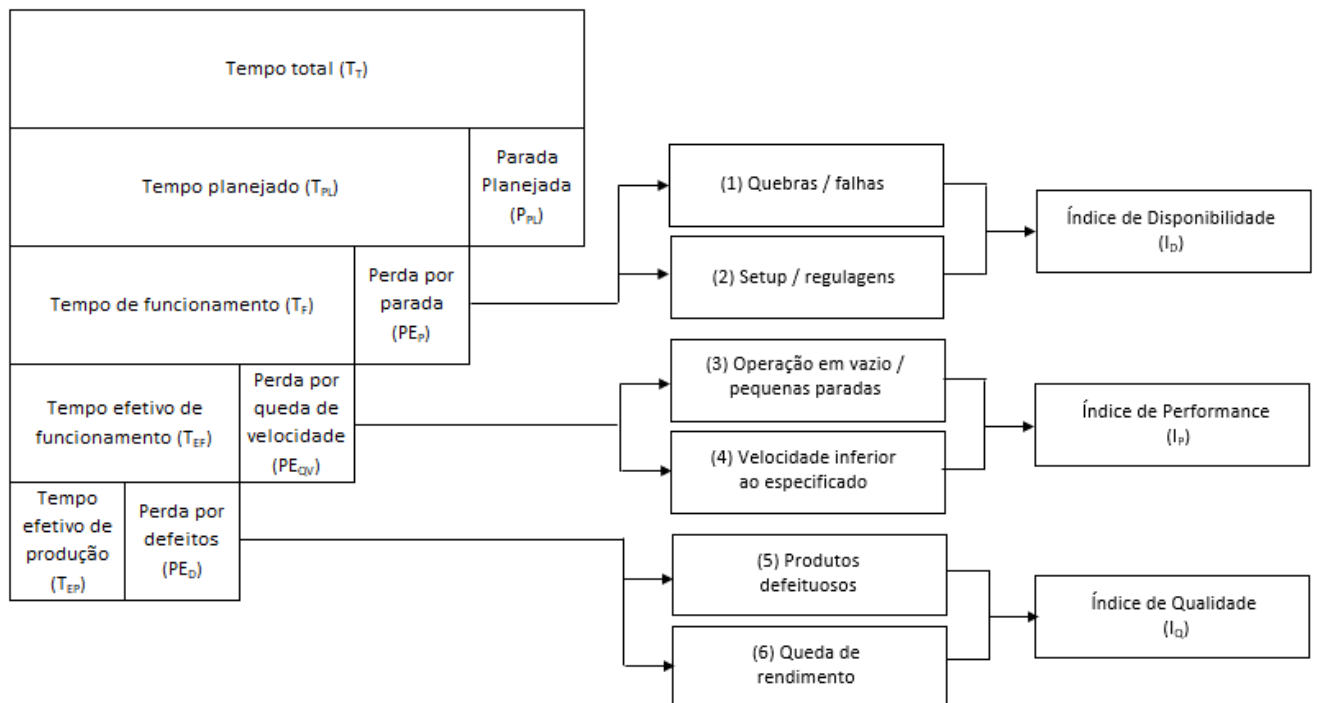
Tempo efetivo de funcionamento (T_{EF}): refere-se à diferença entre o tempo de funcionamento e as perdas por queda de velocidade.

Perda por defeito (PE_D): tempo produzindo itens defeituosos, utilizando o equipamento para retrabalhos ou ainda queda no rendimento de materiais devido partida do equipamento.

Tempo efetivo de produção (T_{EP}): é determinado pela diferença entre o tempo efetivo de funcionamento e as perdas por defeitos. É o tempo efetivamente alocado ao produto sem paradas imprevistas, produzindo conforme o tempo de ciclo ideal e sem defeitos de qualidade.

Os conceitos apresentados estão ilustrados na figura 5, que evidencia a estrutura conceitual da OEE para a sua implantação em indústrias de manufatura discreta.

Figura 5: Estrutura conceitual da OEE



Fonte: adaptado de Antunes *et al* (2013, p.31)

Segundo Nakajima (1988, p.25), a expressão para o cálculo da OEE resulta do produto de três índices: índice de disponibilidade (I_D), índice de performance (I_P) e Índice de qualidade (I_Q):

$$OEE = I_D \times I_P \times I_Q \quad (1)$$

Onde:

$$I_D = \frac{T_F}{T_{PL}} \quad (2)$$

$$I_P = \frac{T_{EF}}{T_F} \quad (3)$$

$$I_Q = \frac{T_{EP}}{T_{EF}} \quad (4)$$

Com base nos conceitos expostos, nota-se que o parâmetro “parada planejada” é excluído do tempo total (calendário), resultando no parâmetro “tempo planejado”, que será utilizado para o cálculo do índice de disponibilidade no OEE. Isso significa que motivos como finais de semana, refeições, manutenção preventiva e outras paradas planejadas não “penalizam” o índice de disponibilidade do equipamento, devido serem interrupções planejadas no processo, não ocorrendo, portanto, devido às causas relacionadas ao equipamento.

A coleta e inclusão dos dados em uma planilha para se obter a OEE pode ser entediante e consumir muito tempo da pessoa envolvida se houver muitas máquinas - além da possibilidade de ocorrência de erros de lançamento - caso a empresa não possua um sistema automatizado para a gestão destas informações e o cálculo da OEE. Nesse sentido podem ser instalados coletores automáticos de dados a fim de se alimentar um banco de dados e um *software* que calcule o OEE evidenciando suas perdas, tal como proposto por Singh *et al* (2013).

Após se calcular a OEE de todos os principais equipamentos, processos e setores importantes para cada planta, Hansen (2002, p.12) recomenda classificar os resultados da OEE visando identificar as prioridades de atuação necessárias à organização, segundo os critérios:

OEE < 65%: inaceitável, deve-se atuar imediatamente nessas situações.

65% < OEE < 75%: aceitável, apenas se tendências trimestrais denotarem melhorias.

75% < OEE < 85%: muito bom, porém é importante perseguir níveis de classe mundial, os quais, dependendo do tipo de processo produtivo, podem ser os seguintes:

OEE > 85%: classe mundial, para produção em lotes.

OEE > 90%: classe mundial, para produção em massa.

OEE > 95%: classe mundial, para produção contínua.

Finalmente, Singh *et al* (2013) afirmam que a OEE, enquanto técnica utilizada para medir a eficiência das máquinas, possibilita o entendimento de problemas complexos de sua produção em uma simples e intuitiva forma de apresentação das informações. Os autores ainda destacam o auxílio da OEE na análise sistemática do processo, identificando os principais problemas que afetam a utilização da máquina.

4.4 A OEE e a Manutenção Autônoma

Uma vez compreendidos os princípios, cálculos e objetivos da medição da OEE, é possível reconhecê-la como um indicador adequado para a medição dos resultados antes, durante e após a implantação de cada etapa da Manutenção Autônoma. Isso é válido partindo do reconhecimento de que a Manutenção Autônoma introduz uma série de atividades sob responsabilidade dos operadores que podem contribuir para a redução de perdas de disponibilidade, performance e qualidade.

O quadro 3 relaciona as etapas da Manutenção Autônoma às principais perdas – entre elas as da OEE - que podem ser reduzidas ou ainda evitadas, à medida em que tais etapas vão sendo progressivamente implementadas.

Quadro 3 – Etapas da Manutenção Autônoma x Perdas Evitáveis

Etapa	Descrição	Perda evitável
1	Limpeza inicial	Quebras, pequenas paradas e defeitos nos produtos
2	Contramedidas para as fontes de sujeira e locais de difícil acesso	Tempo de limpeza
3	Padrões de limpeza, inspeção e lubrificação	Quebras, pequenas paradas e defeitos nos produtos
4	Inspeção geral	Quebras
5	Inspeção autônoma	Defeitos nos produtos
6	Padronização	Tempo de inspeção, <i>leadtimes</i> elevados
7	Gestão autônoma	Seis grandes perdas da OEE, problemas em fluxos, estoques em processo

Fonte: o autor (2020)

Conforme quadro 3, na etapa 1, por meio das atividades de limpeza, pode-se evitar quebras, pequenas paradas e defeitos nos produtos caso as suas causas estejam relacionadas à

sujeira no equipamento. A introdução da etiquetagem também previne quebras e pequenas paradas, pois evita manutenções corretivas emergenciais, possibilitando o planejamento de intervenções programadas de manutenção. Reduzir ou evitar tais perdas podem contribuir tanto para o aumento das taxas de disponibilidade, performance e qualidade da OEE, como também para a redução dos desperdícios relacionados ao consumo de energia elétrica devido às paradas imprevistas das máquinas.

Já com a implantação da etapa 2 é possível se obter uma redução do tempo das atividades de limpeza do equipamento, contribuindo para o aumento de sua disponibilidade. Ainda de acordo com o quadro 3, na etapa 3 por meio da introdução de padrões de limpeza, inspeção e lubrificação - dependendo do tipo de processo e de suas perdas - também é possível se obter melhorias nas três taxas da OEE, pois quebras, pequenas paradas e defeitos podem ser reduzidos ou evitados com a implantação desta etapa. Outra contribuição refere-se à redução dos desperdícios com consumo de energia elétrica devido ao atrito excessivo por falta ou lubrificação inadequada em sistemas eletromecânicos.

A introdução de controles visuais e inspeções preventivas que ocorrem na etapa 4 contribuem para a redução das quebras dos equipamentos, tendo como consequência um aumento da taxa de disponibilidade da OEE. Por sua vez na etapa 5 o mesmo tipo de atividade é realizado, porém com foco na redução de produtos defeituosos a partir de inspeções de parâmetros de processo e de seus componentes pelo operador, resultando em uma melhor taxa de qualidade.

Na etapa 6 da Manutenção Autônoma, todos os padrões e *check-lists* criados são revisados e integrados num só documento, determinando-se rotas ótimas para a sua execução. Isso pode contribuir para o aumento da disponibilidade devido a redução dos tempos de inspeção empregados quando a máquina está parada, também resultando em menores *leadtimes* no processo. Finalmente com a implantação da etapa 7 a gestão da máquina passa a ser autônoma, o que significa os operadores gerirem a eficiência da máquina por meio da OEE. Essa gestão baseia-se em dois tipos de metas (Campos, 2009, p.25): (1) metas para manter os resultados, onde havendo desvios em relação a elas, os operadores analisam suas causas raízes e implementam contramedidas para evitar sua reincidência. (2) metas para melhorar os resultados, operacionalizadas por meio de *Kaizens* de melhoria, também conduzidos por operadores. Costumam fazer parte destas melhorias aspectos relacionados aos estoques em processo e problemas em fluxos de materiais ao redor do equipamento.

É importante frisar que as economias obtidas com a introdução de cada etapa da Manutenção Autônoma são cumulativas, ou seja, quando o equipamento e os operadores se encontram na etapa 4, as economias proporcionadas pelas etapas 1 a 3 podem continuar a ser capturadas, com a medição da OEE podendo ser utilizada como base para se computar as economias no processo.

4.5 Abrangência e aplicações recentes

Nessa seção são apresentadas aplicações recentes da OEE com o objetivo de ilustrar sua utilização em programas de melhoria contínua bem como em conjunto com outras ferramentas e/ou métodos tipicamente utilizados na engenharia de produção. Destaca-se também a variedade de processos de fabricação onde pode ser implantado o indicador da OEE.

Uma aplicação da OEE como um método para se determinar a capacidade de utilização em uma empresa farmacêutica, segundo Green e Taylor (2016), demonstrou que havia capacidade de produção suficiente em dois locais para atender uma determinada demanda, evitando que a empresa investisse 7 milhões de dólares em novas instalações. Outros métodos utilizados em conjunto com a OEE nesta aplicação foram: análise de capacidade; mapeamento de processo; análise de demanda; utilização do equipamento e análise de custo.

Tobe, Widhiyanuriyawan e Yuliati (2017) relatam uma aplicação da OEE integrada à Manufatura Enxuta, no processo produtivo de uma empresa produtora de fertilizantes. No artigo são expostos em detalhes todos os parâmetros utilizados para o cálculo dos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE. Os motivos das perdas são classificados conforme os oito tipos de desperdícios considerados pela Manufatura Enxuta, sendo posteriormente analisados com apoio da ferramenta FMEA (análise dos modos e efeitos das falhas), possibilitando a empresa empreender ações nas perdas prioritárias resultando na melhoria da OEE.

Prabowo, Subrpto e Farida (2018) apresentam uma aplicação da OEE relacionada a implantação de oito pilares do TPM em uma empresa alimentícia. No processo de fabricação de biscoitos havia desvios de qualidade em relação aos padrões, e a produção não atingia as metas devido as máquinas quebrarem com frequência. Após implantação dos pilares e medições da OEE, foi aplicado um questionário tipo *survey* a uma amostra de 40 pessoas, obtendo-se retornos de 33 respondentes. O tratamento estatístico desenvolvido a partir das respostas

revelou, segundo os autores, que a melhoria de performance da manufatura pôde ser explicada em 74,3% pelos 8 pilares TPM, sendo os outros 25,7% atribuíveis a outras variáveis.

Em uma empresa fabricante de placas e componentes eletrônicos, Fam *et al* (2018) compararam o melhoramento da OEE em duas linhas de fabricação (CANON e ESEC) suportadas por Manutenção Autônoma, Manutenção Planejada e “Manutenção Focada” (no artigo foi utilizado este termo ao invés de Melhoria Focada). Partindo de dados históricos da OEE coletados por *software*, foram aplicadas técnicas estatísticas (teste de hipóteses, teste T, análises de variância e análise de regressão múltipla), visando identificar o impacto na melhoria da OEE das linhas a partir da implantação das três técnicas de manutenção supracitadas. No estudo a linha ESEC apresentou melhores resultados, principalmente devido à Manutenção Planejada. Os autores ainda formularam a equação geral preditora do comportamento da OEE a partir das variáveis analisadas.

Siregar *et al* (2018) ilustram uma aplicação da OEE em um compressor de uma companhia produtora de óleo cru e gás natural. A análise abrangeu um período de 6 meses, onde após a implantação de atividades de manutenção preventiva suportadas por um programa de 5S, obteve-se melhorias dos índices de disponibilidade (de 92 para 94%), performance (de 98 para 99%) e qualidade (de 97,5 para 99,5%) no compressor, resultando em um aumento de sua OEE (de 87,9 para 92,6%).

Uma implantação da OEE em uma linha de engarrafamento de cervejas é relatada por He *et al* (2018). A linha é dividida em seis subprocessos (unidades) nos quais são medidas as taxas de disponibilidade, performance e qualidade e em seguida calculadas a OEE para cada subprocesso. De posse destas informações era calculada a OEE da linha, denominada pelos autores de OTE (*Overall Throughput Effectiveness*). Este tipo de aplicação da OEE é fortemente relacionado com a TOC (teoria das restrições), a partir da qual a produtividade da linha aumentará quando a produtividade do subprocesso gargalo aumentar. Neste trabalho também foram utilizadas ferramentas da qualidade (fluxogramas e diagramas de causa-efeito) para identificar oportunidades de melhorias no processo.

Kechaou e Zolghadri (2019) propõem um modelo de decisão baseado na OEE por meio de um sistema de controle em malha fechada. O modelo obtido consiste em uma rede Bayesiana que possibilita simular o impacto de várias estratégias de produção na OEE, possibilitando ao tomador de decisão selecionar a mais adequada. O caso apresentado é ilustrado por meio da aplicação do modelo em uma linha de embalagens de cosméticos, obtendo-se resultados

satisfatórios, porém os autores destacam duas limitações no modelo obtido: (1) a não consideração dos “custos” e (2) a não consideração de algoritmos de otimização.

Uma evolução da aplicação do conceito de OEE ligada à necessidade cada vez maior de processos produtivos ambientalmente sustentáveis é proposta por Cercós, Calvo e Domingo (2019). Denominado pelos autores como OEEE (Eficiência Global do Equipamento incluindo aspectos Ambientais), este conceito baseia-se na multiplicação do índice OEE por um parâmetro de sustentabilidade. Este parâmetro de sustentabilidade é calculado por 1 menos a relação entre o impacto ambiental do estado do equipamento e o impacto ambiental total do processo produtivo analisado, ou seja, quanto maior este parâmetro, menor o impacto ambiental do equipamento no processo produtivo global. O artigo demonstra a aplicação da OEEE em um processo produtivo de papel, com os impactos ambientais medidos com relação à emissão de CO₂, no qual foi constatado haver fracos relacionamentos (comparados individualmente e de forma global) entre o parâmetro de sustentabilidade e as demais taxas da OEE (disponibilidade, performance e qualidade).

5 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

5.1 Classificação

De acordo com Miguel e Lee Ho (2012, p.78) as pesquisas em engenharia de produção podem ser classificadas, de forma sucinta, em duas categorias: experimentais e observacionais. Na pesquisa experimental, dados qualitativos e/ou quantitativos são coletados e analisados, com a possibilidade de serem influenciados por intervenções do pesquisador, sendo também geralmente necessário um grupo-controle para avaliar tais resultados. Por outro lado, as pesquisas observacionais - apesar de também requererem dados qualitativos e/ou quantitativos, de um ou mais grupos - são realizadas sem a intervenção do pesquisador, com este agindo como observador no processo de pesquisa. Com base no exposto, essa dissertação consiste em uma pesquisa observacional, devido ao autor coletar e analisar dados qualitativos e quantitativos sobre Manutenção Autônoma, porém sem qualquer tipo de intervenção sobre tais dados.

Quanto à forma de obtenção dos dados, esta pode ser prospectiva (dados futuros); retrospectivas (dados passados) e transversais (dados referentes a um período). No contexto dessa dissertação, a forma será retrospectiva, pois serão obtidos dados que possibilitem avaliar as melhorias na OEE dos equipamentos, antes e após a introdução da Manutenção Autônoma.

As pesquisas observacionais podem ser classificadas de duas formas: levantamentos populacionais e levantamentos amostrais. Os levantamentos populacionais em geral norteiam ações mais amplas, por exemplo governamentais, tendo como principal provedor de dados o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo, nesse caso, pesquisada toda uma população. Já nos levantamentos amostrais, além de serem definidos os objetivos, outros aspectos importantes precisam ser considerados tais como a população-alvo e a população amostrada. Nesse contexto, essa dissertação fundamenta-se em um levantamento amostral, devido ao seu objetivo não estar relacionado a uma população em específico, uma vez que serão selecionadas empresas e cargos para a coleta dos dados, com base em critérios a serem apresentados mais adiante neste trabalho.

Duas abordagens possíveis para a realização de uma pesquisa, segundo Martins (2012, 47) são denominadas de qualitativa e quantitativa. A qualitativa engloba uma série de técnicas que procuram descrever, decodificar ou ainda traduzir qualquer entendimento (ao invés de uma frequência de ocorrência) das variáveis de determinado fenômeno, sendo os métodos mais apropriados em engenharia de produção para se conduzir uma pesquisa qualitativa o estudo de

caso e a pesquisa-ação. Por outro lado, em uma pesquisa quantitativa, busca-se mensurar (quantificar) as variáveis para a partir daí se efetuar análises e extrair conclusões. Como nesta dissertação objetiva-se quantificar as variáveis da pesquisa (frequência de fatores críticos relatados para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma e o seu impacto na OEE), será utilizada uma abordagem quantitativa.

O mesmo autor afirma serem quatro os métodos mais comumente utilizados em engenharia de produção para se realizar a abordagem quantitativa: modelagem / simulação; experimento; quase-experimento e pesquisa de avaliação (também denominada de levantamento tipo *survey*). Na modelagem / simulação o pesquisador manipula as variáveis e os seus níveis, mas não na realidade e sim por um modelo que representa uma abstração da realidade, podendo haver ou não o uso de computadores para manipular as variáveis deste modelo. No experimento ou quase-experimento, o pesquisador planeja um experimento de modo a testar o relacionamento entre as variáveis de pesquisa oriundas de hipóteses, em seguida manipula as variáveis independentes e observa o resultado nas variáveis dependentes. O que diferencia o experimento do quase-experimento é que no primeiro o pesquisador isola as variáveis que não fazem parte do experimento. Finalmente, na pesquisa de avaliação o pesquisador não manipula os níveis das variáveis da pesquisa, sendo estas avaliadas pelos seus participantes por meio de instrumentos tais como questionários, entrevistas pessoais, e-mails e/ou telefonemas. Com base nos objetivos geral e específicos dessa dissertação, foi selecionada a pesquisa de avaliação para a identificação e priorização dos fatores críticos para a implantação da Manutenção Autônoma e o seu impacto no OEE das empresas participantes.

Diante do exposto, em resumo, tem-se que este trabalho se trata de uma pesquisa observacional, retrospectiva, a ser desenvolvida com base em um levantamento amostral, por meio de uma pesquisa de campo quantitativa, mais especificamente uma pesquisa de avaliação, apoiada na aplicação de questionários.

5.2 A pesquisa de avaliação

Uma pesquisa de avaliação (*survey*) refere-se a um procedimento para coleta de dados a partir de indivíduos (HAIR JR et al, 2005, p.157). Essa abordagem é utilizada quando o projeto de pesquisa envolve a coleta de informações de uma grande amostra de indivíduos. No caso dessa dissertação a pesquisa de avaliação está relacionada à obtenção de dados tanto referentes a empresas e suas máquinas modelo onde foram aplicadas a Manutenção Autônoma, como também sobre os resultados da implantação da Manutenção Autônoma na OEE, além da

percepção de funcionários destas empresas (representados por nove cargos) sobre quais seriam os fatores de maior impacto para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma nas empresas pesquisadas.

Forza (2002, apud Miguel e Lee Ho, 2012, p.94) relata que uma pesquisa de avaliação varia quanto ao seu objetivo principal, porém, em geral, pode ser de três tipos: exploratória, descritiva ou explanatória. A exploratória ocorre nos estágios iniciais de uma pesquisa sobre um dado fenômeno, objetivando adquirir uma visão inicial sobre um tema e fornecer base para uma *survey* mais detalhada. A descritiva visa o entendimento da relevância de certo fenômeno, porém seu objetivo primário não é o desenvolvimento ou teste de teoria, mas fornecer subsídios para a construção de teorias ou ainda um refinamento delas. A explanatória, também denominada confirmatória (ou de teste da teoria) ocorre quando o conhecimento sobre um fenômeno já foi desenvolvido teoricamente, por meio de conceitos bem definidos, sendo testadas hipóteses de relação causal entre as variáveis, além de consideradas todas as fontes de erros. No caso desta dissertação será utilizada uma abordagem com preponderância descritiva, com relação à identificação dos fatores críticos para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma bem como sobre o seu impacto na OEE, porém com traços exploratórios, uma vez que optou-se por deixar em aberto o fator “outros” para que o respondente incluía algum fator que considere relevante no sucesso da implantação da Manutenção Autônoma diferente dos fatores elencados.

Em uma pesquisa de avaliação, de acordo com Miguel e Lee Ho (2012, p.75), o pesquisador geralmente avalia uma amostra de um problema a ser investigado a fim de extrair conclusões acerca dessa amostra. Nesse contexto, o problema a ser investigado nessa dissertação refere-se a identificar o impacto da Manutenção Autônoma nos índices de OEE bem como os fatores críticos para uma implantação bem sucedida desta metodologia – segundo a percepção das pessoas entrevistadas (amostras) - nas empresas pesquisadas (também amostras).

5.3 Amostragem

Segundo Marconi e Lakatos (2018, p.29), quando se deseja obter informações sobre um ou mais aspectos de um grupo numeroso pode ser muito difícil fazer um levantamento do todo. Nesse sentido pode-se investigar apenas uma parte dessa população, porém surge o seguinte problema: escolher uma parte (amostra) de tal forma que ela seja a mais representativa possível do todo e, a partir dos resultados obtidos, poder inferir, o mais legitimamente possível, os resultados da população, caso essa fosse verificada (pesquisa censitária). As mesmas autoras

afirmam que há duas grandes divisões no processo de amostragem (determinação da amostra a ser pesquisada): a probabilística e a não probabilística.

As técnicas de amostragem probabilísticas (ou aleatórias) poderem ser submetidas a tratamento estatístico, permitindo assim compensar erros amostrais e outros aspectos relevantes tanto para a representatividade como para a significância da amostra. Miguel e Lee Ho (2012, p.79) destacam como principais tipos de amostras probabilísticas a amostra casual simples; a amostra estratificada; a amostra sistemática e a amostra por conglomerados.

Com relação às técnicas de amostragem não probabilística (não aleatórias) - por não fazerem uso de formas aleatórias de seleção – não possibilitam a aplicação de fórmulas estatísticas para o cálculo de, por exemplo, erros de amostra, com tal fato limitando a aplicação de métodos estatísticos na tratativa destes dados. Devido ao fato de haver uma escolha não aleatória das empresas e dos cargos que as representam, será utilizada nesta dissertação a amostragem não probabilística, mais especificamente a intencional.

Marconi e Lakatos (2018, p.29) relatam que o uso da amostragem não probabilística intencional ocorre quando o pesquisador está interessado na opinião de determinados elementos da população, mas não representativos dela. No caso desta dissertação, seria o caso de escolher um único operador, dentre vários, para ordenar os fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma. Nesse sentido, o pesquisador não obtém informações acerca de elementos representativos da população, mas daqueles que possam contribuir pela função desempenhada no processo em estudo. Uma vez aceita a limitação da impossibilidade de generalização dos resultados da pesquisa à população, e pesquisa passa a ter validade dentro de um contexto específico.

Mattar (2012, p.126) apresenta cinco razões para a adoção de uma amostragem não probabilística: (1) não existir outra alternativa viável devido a população toda não estar disponível para ser sorteada; (2) apesar de a amostragem probabilística ser tecnicamente superior na teoria, na prática ocorrem problemas em sua aplicação que enfraquecem sua superioridade (por exemplo, entrevistadores não seguirem corretamente as instruções ao selecionar respondentes), com o resultado dessa amostragem podendo se tornar não probabilístico; (3) a obtenção de uma amostra de dados que reflitam precisamente a população pode não ser o propósito principal da pesquisa, como no caso onde não haja intenção de generalizar o resultado da análise dos dados da amostra; (4) indisponibilidade de tempo e recursos financeiros, materiais e humanos necessários para uma pesquisa mais abrangente e (5)

os dados sobre a população não são ou não estão disponíveis, impedindo a construção de amostras probabilísticas.

Devido principalmente às razões 1, 3 e 5 supracitadas, a seleção da amostra das empresas participantes desta pesquisa será realizada a partir de uma amostra não probabilística intencional, baseada nas informações da revista Melhores e Maiores (Exame, 2019), mais especificamente as 50 maiores empresas por vendas do setor industrial, bem como em outras empresas que o autor tem conhecimento da aplicação da Manutenção Autônoma e da OEE.

Com relação à seleção dos cargos a serem pesquisados, o critério utilizado baseou-se em experiências práticas de implantação de programas de Manutenção Autônoma em empresas, por serem estes, geralmente, os principais *stakeholders* (partes interessadas) afetados pelos resultados da introdução da manutenção Autônoma: os gestores (diretor, gerente e supervisores) são beneficiados pelos impactos da Manutenção Autônoma na OEE, enquanto que os operadores e mantenedores, além dos resultados supracitados, também são beneficiados pelo desenvolvimento de novas competências em seu trabalho.

Sobre o critério de seleção das amostras dos cargos em cada empresa pesquisada, serão utilizadas duas abordagens. Para os cargos diretor industrial, gerente de produção, supervisor de manutenção, supervisor de qualidade e gestor do programa de melhoria contínua, a escolha da amostra também será não probabilística intencional, por só haver um representante de cada um desses cargos na empresa. Para os cargos operador e mantenedor será utilizada uma amostra probabilística casual simples, por meio de sorteio em cada um desses cargos a ser realizado pelo gestor de melhoria contínua, uma vez que há mais de um representante para cada um desses cargos na empresa. O mesmo poderá ser feito para os cargos engenheiro de processos e supervisor de produção, caso haja mais de um representante nesses cargos por empresa. Nos casos em que ocorrer o contrário, a amostra selecionada será não probabilística intencional.

5.4 Projeto da pesquisa de avaliação

Uma vez caracterizados o tipo de pesquisa, as abordagens e as amostras a serem utilizadas, passa-se à definição do instrumento de coleta dos dados a ser utilizado na pesquisa. Gil (2018, p.94) relata que em pesquisas de avaliação costumam ser utilizadas as seguintes técnicas de interrogação: o questionário, a entrevista e o formulário. Entende-se por questionário um conjunto de questões que são respondidas por escrito pelo pesquisado. Entrevista refere-se a uma técnica que envolve duas pessoas numa situação “face a face”, na

qual uma delas formula questões e a outra responde. Por fim, um formulário pode ser definido como uma técnica de coleta de dados em que o pesquisador formula questões previamente elaboradas e anota as respostas. Devido ao distanciamento físico das empresas a serem pesquisadas bem como de seus participantes do pesquisador, foi definido o questionário como instrumento para a coleta de dados desta pesquisa.

A elaboração do questionário consiste em se traduzir os objetivos específicos da pesquisa em itens adequadamente redigidos. Gil (2018, p.95) afirma que apesar de não existirem normas rígidas a respeito da elaboração do questionário, é possível – com base na experiência do pesquisador – utilizar-se de algumas regras práticas para se obterem os melhores resultados com a sua aplicação: (1) utilizar questões preferencialmente fechadas, mas com alternativas exaustivas para abrigar ampla gama de respostas possíveis; (2) incluir apenas perguntas relacionadas ao problema proposto; (3) não incluir perguntas cujas respostas podem ser obtidas de forma mais precisa por outros procedimentos; (4) levar em conta as implicações da pergunta com os procedimentos de tabulação e análise dos dados; (5) formular as perguntas de maneira clara, concreta e precisa; (6) a pergunta deve possibilitar uma única interpretação; (7) a pergunta não deve sugerir respostas; (8) o número de perguntas deve ser limitado; (9) o questionário deve iniciar com as perguntas mais simples e ser finalizado com as mais complexas; (10) tomar cuidados em relação à apresentação gráfica do questionário, visando facilitar o seu preenchimento e (11) o questionário deve conter instruções acerca do correto preenchimento das questões, preferencialmente com caracteres gráficos diferenciados.

De posse destas recomendações, passou-se a fase de elaboração das perguntas do questionário a ser aplicado para os participantes desta pesquisa. Nesse aspecto foram definidas cinco categorias de perguntas: dados da empresa; dados do entrevistado; dados do programa de melhoria contínua; dados da máquina modelo (primeira máquina a ter implantada a Manutenção Autônoma) e, finalmente, fatores impactantes na implantação da Manutenção Autônoma. As instruções sobre o preenchimento do questionário foram incluídas na formulação das perguntas para os casos necessários.

Para o atendimento dos objetivos desta pesquisa, o quadro 4 ilustra os dados coletados por categoria de pergunta. No quadro, é importante frisar que o termo “máquina modelo” se refere à primeira máquina escolhida na empresa para se implantar as etapas da Manutenção Autônoma. Em uma máquina modelo os conceitos de Manutenção Autônoma são testados e adaptados em função das características da empresa e, finalmente, validados, antes de serem

aplicados nas demais máquinas da empresa. Nesse sentido, Seleem, Attia e El-Assal (2018) relatam como um fator importante as ações de melhoramento no equipamento piloto, pois uma das principais vantagens em se trabalhar primeiro em máquinas modelo é que eventuais necessidades de correções e ajustes se restringem apenas a essas máquinas, minimizando erros e reduzindo as dificuldades inerentes a uma aplicação mais abrangente da Manutenção Autônoma.

Quadro 4 – Categorias de perguntas e dados a serem coletados

Categorias de perguntas	Dados a serem coletados
Empresa	Nome e número de funcionários
Entrevistado	Nome, função e tempo na função
Programa de melhoria contínua	Tipo; ano de início; se há pilar de Manutenção Autônoma e a quantidade de equipamentos com Manutenção Autônoma (iniciada ou concluída)
Máquina modelo	Local da instalação; ano da instalação; ano de início da Manutenção Autônoma; até qual passo (etapa) foi implementada a Manutenção Autônoma; nível de impacto da Manutenção Autônoma nos índices de disponibilidade; performance e qualidade da OEE
Fatores impactantes na implantação da Manutenção Autônoma	Percepção sobre o nível de impacto de onze fatores (dez pré-selecionados e um deixado em aberto) para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma

Fonte: o autor (2020)

Segundo Miguel e Lee Ho (2012, p.76), os dados podem ser classificados em dois grupos, quantitativos e qualitativos. Os dados quantitativos vão quantificar alguma grandeza de interesse, podendo ser divididos em dois tipos: dados discretos (gerados através de contagens) e dados contínuos (obtidos por meio de algum instrumento de medição). Por sua vez, os dados qualitativos são classificados em dois tipos: nominais (aqueles cujas respostas não podem ser ordenadas) e ordinais (as respostas podem ser ordenadas). Para esta pesquisa os dados coletados são dos seguintes tipos e classificações:

Quantitativo discreto: número de funcionários na empresa; tempo do entrevistado na função; quantidade de equipamentos com Manutenção Autônoma.

Qualitativo nominal: nome da empresa; nome do entrevistado; função do entrevistado; tipo de programa de melhoria contínua; ano de início do programa de melhoria contínua; existência de pilar de Manutenção Autônoma; local da instalação

Qualitativo ordinal: impacto da Manutenção Autônoma nos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE (alto, médio, baixo ou nenhum); percepções dos respondentes sobre o nível de impacto dos fatores elencados para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma (alto, médio, baixo ou nenhum).

Após definidos os tipos de dados passou-se à definição das questões a serem formuladas para a realização da pesquisa. Hair Jr et al (2005, p. 217) relatam que para alcançar respostas com alta qualidade o pesquisador deve prestar especial atenção à extensão do questionário, bem como à forma com que as perguntas estão estruturadas, ordenadas e codificadas. Isso também facilitará a coleta e a análise dos dados. Dois tipos de perguntas podem fazer parte de um questionário: perguntas abertas e perguntas fechadas, com estas últimas sendo subdivididas em dicotômicas, múltipla escolha ou escala (MATTAR, 2012, p.114).

Em uma pergunta fechada, o respondente pode escolher entre um número determinado de respostas, sendo denominada de dicotômica quando apresentar duas alternativas e múltipla escolha quando apresentar mais de duas alternativas. Nas perguntas com escala é solicitado ao respondente identificar qual ponto da escala melhor representa a sua opinião. Segundo Hair Jr et al (2005, p.219) a elaboração de perguntas fechadas é mais difícil em comparação com as abertas pois exige mais tempo do pesquisador, visando uma pré codificação das questões para que estas facilitem a entrada de dados e o seu tratamento computacional. Uma pergunta aberta, por sua vez, não restringe o respondente, que é livre para usar suas próprias palavras. Nesse sentido as questões abertas são geralmente mais fáceis de serem elaboradas, devido ao pesquisador não precisar oferecer com antecedência as alternativas de resposta, apresentando a vantagem de fornecer informações muito ricas como respostas.

No caso dessa dissertação serão utilizadas perguntas abertas para se obter os seguintes dados: nome da empresa; quantidade de funcionários; tempo no cargo; ano de início do programa de melhoria contínua, quantidade de equipamentos com Manutenção Autônoma; local (estado e cidade) e ano da instalação da máquina modelo; ano de início da Manutenção

Autônoma e algum fator crítico adicional aos elencados, relacionado à percepção do respondente sobre o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma em sua empresa.

Por outro lado, serão utilizadas perguntas fechadas de múltipla escolha para se obter os seguintes dados: tipo de programa de melhoria contínua adotado pela empresa; até qual passo foi implementada a Manutenção Autônoma na máquina modelo e o impacto da Manutenção Autônoma nos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE. Haverá uma pergunta fechada dicotômica: se há um pilar de Manutenção Autônoma e, por fim, será aplicada uma pergunta em escala, referente a avaliação dos fatores críticos para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma na máquina modelo.

Os fatores críticos propostos a serem avaliados pelos respondentes foram definidos com base na experiência do autor em práticas de consultoria na implantação da Manutenção Autônoma em empresas de setores industriais diversos, porém foi deixada uma opção como “outros” com o intuito de ser possível identificar, de forma exploratória, novos fatores de acordo com a percepção dos respondentes.

Outra menção importante refere-se ao critério adotado para a pontuação dos fatores críticos para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma. Ao invés de se utilizar uma escala numérica equilibrada, por exemplo, constituída dos números 10 (maior impacto), 9, 8, ..., até 1 (menor impacto), optou-se por se utilizar uma escala numérica não equilibrada, com os respondentes sendo orientados a atribuir 9 pontos (alto impacto) para apenas 2 dos fatores elencados, 3 pontos (médio impacto) para apenas 3 dos fatores elencados, com os fatores restantes recebendo 1 ponto (baixo ou nenhum impacto), de acordo com a percepção dos respondentes. Objetiva-se com o uso desse tipo de escala obter do respondente apenas os fatores mais relevantes de acordo com a sua percepção, ao invés de um ranqueamento completo de todos os fatores apresentados.

Uma vez definidos os tipos de perguntas e os tipos de dados a serem coletados para a realização da pesquisa, foram formuladas as perguntas e elaborado um questionário conforme evidencia o Apêndice A1 para, antes da realização da coleta de dados propriamente dita, este ser testado.

5.5 Teste piloto

Segundo Martins (2012, p.49), principalmente em pesquisas de avaliação, a escala de mensuração merece muita atenção do pesquisador, uma vez que muitas variáveis são opiniões

dos respondentes. Nesse sentido é importante atentar-se para a confiabilidade do instrumento de medição. Da mesma forma que um cronômetro, um questionário é um instrumento de medição e, por isso, também deve ser aferido e calibrado, antes de sua utilização, sendo por isso necessária a realização de um teste piloto antes de sua aplicação mais abrangente.

No caso desta pesquisa, o questionário do Apêndice A1 foi encaminhado a representantes das funções pesquisadas em uma empresa selecionada, solicitado o seu preenchimento e o respectivo tempo demandado para isto, além de questionado se estavam claras as perguntas a serem respondidas. O resumo dos resultados obtidos com esse teste foi o seguinte:

- 1) O menor tempo de preenchimento foi de 10 minutos e o maior foi de 43 minutos. A função “gestor do programa de melhoria contínua” foi a que conseguiu responder mais rapidamente o questionário, com as demais funções demorando mais tempo principalmente devido a não terem disponibilidade imediata dos dados referentes aos impactos da Manutenção Autônoma na OEE da máquina modelo.
- 2) Foi sugerida a inclusão do fator “apoio da coordenação do programa” por três dos respondentes.
- 3) Com relação às respostas às questões referentes ao impacto da Manutenção Autônoma sobre os índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE, surgiram dúvidas a respeito de se o objetivo era avaliar a melhoria do índice em termos de pontos percentuais ou avaliar a variação percentual da melhoria.
- 4) Ainda sobre essas questões surgiram dúvidas sobre qual o período a ser considerado para a comparação dos dados “antes x depois” da implantação da Manutenção Autônoma.
- 5) Sobre os fatores elencados que impactam em uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma surgiram dúvidas relacionadas ao que se referia, mais especificamente, cada fator. Por exemplo, o que seria “apoio da diretoria”, “motivação da equipe da máquina” ou ainda “qualificação técnica do líder da equipe de Manutenção Autônoma”?
- 6) Ainda sobre os fatores impactantes em uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma, foram recebidas respostas que não satisfaziam aos critérios

definidos, por exemplo, o critério definia atribuir 9 pontos (alto impacto) a apenas dois dos fatores elencados e foram recebidas respostas com mais de dois fatores pontuados com 9 pontos.

- 7) Finalmente, dois dos respondentes apontaram que o “índice de qualidade” não era medido na OEE da máquina modelo, e questionaram como deviam responder essa pergunta.

Com base no diagnóstico extraído da aplicação piloto do questionário implementou-se as seguintes melhorias antes do seu envio para a amostra almejada:

- 1) Criação de dois tipos de questionário: um aplicado ao gestor do programa de melhoria contínua (Apêndice A2) e outro aplicado aos cargos diretor, engenheiro de processos, gerente de produção, mantenedor, operador, supervisor de manutenção, supervisor de produção e supervisor de qualidade (Apêndice A3). A vantagem dessa separação reside no fato de que apenas o gestor de melhoria contínua responderá sobre o impacto quantitativo ordinal da Manutenção Autônoma na OEE da máquina modelo, não sendo mais necessário aos demais oito cargos fornecerem essa resposta, pois, em uma mesma empresa, as respostas seriam as mesmas, resultando também num tempo menor para estes cargos responderem aos questionários. Entretanto, para estes cargos foram elaboradas questões para avaliar se os respondentes têm conhecimento sobre (1) qual é (ou foi) a máquina modelo na planta e (2) os impactos da Manutenção Autônoma nos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE nesta máquina, com as seguintes alternativas de resposta: “sim”, “não” e “este índice não é aplicável à máquina modelo”.
- 2) Inclusão do fator “apoio da coordenação do programa” na questão acerca dos fatores que mais podem impactar em uma aplicação bem sucedida da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo.
- 3) Nas questões sobre o “impacto da Manutenção Autônoma” nos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE, foi deixado claro que os níveis de impacto se referem à melhoria nos pontos percentuais (pp) ao invés de variações percentuais. Dessa forma o entendimento ficou mais bem nivelado entre os respondentes sobre essas questões, sendo também melhorada a descrição dos exemplos correlatos a essas perguntas no questionário.

- 4) Também nas questões acerca do “impacto da Manutenção Autônoma” nos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE, foi incluída uma alternativa adicional denominada “índice não aplicado na máquina”, pois na empresa selecionada para o teste, o índice de qualidade ainda não havia sido incorporado ao OEE, podendo tal fato igualmente ocorrer com este ou outros índices em outras empresas pesquisadas.
- 5) Para se ter uma maior clareza sobre quais períodos seriam comparados (impactos nos índices de disponibilidade, performance e qualidade) “antes e depois” da implantação da Manutenção Autônoma, definiu-se o “antes” como o valor obtido no “primeiro mês após iniciado o passo 1” (pois este período costuma não ser suficiente para apresentar qualquer melhoria relacionada à máquina devido à introdução da Manutenção Autônoma), e o “depois” como a “mediana dos últimos três meses”, tomando como base a data em que se está respondendo o questionário.
- 6) Para se minimizar erros de preenchimento referentes à questão 8 do Apêndice A2 e à questão 6 do Apêndice A3, em relação ao critério de atribuição de 9 pontos para apenas dois fatores (alto impacto), 3 pontos para apenas 3 fatores (médio impacto) e 1 ponto para os demais fatores (baixo ou nenhum impacto), foram incorporadas as cores vermelha, azul e verde nos textos, para reforçar a atenção por parte do respondente ao cumprimento desses critérios, evitando reenvio de questionários solicitando correções.
- 7) Finalmente, foi criado e incorporado no final dos questionários o texto abaixo esclarecendo o significado de cada fator elencado, possibilitando aos respondentes um conhecimento nivelado sobre os significados dos fatores, visando minimizar vieses de falta de compreensão sobre o significado de cada fator.
 - *Apoio da consultoria:* treinamento sobre a metodologia; avaliações periódicas da qualidade das atividades e dos resultados; e realização de auditorias de mudança de etapa.
 - *Apoio da coordenação do programa:* esclarecimento de dúvidas sobre a metodologia; remoção de barreiras organizacionais para a realização das atividades; e participação em reuniões da equipe de Manutenção Autônoma.

- *Apoio da diretoria:* patrocínio do programa entre os gerentes; reconhecimento da importância da Manutenção Autônoma e das suas melhores práticas na empresa.
- *Apoio da gerência:* patrocínio do programa entre os supervisores; acompanhamento dos resultados da Manutenção Autônoma e retorno (*feedback*) aos supervisores; e reconhecimento das melhores práticas no setor fabril.
- *Apoio da supervisão:* acompanhamento do andamento da Manutenção Autônoma e retorno (*feedback*) à equipe; liberação da equipe de Manutenção Autônoma para reuniões e treinamentos; e apoio no desenvolvimento das atividades.
- *Disponibilidade de orçamento:* para uso em treinamentos, horas extras (se necessário), e manutenção dos equipamentos.
- *Disponibilidade de tempo:* para execução de atividades como reuniões, treinamentos e auditorias.
- *Experiência em gestão do líder da equipe de Manutenção Autônoma:* capacidade de liderar equipes na realização de suas atividades em direção aos objetivos e resultados almejados.
- *Motivação da equipe da máquina:* vontade de aprender novas práticas e atividades para aprimorar conhecimentos, desenvolver novas habilidades e contribuir com a melhoria dos resultados da empresa.
- *Qualificação técnica do líder da equipe de Manutenção Autônoma:* conhecimentos do líder da equipe de Manutenção Autônoma sobre o equipamento e/ou máquina onde está sendo implantada a Manutenção Autônoma.
- *Outros:* especificar, caso em sua opinião, haja outro fator diferente dos citados.

5.6 Análise de conglomerados

Para atingir os objetivos desta pesquisa é importante a aplicação de técnicas para análise dos dados. Estando o objetivo geral relacionado a múltiplas variáveis - (1) índices de

disponibilidade, performance e qualidade (a partir da aplicação da Manutenção Autônoma) e (2) onze fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma – considera-se pertinente a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas, mais especificamente a técnica de análise de conglomerados.

Segundo Hair et al (2005), a análise de agrupamentos (também denominada de análise de conglomerados, ou ainda análise de *clusters*) é um grupo de técnicas estatísticas multivariadas com a finalidade de agregar objetivos (por exemplo, respondentes, produtos ou outras entidades) com base em características comuns. Os grupos resultantes dos objetos (*clusters*) devem exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos grupos) e elevada heterogeneidade externa (entre os grupos). No caso desta pesquisa tais grupos são considerados os cargos pesquisados, os segmentos industriais e os tipos de programa de melhoria contínua.

Os mesmos autores frisam que com este tipo de análise o pesquisador pode atingir um de três objetivos: (1) classificação de objetos baseada na experiência; (2) simplificação de dados, quando se objetiva ver todas as observações como membros de um agrupamento, ao invés de únicas e, finalmente, (3) identificação de relações entre as observações individuais. Como essa pesquisa visa identificar se há relações comuns entre cargos, segmentos industriais e tipos de programa de melhoria contínua, seu objetivo enquadra-se na identificação de relações entre as observações.

Fávero et al (2009) relatam que o procedimento de análise de conglomerados pode ser dividido em cinco etapas, apresentadas a seguir, neste trabalho desenvolvidas com o apoio da ferramenta estatística IBM SPSS®.

Etapa 1 – Análise das variáveis e dos objetivos a serem agrupados

Os dois grupos de variáveis selecionados para esta pesquisa foram (1) os fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma e (2) os impactos dos índices de disponibilidade, performance e qualidade na OEE. Os dados coletados não apresentaram *outliers* (inconsistências) devido verificações do pesquisador quando do recebimento de cada questionário. Ao se constata uma resposta incorreta ou incompleta, o questionário era devolvido para a sua correção e posteriormente recebido corrigido. Não houve necessidade de padronização das variáveis da pesquisa devido estas apresentarem uma mesma magnitude (pontuação 9, 3 ou 1). Em uma situação, por exemplo, que contém uma pesquisa que considera para cada empresa (observação) as variáveis (1) venda em US\$ (milhões), (2) número de

empregados (em milhares) e (3) número de não conformidades de qualidade (centenas), tal padronização seria necessária. Segundo Fávero et al (2009) uma das formas mais comuns de padronização é a transformação de cada variável em um escore padrão (Z scores) o que evita distorções na estrutura do agrupamento.

Com relação aos objetivos a serem agrupados, estes se referem aos (1) cargos, (2) segmentos industriais e (3) tipos de programa de melhoria contínua. O agrupamento é realizado por meio de três análises específicas, uma para cada por objetivo.

Etapa 2 – Seleção do tipo de medida (distância ou semelhança)

Fávero e Belfiore (2015, p.7) afirmam que as medidas de distância (ou de dissimilaridade) entre os dados costumam ser usadas quando as variáveis do banco de dados forem essencialmente métricas, visto que quanto maiores as diferenças entre os valores das variáveis de duas determinadas observações, menor a similaridade entre elas ou, em outras palavras, maior a dissimilaridade. Por sua vez, as medidas de semelhança (ou de similaridade) são mais utilizadas quando as variáveis forem binárias, onde o interesse reside na frequência dos pares das respostas convergentes (1-1 ou 0-0) de duas determinadas observações. Assim, quanto maior a frequência de pares convergentes, maior a semelhança (similaridade) entre as observações. Como os fatores críticos de sucesso e os impactos na OEE foram medidos em escala métrica, será utilizada uma medida de distância (dissimilaridade). Os mesmos autores discutem alguns tipos de medidas de distância tais como: Euclidiana, Quadrática Euclidiana, Minkowski, Manhattan, Chebychev e Camberra. Nesta pesquisa foi adotada a Distância Euclidiana, por ser a mais comumente utilizada em análises de agrupamentos.

Etapa 3 – Seleção do algoritmo de agrupamento

Há dois esquemas de aglomeração a partir dos quais pode ser definido um algoritmo de agrupamento: hierárquico e não hierárquico. No esquema hierárquico o algoritmo estabelece uma relação de hierarquia entre indivíduos e grupos, formando passo a passo os agrupamentos. Garson (apud Figueiredo Filho, Silva Junior e Rocha, 2012), afirma que o esquema de aglomeração hierárquico é mais apropriado para pequenas amostras (número inferior a 250). No esquema não hierárquico são utilizados algoritmos para maximizar a homogeneidade dentro de cada agrupamento, sem que haja um processo hierárquico para isso. Os esquemas de aglomeração não hierárquicos são utilizados para agrupar indivíduos com o número inicial de *clusters* sendo definido pelo pesquisador (Fávero et al, 2009). Devido neste trabalho não se ter

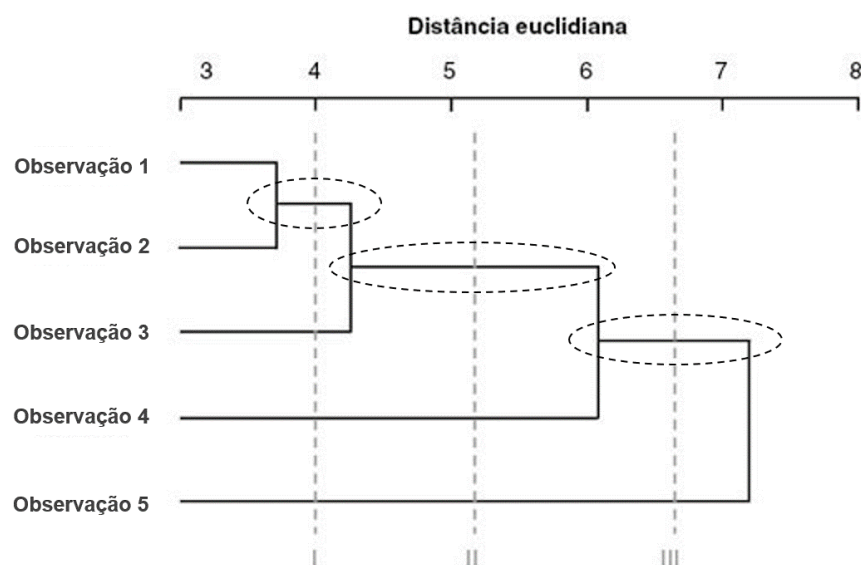
uma ideia preliminarmente definida sobre o número de agrupamentos para esta pesquisa e do tamanho da amostra ser de 126 observações, utiliza-se o esquema de aglomeração hierárquico.

Nos esquemas de aglomeração hierárquicos, três são os principais métodos de encadeamento: (1) “único” (ou vizinho mais próximo), que opera com as menores distâncias, sendo sua aplicação recomendável para casos em que as observações sejam relativamente afastadas; (2) “completo” (ou vizinho mais distante), o oposto do “único” e o (3) “médio” (entre grupos), que preserva a solução de ordenamento oferecida pelo método “único” caso haja um afastamento considerável entre as observações. No caso dessa pesquisa será utilizado o encadeamento médio, pois a escala utilizada para as pontuações dos fatores críticos (9-3-1) pode fazer com que haja afastamentos entre as observações, em função da percepção dos entrevistados sobre tais fatores.

Etapa 4 – Escolha da quantidade dos agrupamentos formados

Fávero et al (2009) destacam que em análise de conglomerados não existe de fato um procedimento padrão altamente objetivo para estabelecer o número adequado de grupos. Como o método resulta em diversas soluções de agrupamento, fica como atribuição do pesquisador o julgamento do número adequado de grupos, entretanto, os mesmos autores frisam uma prática bastante útil e muito adotada, conforme ilustra a figura 6.

Figura 6 – Dendograma e formação de grupos



Fonte: adaptado de Fávero e Belfiore (p.29-30)

A identificação da quantidade de *clusters* é feita por um processo que leva em consideração o estágio de aglomeração imediatamente anterior a um grande salto no dendograma, por meio do traçado de uma reta vertical que intercepta este grande salto (linha tracejada vertical II, na figura 6).

Na figura 6, em uma primeira instância, um pesquisador poderia escolher para a formação de grupos (*clusters*) as observações que estão agrupadas com quaisquer linhas verticais traçadas (I, II ou III). Por exemplo, se for escolhida a linha III, então seria formado dois *clusters*: (1) observações 1, 2, 3, 4 e (2) observação 5. Porém, observa-se que o maior salto na distância euclidiana ocorre na elipse interceptada pela linha II. Nesse sentido, pode-se formar três *clusters*: (1) observações 1, 2, 3, (2) observação 4 e (3) observação 5.

Etapa 5 – Interpretação e validação dos agrupamentos

Após formados os grupos é necessário que estes sejam interpretados pelo pesquisador, de acordo com os objetivos da pesquisa. Neste trabalho objetiva-se (1) avaliar quais cargos, segmentos industriais e tipos de programa de melhoria contínua apresentam percepções similares sobre os fatores críticos de sucesso avaliados, bem como (2) identificar quais segmentos industriais pesquisados apresentam melhores resultados em disponibilidade, performance e qualidade na OEE, com a aplicação da Manutenção Autônoma.

Com base no exposto por Fàvero et al (2009) e Fàvero & Belfiore (2015), no presente trabalho será adotado o seguinte procedimento para realização da análise de conglomerados:

(1) aplicação da técnica de análise de *clusters* hierárquica para visualização inicial do dendograma formado;

(2) definição do número de *clusters* com base no estágio de aglomeração imediatamente anterior a um grande salto;

(3) nova aplicação da técnica de análise de *cluster* hierárquica com o número de *clusters* definidos em (2);

(4) análise da variância de um fator, visando identificar se os valores da variável apresentam diferenças significativas entre os *clusters* formados, ou seja, se a variabilidade entre os *clusters* é significativamente superior à variabilidade interna a cada um deles;

(5) discutir os resultados.

6 COLETA DE DADOS

A coleta de dados é a fase na qual são efetuados os contatos com os respondentes, aplicados os instrumentos de coleta de dados, registrados os dados e efetuada uma primeira crítica sobre o preenchimento dos instrumentos, que será processado posteriormente (MATTAR, 2012, p.160). O mesmo autor afirma que apesar de existirem variações no planejamento das atividades de coleta de dados (de acordo com o método utilizado), para qualquer que seja o método empregado, são importantes levar em consideração quatro aspectos principais: cronograma de atividades, orçamento das despesas, recursos humanos e controle.

Com relação a essa dissertação a etapa de teste piloto do questionário foi desenvolvida por um período de três semanas, não sendo necessário alocar um orçamento devido a coleta de dados ser realizada unicamente por meio de um questionário enviado aos participantes por e-mail. O autor consiste no único recurso humano alocado para a coleta de dados, estando disponível para o atendimento às dúvidas, caso necessário, por e-mail ou ainda por telefone, com o controle dos questionários realizado com apoio de uma planilha.

A coleta de dados é uma fase importante na investigação e, de acordo com Miguel e Lee Ho (2012, p.98), apesar de o pesquisador tem pouco controle sobre ela, isso não significa que não possam ser tomadas algumas ações, principalmente, para aumentar a taxa de retorno dos questionários. Um aspecto importante é a apresentação da pesquisa, pois quanto melhor for esta apresentação, maior o incentivo aos pesquisados responderem ao questionário. O envio de uma carta de acompanhamento explicitando os objetivos da investigação, e uma declaração do caráter de confidencialidade das informações a serem obtidas também são práticas importantes, tal como evidenciado no trabalho de Carnevalli (2002) e utilizado nesta pesquisa.

6.1 Envio dos questionários

Antes de se iniciar a coleta dados, foram definidas algumas estratégias para se maximizar os resultados da coleta, uma vez que o envio dos questionários contempla tanto participantes da pesquisa com os quais o autor tem ou teve contato um dia, como também novos contatos com empresas que o autor não teve a oportunidade de desenvolver atividades em conjunto. Para ambas as situações foi criada e enviada uma carta aos participantes da pesquisa, juntamente com os questionários, conforme Apêndice B1.

A estratégia definida para as empresas com as quais o autor presta ou já prestou serviços foi a seguinte: foi enviado o questionário por e-mail ao gestor do programa de melhoria contínua juntamente com a carta de apresentação da pesquisa, e solicitado ao gestor do programa os e-mails dos funcionários que representam os cargos diretor, engenheiro de processos, gerente de produção, operador, mantenedor, supervisor de manutenção, supervisor de produção e supervisor de qualidade. Uma vez obtidos esses contatos, foram enviados e-mails a cada um deles incluindo a carta de apresentação e o questionário a ser respondido.

Por outro lado, para as empresas com as quais o autor nunca teve contato, a estratégia aplicada foi a seguinte: identificou-se o gestor do programa de melhoria contínua da empresa por meio do *site linkedin*, utilizando como palavras chave os nomes das empresas industriais listadas como as 50 maiores na edição da Revista Melhores e Maiores (Exame, 2019), bem como os cargos comumente correlatos a gestão de programas de melhoria contínua, tais como coordenador ou gerente de projetos de melhoria contínua ou de programas de melhoria contínua. Em seguida enviou-se uma mensagem a cada contato convidando-o a fazer parte da rede de relacionamentos profissionais do autor. Para aqueles que aceitaram, foi enviada nova mensagem convidando o contato a participar da pesquisa de levantamento. Àqueles que aceitaram participar da pesquisa foram enviados o questionário e a carta de apresentação da pesquisa. Uma vez o gestor respondendo ao questionário, foi solicitado a ele os e-mails dos funcionários que representam os cargos diretor, engenheiro de processos, gerente de produção, operador, mantenedor, supervisor de manutenção, supervisor de produção e supervisor de qualidade. Após obtidos esses contatos, foram enviados e-mails a cada um deles contendo a carta de apresentação da pesquisa e o questionário a ser respondido.

O controle utilizado para a gestão dos questionários foi uma planilha que contempla as empresas pesquisadas, os cargos pesquisados e o status de cada questionário (não enviado, enviado e recebido). Foi adotado um prazo padrão de três semanas entre o envio e o recebimento dos questionários.

Para os questionários não retornados em até três semanas após o seu envio, foi enviado a cada participante da pesquisa um novo e-mail com uma nova carta, solicitando o recebimento do questionário, conforme evidencia o Apêndice B2 (carta de acompanhamento dos questionários em atraso). Esta nova carta também teve como prazo de recebimento três semanas a serem contadas a partir da data do seu envio. Nesse contexto, foi aguardado um tempo máximo de seis semanas após o questionário enviado, período, portanto, geralmente superior as férias

de 30 dias, caso algum respondente estivesse desfrutando das mesmas durante o envio do questionário. Os questionários não respondidos neste período foram considerados como “não retornados” para efeito de análise.

6.2 Recebimento dos questionários

À medida em que os questionários eram retornados estes eram conferidos com o objetivo de identificar eventuais inconsistências tais como preenchimentos errados ou incompletos. O principal erro encontrado em alguns questionários foi o não cumprimento do critério de atribuição de pontuação aos fatores críticos para a implantação da Manutenção Autônoma (atribuir 9 pontos para apenas 2 fatores; atribuir 3 pontos para apenas 3 fatores; atribuir 1 ponto aos fatores restantes). Nestes casos, o autor reenviava o questionário incorreto ao respondente orientando-o novamente sobre os critérios a serem seguidos para que as respostas fossem consideradas válidas. Em todos os casos que este problema ocorreu, após um novo contato do autor com os respondentes, os questionários retornaram com os preenchimentos corrigidos.

O quadro 5 ilustra os resultados sobre o envio, recebimento e a validação dos questionários.

Quadro 5 – Resultados acerca do envio, recebimento e validação dos questionários

Descrição	Quantidade	% (alvo)	Observações
Empresas "alvo"	65	100	Foram enviadas mensagens a contatos de todas as empresas "alvo"
Empresas com estabelecimento de contato	51	78,5	14 empresas (das 65 alvos) não responderam ao convite via linkedin
Empresas com questionários enviados	40	61,5	11 empresas (das 51 com contatos estabelecidos) não manifestaram interesse em participar da pesquisa
Empresas com questionários retornados	27	41,5	13 empresas (das 40 que receberam questionários) não retornaram os questionários
Empresas com questionários válidos	14	21,5	Cada uma das 14 empresas (das 27 que retornaram questionários) retornou o conjunto completo de questionários (9 cargos por empresa, 1 questionário por cargo)

Fonte: autor (2020)

No quadro verifica-se que foram enviadas mensagens para colaboradores das 65 empresas alvo da pesquisa, sendo possível estabelecer contatos iniciais com 51 destas empresas. Destas empresas, 40 manifestaram interesse em participar da pesquisa, sendo então enviados cartas convite e questionários inicialmente apenas para os gestores dos programas de melhoria contínua. Destas 40 empresas, os gestores de melhoria contínua de 27 empresas retornaram questionários preenchidos, porém constatou-se que 8 empresas não possuíam Manutenção Autônoma, resultando em 19 empresas que aplicavam a metodologia. Em seguida foram solicitados aos gestores de melhoria contínua destas 19 empresas e-mails dos outros 8 cargos pesquisados por empresa (diretor, engenheiro de processos, gerente de produção, mantenedor, operador, supervisor de manutenção, supervisor de operações supervisor de qualidade). Com base nestes e-mails recebidos, foi possível obter de 14 empresas todos os questionários respondidos (um questionário para cada um dos 9 cargos), resultando em 126 questionários recebidos.

A taxa de recebimento global foi de 21,5% que, segundo Mattar (apud Carnevalli, Miguel e Salerno, 2013), está de acordo com o praticado na literatura, podendo variar de 3 a 50%. É importante esclarecer a diferença entre as 19 empresas que possuíam Manutenção Autônoma que retornaram questionários e as 14 empresas cujos questionários foram considerados válidos para a pesquisa. Apesar destas 5 empresas retornarem questionários preenchidos, elas não o fizeram em sua totalidade, ou seja, 9 questionários por empresa, um para cada cargo pesquisado (os retornos variaram de 1 até 3 questionários por empresa), dessa forma optou-se por não incluir na pesquisa estes questionários.

Após identificados os questionários válidos o passo seguinte foi lançá-los em um banco de dados elaborado a partir de uma planilha, para que fossem gerados os gráficos e realizadas as análises, de acordo com os objetivos da pesquisa.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos 126 questionários recebidos de 14 empresas (9 questionários por cargo, por empresa), iniciou-se a análise pelas características básicas das empresas pesquisadas.

7.1 Características das empresas pesquisadas

Com o objetivo de fornecer uma visão geral acerca da abrangência da pesquisa partindo de informações básicas sobre as empresas pesquisadas foi criado o quadro 6.

Quadro 6 – Informações básicas sobre as empresas pesquisadas

Código	Nome Empresa	Origem	Setor	Segmento	Número Funcionários
1	Alfa	Nacional	Bem de consumo	Moveleiro	433
2	Beta	Nacional	Bem de consumo	Embalagem	305
3	Gama	Multinacional	Autoindústria	Automotivo	4000
4	Delta	Nacional	Bem de consumo	Moveleiro	2000
5	Epsilon	Nacional	Papel e celulose	Papel e Celulose	2000
6	Zeta	Nacional	Bem de consumo	Cosmético	1700
7	Eta	Multinacional	Bem de consumo	Moveleiro	50
8	Teta	Multinacional	Autoindústria	Bem de capital	450
9	Iota	Multinacional	Bem de consumo	Embalagem	1100
10	Kappa	Multinacional	Bem de consumo	Embalagem	500
11	Lambda	Nacional	Bem de consumo	Higiene e limpeza	370
12	Mi	Nacional	Química e petroquímica	Lubrificante	650
13	Ni	Nacional	Papel e celulose	Papel e celulose	183
14	Csi	Multinacional	Autoindústria	Bem de capital	900

Fonte: o autor (2020)

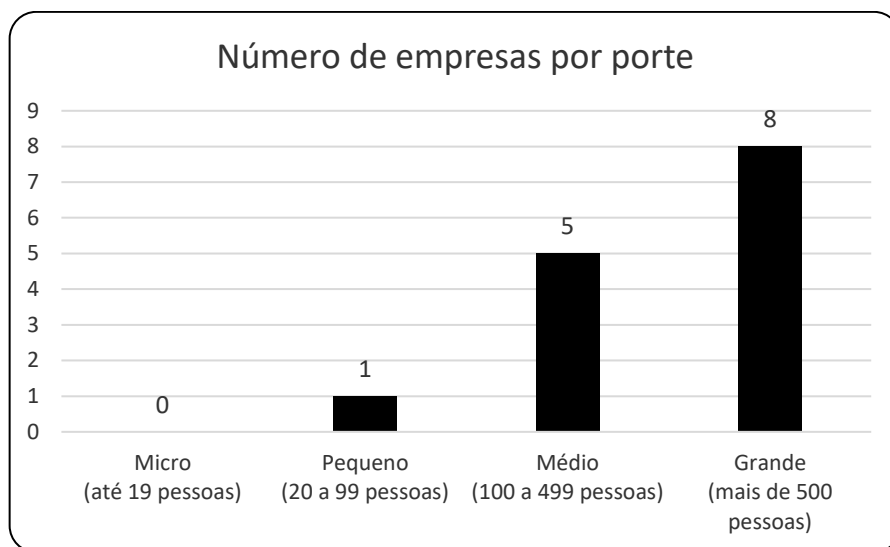
Conforme quadro 6, a cada empresa foram atribuídos um código e um nome fictício a fim de se manter a confidencialidade das informações. Com base em sua procedência o autor classificou cada empresa como sendo de origem brasileira (nacional) ou estrangeira (multinacional). O “setor” refere-se à classificação de empresas utilizada pela revista Melhores e Maiores (Exame, 2019), enquanto o “segmento” refere-se a uma coluna elaborada pelo autor a fim de se poder diferenciar - principalmente dentro do setor bem de consumo - os segmentos cosmético, embalagem, higiene e limpeza e moveleiro, e dentro do setor autoindústria uma diferenciação entre empresas que atuam no segmento automotivo daquelas que fabricam bens de capital. A última coluna refere-se ao número de funcionários de cada empresa.

No banco de dados, as colunas “código”, “origem” e “segmento” foram elaboradas pelo autor; as colunas “nome da empresa” e “número funcionários” foram informadas pelo gestor

do programa de melhoria contínua via questionário e a coluna “setor” foi preenchida a partir da revista Melhores e Maiores (Exame, 2019).

O gráfico 1 resume informações sobre o porte das empresas pesquisadas, no qual nota-se que a maioria das empresas pesquisadas (57%) são classificadas – de acordo com o SEBRAE (2020) - como empresas de grande porte. Apesar dessa preponderância, constata-se que dentre as 14 empresas pesquisadas a Manutenção Autônoma está sendo implementada em empresas de pequeno, médio e grande porte, nesse sentido não sendo considerado o porte da empresa, portanto, um limitante para a sua implantação.

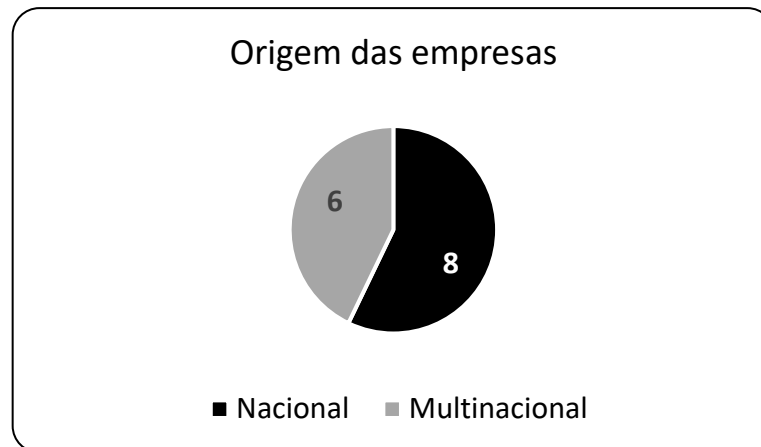
Gráfico 1 – Porte das empresas pesquisadas



Fonte: o autor (2020)

Com o objetivo de situar a amostra das empresas pesquisadas em termos de sua origem, se nacional ou multinacional foi elaborado o gráfico 2, no qual constata-se que a maioria das empresas pesquisadas (57%) apresentam origem nacional. É importante considerar este aspecto na análise porque em grandes empresas multinacionais é comum a existência de cargos de alta gestão (por exemplo diretoria ou gerência geral) dedicados a programas de melhoria contínua, fato que talvez possa apresentar uma correspondência sobre a percepção dos entrevistados sobre os fatores críticos para o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma, a ser discutido em detalhes na seção 7.8.

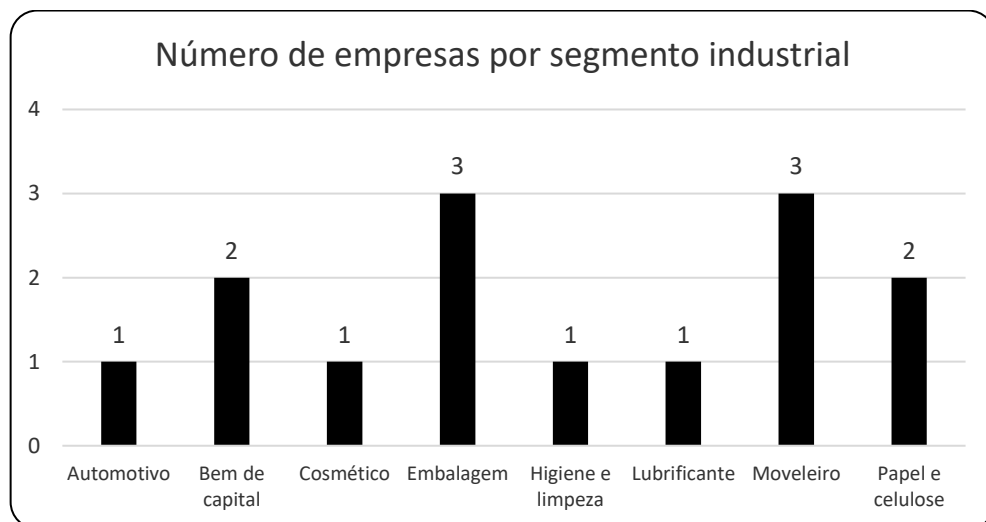
Gráfico 2 – Origem das empresas pesquisadas



Fonte: o autor (2020)

A abrangência da aplicação da Manutenção Autônoma por segmentos industriais das empresas participantes desta pesquisa é representada no gráfico 3, no qual se constata 8 segmentos, destacando-se uma maior participação das empresas no segmento “embalagem” e “moveleiro”, seguida de “bem de capital” e “papel e celulose”.

Gráfico 3 – Empresas por segmento industrial



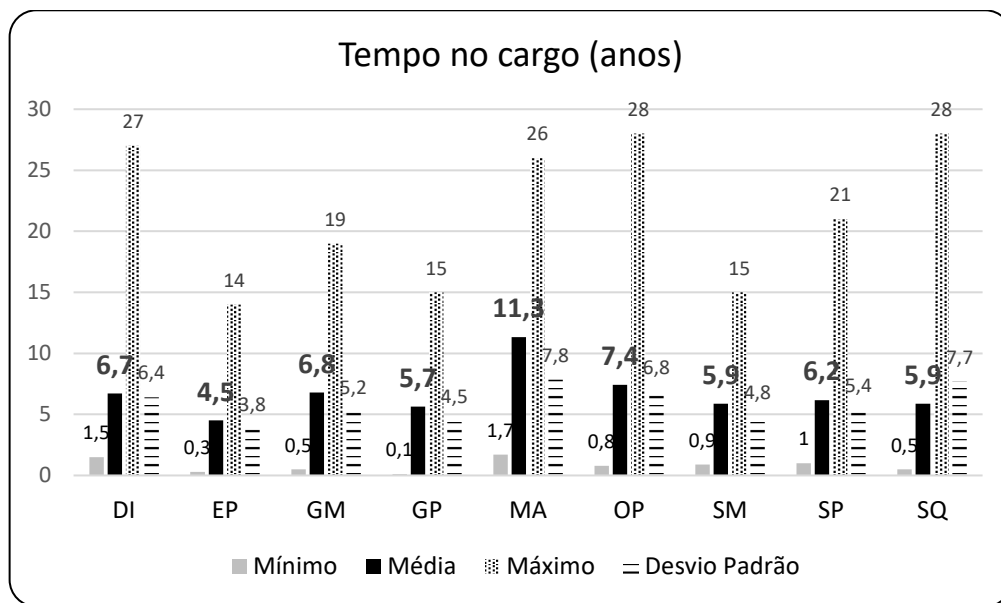
Fonte: o autor (2020)

Pela amostra analisada foi possível constatar tanto a abrangência da aplicação da Manutenção Autônoma como também do indicador OEE no que concerne ao porte, origem e aos segmentos industriais das empresas envolvidas na pesquisa.

7.2 Características dos cargos entrevistados

O gráfico 4 resume os dados coletados sobre o tempo no cargo dos nove entrevistados por empresa pesquisada: diretor (DI), engenheiro de processos (EP), gestor de melhoria contínua (GM), gerente de produção (GP), mantenedor (MA), operador (OP), supervisor de manutenção (SM), supervisor de produção (SP) e supervisor de qualidade (SQ).

Gráfico 4 – Tempo no cargo dos entrevistados



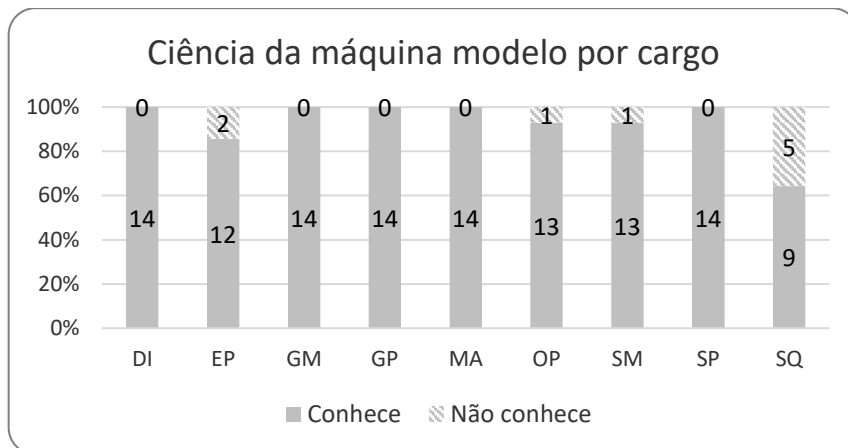
Fonte: o autor (2020)

Nas empresas pesquisadas observa-se que os colaboradores com maior tempo médio na função foram os Mantenedores (11,3 anos), enquanto os que apresentaram menor tempo médio na função foram os Engenheiros de Processos (4,5 anos). Isto pode estar relacionado ao fato de que, em geral, profissionais de cargos operacionais tendem a permanecer mais tempo neles, talvez, pelo fato de mais oportunidades surgirem àqueles que exercem cargos mais técnicos ou de gestão. Para a Manutenção Autônoma os Mantenedores contribuem, principalmente, na resolução de anomalias detectadas nas máquinas (retirando as etiquetas que as evidenciam) e na transferência de conhecimentos aos operadores (lubrificação, pequenos reparos, funcionamento das máquinas). Por sua vez, os engenheiros de processo costumam suportar o planejamento das atividades de Manutenção Autônoma executados pelo pessoal da operação além de, à medida em que o programa evolui, transferir conhecimentos técnicos do processo (relações de causa-efeito) aos operadores.

Para a Manutenção Autônoma, não necessariamente quanto maior o tempo um colaborador possui em uma determinada função significa maior compreensão sobre os seus fundamentos e, conseqüentemente, melhor a qualidade das atividades desta função sob a perspectiva da metodologia. Porém, geralmente, maior é a experiência e a maturidade do colaborador, podendo a partir daí, se adequadamente treinado em Manutenção Autônoma, dispor de um melhor *know how* no suporte às atividades desta metodologia, impactando positivamente nos resultados de sua implantação.

Outro aspecto importante é o conhecimento (por parte dos colaboradores) acerca da máquina modelo onde se está implantado a Manutenção Autônoma. Tal conhecimento é fundamental para o acompanhamento dos resultados da implantação, ao direcionamento e ao suporte, quando necessários. Este conhecimento também possibilita comparar os resultados obtidos com a Manutenção Autônoma na máquina modelo com outras máquinas que ainda não iniciaram a metodologia. O gráfico 5 ilustra o nível de conhecimento (conhece / desconhece), por cargo, sobre a máquina modelo em sua empresa.

Gráfico 5 – Conhecimento dos entrevistados sobre a máquina modelo



Fonte: o autor (2020)

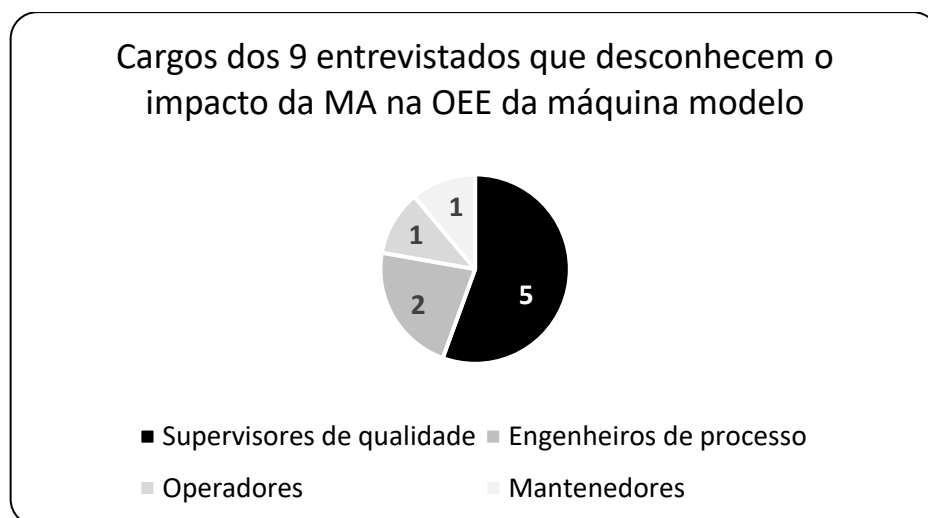
No gráfico 5 constata-se que 100% dos diretores, gestores de melhoria contínua, gerentes de produção, mantenedores e supervisores de produção sabem qual é a máquina modelo em sua empresa. Esse número reduz para 93% quando se trata de operadores e supervisores de manutenção; 86% para os engenheiros de processos e, finalmente, 64% para os supervisores de qualidade, sendo este, portanto, o cargo que menos demonstrou conhecimento sobre qual era a máquina modelo em sua organização.

Dentre as seis empresas que demonstraram pelo menos um cargo com desconhecimento da máquina modelo, uma delas (empresa 4) apresentou três cargos (operador, 3 anos no cargo; supervisor de manutenção, 4 anos no cargo e supervisor de qualidade, 1,8 anos no cargo) e outra (empresa 11) apresentou dois cargos (engenheiro de processo, 8 anos no cargo e supervisor de qualidade, 15 anos no cargo). Nesta amostra nota-se que o desconhecimento sobre a máquina modelo não tem relação como tempo no cargo, sendo importante frisar que independentemente deste tempo, podendo o colaborador ser recém admitido ou não, a divulgação da máquina modelo entre os setores da empresa possibilita aos colaboradores tanto tomarem conhecimento deste fato como também dos resultados obtidos.

De um modo geral, apesar de se verificar que cerca de 93% dos entrevistados afirmaram saber qual era a máquina modelo em sua organização, o ideal é que todos soubessem. Isso pode ser relevante quando se pretende expandir a metodologia, criando expectativas positivas quanto à sua implantação em máquinas que ainda não a possuem.

Tão importante sobre o conhecimento de qual máquina modelo está sendo implantada a Manutenção Autônoma é o impacto desta implantação nos indicadores do processo, fator este que pode conferir credibilidade ao programa que está sendo implementado pela empresa. Nesse sentido os mesmos 7% dos entrevistados (nove colaboradores) que revelaram desconhecer a máquina modelo, por consequência, também não conheciam os impactos da implantação da Manutenção Autônoma no melhoramento da OEE desta máquina. O gráfico 6 estratifica os cargos destes colaboradores.

Gráfico 6 – Desconhecimento sobre o impacto da Manutenção Autônoma na OEE



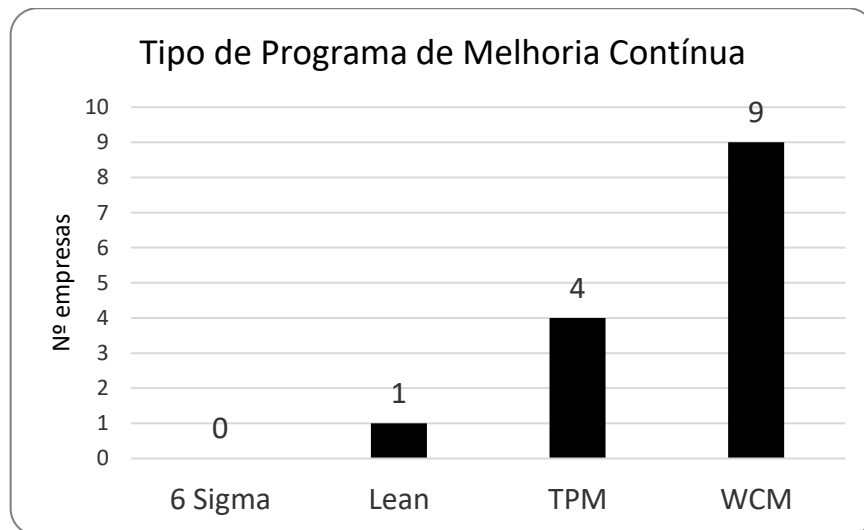
Fonte: o autor (2020)

No gráfico 6 se destaca tal desconhecimento principalmente pelos supervisores da qualidade (36% dos colaboradores entrevistados desta função). Conforme já discutido tal conhecimento pode ser de fundamental importância para criar credibilidade na aplicação da metodologia de Manutenção Autônoma, tendo como possível consequência maior e melhor suporte a sua implantação. Os apêndices C e D apresentam os dados, respectivamente, sobre tempo no cargo e o conhecimento sobre a máquina modelo.

7.3 Características dos programas de melhoria contínua

Foi apresentado no referencial teórico que a aplicação da Manutenção Autônoma é recomendada pelos programas de melhoria contínua TPM, WCOM (nos questionários este programa foi assinalado como WCM), Manufatura Enxuta (*Lean*) e o Seis Sigma. Na amostra considerada nesta pesquisa, conforme ilustra o gráfico 7, o principal programa em uso pelas empresas é o WCM, agrupando 64% das empresas pesquisadas, seguidas pelo TPM com 29% de participação e o *Lean* com 7%, representado por uma única empresa, não sendo obtido nenhum questionário de alguma empresa que aplicasse o programa Seis Sigma.

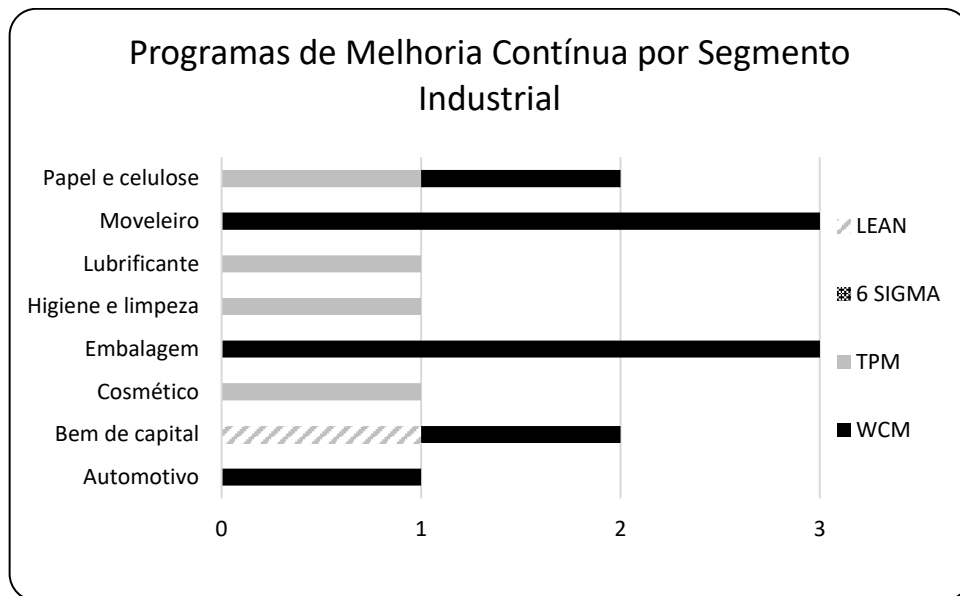
Gráfico 7 – Empresas e programas de melhoria contínua



Fonte: o autor (2020)

É importante reiterar que o WCM inclui em seu portfólio de ferramentas e metodologias aspectos de TPM, *Lean* e Seis Sigma, podendo ser este um aspecto a ser considerado pela adoção deste programa pela maioria das empresas amostradas nesta pesquisa. O gráfico 8 ilustra a distribuição dos tipos de programa de melhoria contínua por segmento industrial das empresas que retornaram os questionários preenchidos.

Gráfico 8 – Tipo de programa de melhoria contínua por segmento industrial

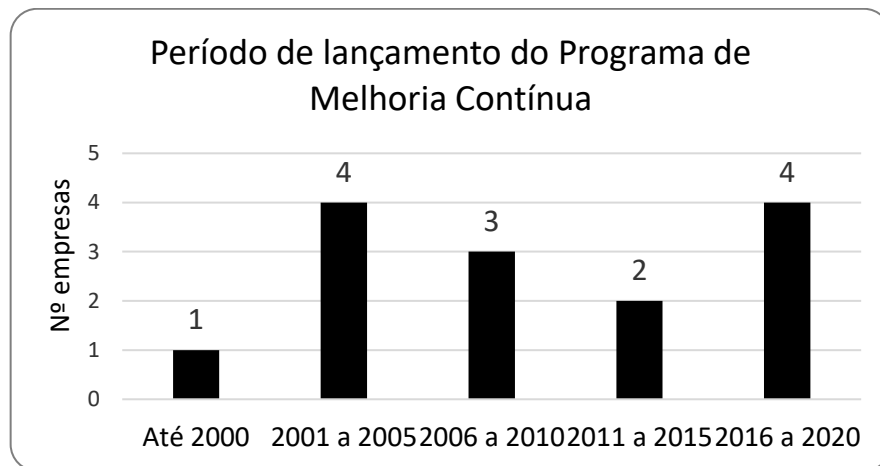


Fonte: o autor (2020)

Na amostra considerada o programa WCM é o que mais engloba setores industriais distintos (cinco dentre os nove avaliados): papel & celulose, bem de capital, automotivo, moveleiro e embalagem. O programa TPM contemplou quatro setores: cosmético, higiene & limpeza, lubrificante e papel e celulose, com o programa *Lean* sendo utilizado por uma única empresa do segmento bem de capital. Como as amostras de empresas foram escolhidas considerando as 50 maiores empresas segundo a revista Melhores e Maiores (Exame, 2019) e outras empresas de conhecimento da aplicação da Manutenção Autônoma, é possível constatar a abrangência de aplicação dos programas WCM e TPM em segmentos industriais distintos.

Outro aspecto avaliado nas empresas pesquisadas foi a “idade” dos programas de melhoria contínua, ou seja, em qual período eles foram adotados pelas empresas, representado pelo gráfico 9, pelo qual se constata que oito empresas (57% do total pesquisado) iniciaram seus programas de melhoria contínua há mais de 10 anos, sendo, portanto, um tempo considerável para que se possam ser avaliados os resultados da Manutenção Autônoma no melhoramento da OEE de suas máquinas modelo. Em contrapartida, quatro empresas (33% do total pesquisado) lançaram seus programas de melhoria contínua há menos de 4 anos, não significando necessariamente que resultados menos expressivos devessem ser obtidos quando comparados com as 8 empresas supracitadas, como será visto nas seções 7.5, 7.6 e 7.7, referentes aos impactos da Manutenção Autônoma na OEE das máquinas modelo.

Gráfico 9 – Lançamento dos programas de melhoria contínua por período

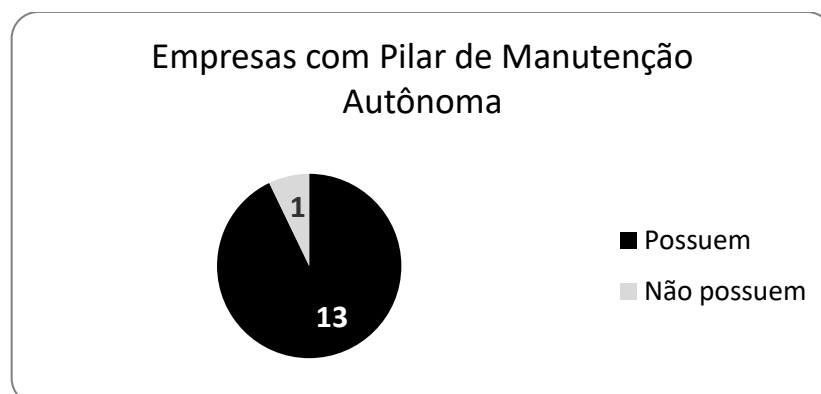


Fonte: o autor (2020)

Outro aspecto importante em programas de melhoria contínua que se utilizam da Manutenção Autônoma é a existência de pilares de Manutenção Autônoma. Tais pilares são grupos multifuncionais especializados em suportar a implantação da Manutenção Autônoma na empresa, principalmente de sua expansão para outras máquinas.

O gráfico 10 ilustra que apenas uma das empresas pesquisadas não possui este pilar (empresa 2). Isso devido a empresa ter lançado recentemente (final de 2019) o seu programa de melhoria contínua, estando em fase de estruturação para o lançamento do pilar de Manutenção Autônoma.

Gráfico 10 – Pilares de Manutenção Autônoma nas empresas pesquisadas

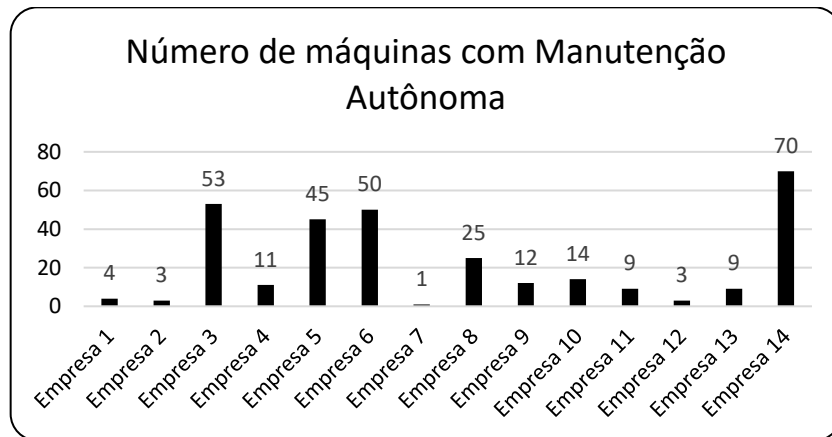


Fonte: o autor (2020)

Com relação ao número de máquinas com Manutenção Autônoma por empresa, o gráfico 11 ilustra que cinco empresas (36% do total das empresas pesquisadas) possuem mais

de 25 máquinas com Manutenção Autônoma, demonstrando assim ampla aplicação da metodologia em suas plantas. É importante destacar a empresa 14 (bem de capital) que lançou seu programa WCM em 2007 e desde então já possui implementada a Manutenção Autônoma em 70 máquinas, com sua máquina modelo contemplada com a implantação das 7 etapas.

Gráfico 11 – Quantidade de máquinas com Manutenção Autônoma por empresa



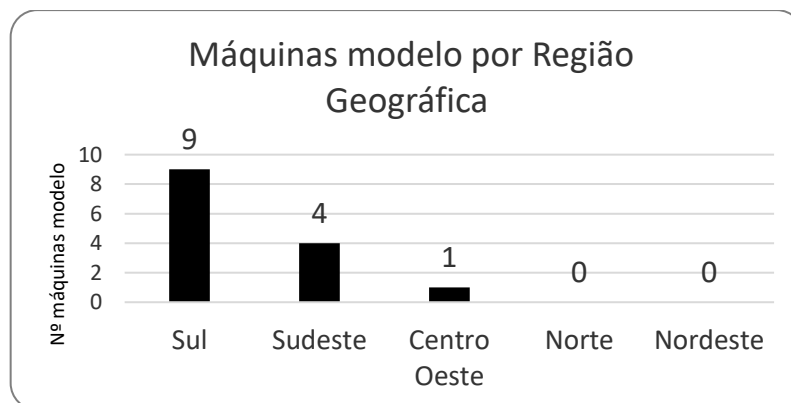
Fonte: o autor (2020)

As empresas que possuem no mínimo 25 máquinas com Manutenção Autônoma lançaram seus programas de melhoria contínua entre 2002 e 2007 (apêndice E).

7.4 Características das máquinas modelo

As empresas pesquisadas encontram-se distribuídas em diferentes regiões do Brasil, estando suas máquinas modelos instaladas geograficamente conforme evidencia o gráfico 12, no qual se constata que cerca de 64% das máquinas estão instaladas na região sul do país.

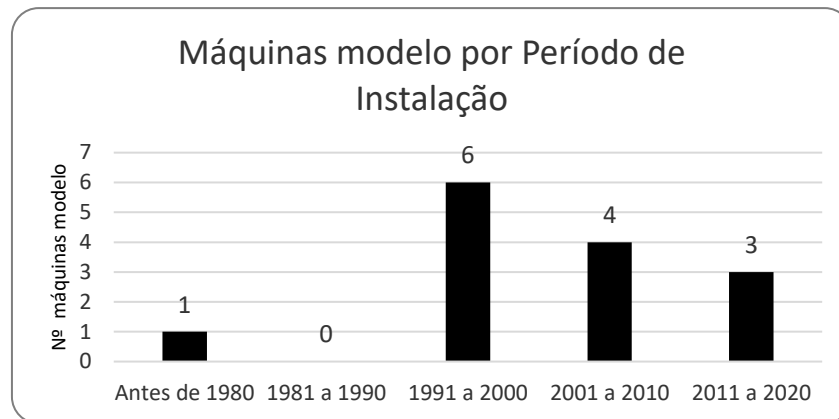
Gráfico 12 – Regiões geográficas das máquinas modelo



Fonte: o autor (2020)

Com relação os períodos de instalação das máquinas modelo em suas respectivas plantas, o gráfico 13 ilustra que 50% destas máquinas foram instaladas até o ano 2000, apresentando, portanto, mais de 20 anos de uso.

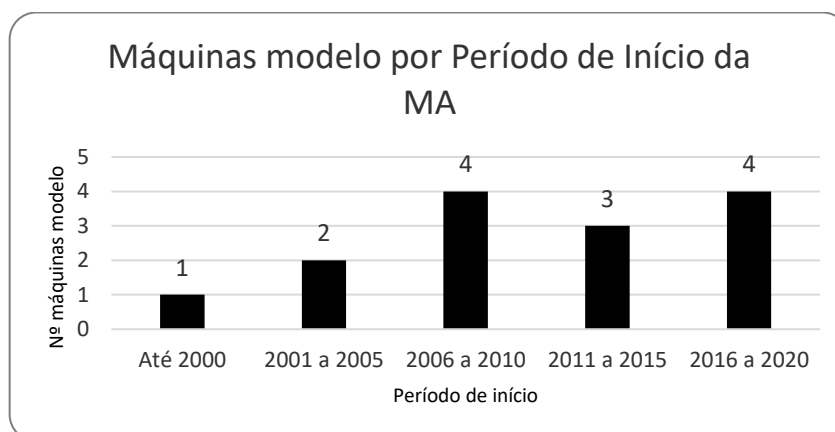
Gráfico 13 – Período de instalação das máquinas modelo



Fonte: o autor (2020)

O gráfico 14 apresenta o período de início da Manutenção Autônoma nas máquinas modelo, evidenciando que 50% das máquinas iniciaram seus programas de Manutenção Autônoma até o ano de 2010.

Gráfico 14 – Período de lançamento da Manutenção Autônoma nas máquinas modelo

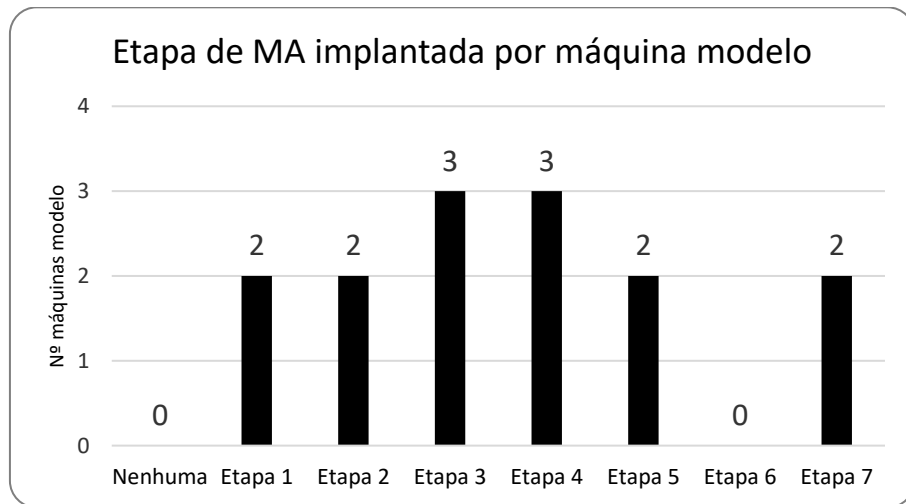


Fonte: autor (2020)

Nesse aspecto, a implantação da Manutenção Autônoma, tal como apresentado no referencial teórico, mantém as condições de base da máquina restauradas, conferindo uma maior vida útil de sua utilização, principalmente devido aos cuidados dos operadores e dos mantenedores, por meio da execução de planos de limpeza, inspeção e lubrificação.

Outro aspecto importante a ser considerado (principalmente em relação ao impactos da Manutenção Autônoma na melhoria da OEE) é a etapa da metodologia implementada até o presente momento. O gráfico 15 ilustra até qual etapa a Manutenção Autônoma foi implementada em cada máquina modelo pesquisada.

Gráfico 15 – Etapa de Manutenção Autônoma implementada por máquina modelo



Fonte: o autor (2020)

No gráfico constata-se que 50% das empresas pesquisadas no mínimo haviam implementado a etapa 4 da Manutenção Autônoma, sendo que apenas duas das empresas (14% das pesquisadas) conseguiram implementar as sete etapas em sua totalidade (uma empresa do segmento de embalagem e outra de bem de capital), tendo iniciado seus programas de Manutenção Autônoma em 1999 e 2008, respectivamente. O apêndice D evidencia os dados coletados sobre as máquinas modelo.

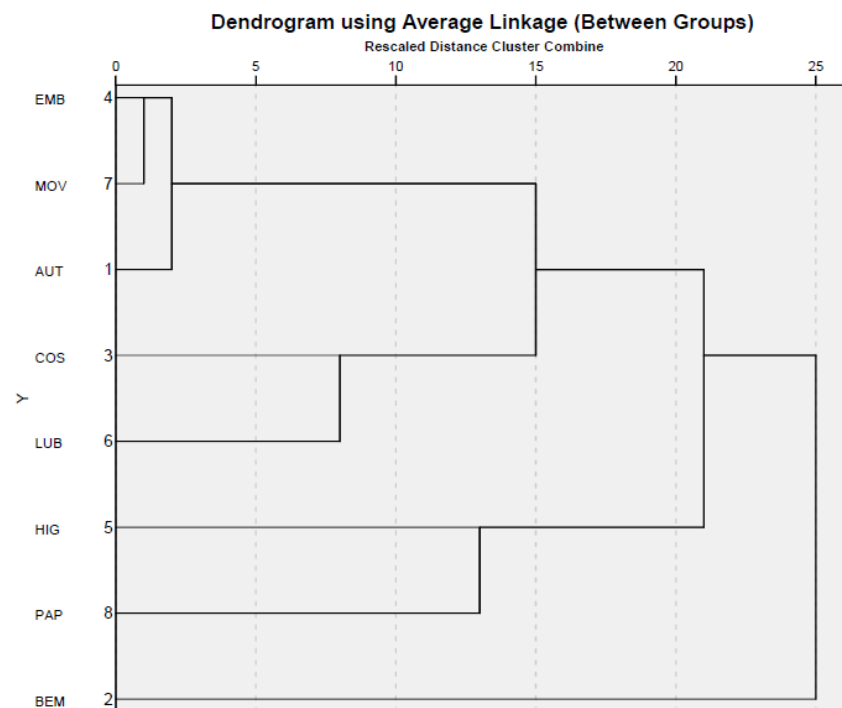
7.5 Impactos da Manutenção Autônoma na OEE

Foi discutido no referencial teórico que, em geral, uma empresa implanta um programa de Manutenção Autônoma com o objetivo de se desenvolver o senso de propriedade dos operadores pelas suas máquinas, e que tal comportamento resulte em melhorias de indicadores tais como da Eficiência Global dos Equipamentos (OEE). Também se discutiu que a OEE é o produto de três índices - disponibilidade, performance e qualidade – o que significa que se algum destes índices aumentar, aumenta-se também a OEE.

Com o objetivo de se avaliar o impacto da implantação da Manutenção Autônoma na OEE foi aplicado o procedimento de análise de conglomerados descrito na seção 5.6.

Na análise foram consideradas como “variáveis” os índices de disponibilidade, performance e qualidade (cujo produto resulta na OEE) e como “indivíduos” (para a formação dos *clusters*) os segmentos industriais participantes desta pesquisa. A figura 7 ilustra o dendograma dos *clusters* de segmentos industriais em relação ao impacto da Manutenção Autônoma na OEE.

Figura 7 – Impacto da Manutenção Autônoma na OEE (*clusters* de segmentos industriais)



Fonte: o autor (2020)

Ao se aplicar o procedimento de identificação do número de *clusters* discutido na seção 5.6, é possível perceber a existência de quatro *clusters* de segmentos industriais na figura 7: (1) embalagem, moveleiro e automotivo; (2) cosmético e lubrificante; (3) higiene & limpeza e papel & celulose; e (4) bem de capital. A discussão de quais *clusters* apresentaram melhores resultados da OEE com a implantação da Manutenção Autônoma encontra-se nas seções 7.6, 7.7 e 7.8, respectivamente, considerando os índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE.

Com a realização da análise de variância de um fator (considerando nível de significância de 0,05) foi possível identificar diferenças significativas entre as médias em pelo menos um *cluster* de segmento industrial com relação a variável “impacto no índice de disponibilidade” (com a estatística *sig. F* igual a 0,036) e em pelo menos um *cluster* de

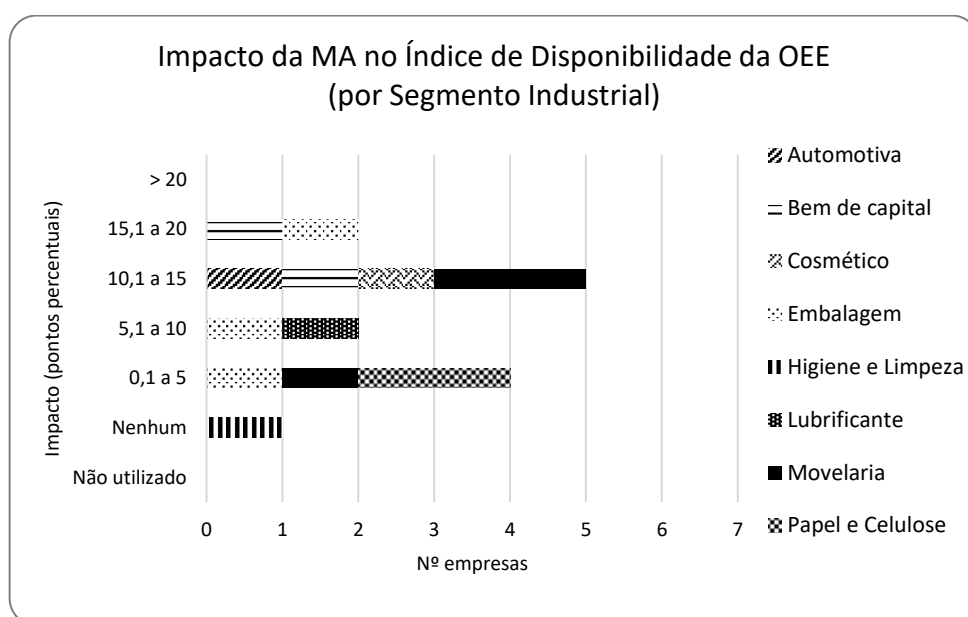
segmento industrial com relação à variável “índice de qualidade” (*sig. F* = 0,015). Com relação ao “índice de performance” não foram identificadas diferenças significativas entre os *clusters* dos segmentos industriais pesquisados (*sig. F* = 0,154). O apêndice H1 evidencia os resultados desta análise.

7.6 Impactos da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE

Nesta seção será apresentada uma análise descritiva sobre o impacto da Manutenção Autônoma no melhoramento do índice de disponibilidade das máquinas modelo pesquisadas. O Apêndice F concentra os dados utilizados para a construção dos gráficos e análises apresentados nesta seção bem como nas seções 7.6 e 7.7.

O gráfico 16 ilustra as faixas de impacto da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE por empresa e por segmento industrial, elaborado a partir do retorno dos questionários enviados aos gestores de melhoria contínua (apêndice A2). Com o objetivo de se normalizar as respostas entre as empresas, foi solicitado aos respondentes informarem os melhoramentos obtidos considerando a diferença entre a mediana dos últimos três meses encerrados antes do preenchimento do questionário e o valor obtido após o primeiro mês do início da Manutenção Autônoma. Este critério foi adotado para os índices de disponibilidade (discutidos nesta seção), de performance (seção 7.6) e de qualidade (seção 7.7).

Gráfico 16 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE



Fonte: o autor (2020)

No gráfico 16 nota-se que 50% das empresas pesquisadas (sete) tiveram um incremento mínimo de 10,1 pontos percentuais (pp) no índice de disponibilidade da OEE, sendo que em duas destas empresas o valor mínimo foi de 15,1 pp, o que pode resultar em expressivos aumentos de produtividade e lucratividade, principalmente se a máquina modelo for uma máquina gargalo, um critério comum de escolha tanto para a implantação da Manutenção Autônoma como para o indicador da OEE (Hansen, 2002).

A faixa de melhoria que apresentou a maior quantidade de empresas foi a de 10,1 a 15 pp, com 5 empresas (cerca de 36% do total pesquisado). Por outro lado, uma máquina não apresentou melhoria e quatro apresentaram melhorias no índice de disponibilidade entre 0,1 a 5 pp. Os melhoramentos foram obtidos após a implantação mínima da etapa 1 da Manutenção Autônoma, que é uma das etapas que mais podem contribuir com o aumento da disponibilidade, conforme discutido na seção 3.3.1.

O gráfico 16 também possibilita a análise por segmentos industriais, sendo que na amostra considerada o segmento que apresentou melhores resultados foi o “bem de capital” (representado por duas empresas), com um melhoramento mínimo de 10,1 pontos percentuais (pp) no índice de disponibilidade. Já no segmento “moveleiro” (representado por três empresas) duas empresas também apresentaram esse mesmo índice de melhoria, porém uma delas apresentou uma melhoria entre 0,1 e 5 pp. Outro segmento que apresentou uma empresa com melhoria mínima de 10,1 pp foi o de “embalagem” (representado por três empresas), porém as outras duas empresas deste segmento apresentaram melhoramentos na faixa de 0,1 a 10 pp.

Para a identificação dos segmentos industriais com os índices de disponibilidade da OEE mais beneficiados pela aplicação da Manutenção Autônoma foi realizada uma conversão dos dados intervalares (intervalo, faixa de impacto da MA no índice de disponibilidade) em dados numéricos (valor), conforme quadro 7.

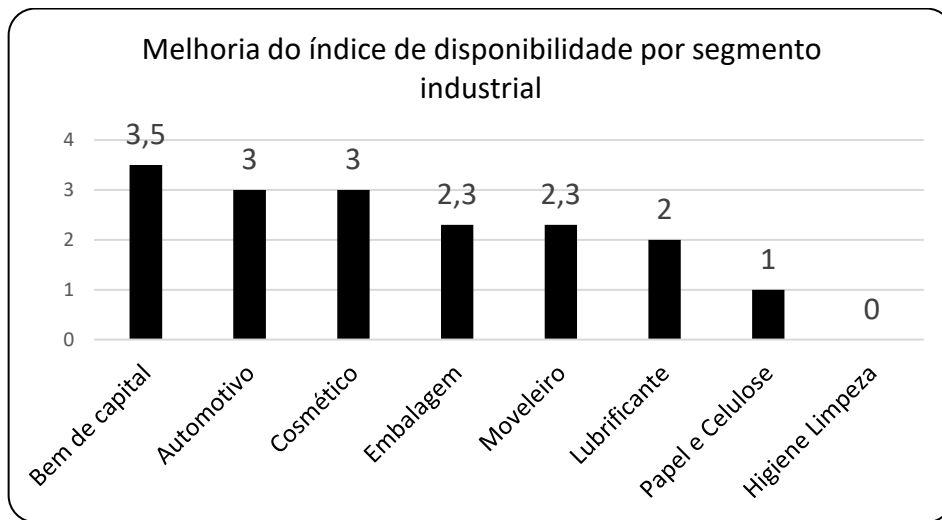
Quadro 7 – Conversão de dados intervalares em numéricos

Intervalo (impacto)	Valor
Nenhum	0
0,1 a 5 p.p.	1
5,1 a 10 p.p.	2
10,1 a 15 p.p.	3
15,1 a 20 p.p.	4
> 20 p.p.	5

Fonte: o autor (2020)

Os intervalos e valores apresentados no quadro 7 são aplicáveis aos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE. A partir dos dados coletados (apêndice F) e os valores do quadro 7 foi elaborado o gráfico 17, no qual se constata que os segmentos com os índices de disponibilidade mais beneficiados com a aplicação da Manutenção Autônoma foram bem de capital, automotivo e cosmético.

Gráfico 17 – Melhoria do índice de disponibilidade por segmento industrial



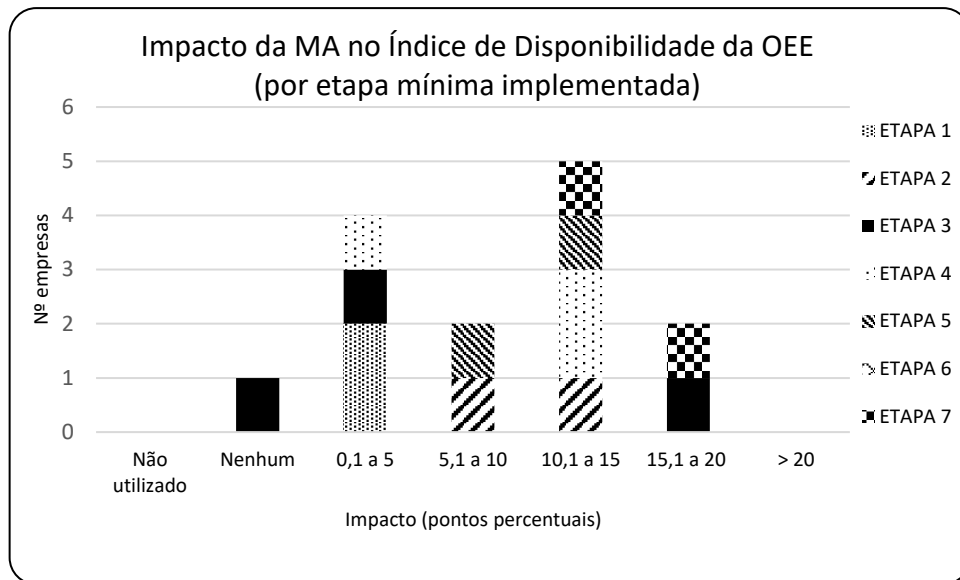
Fonte: o autor (2020)

Conforme discutido na seção 3.3, a Manutenção Autônoma inicia com o restabelecimento das condições básicas do equipamento (etapa 1) e atinge o seu ápice na gestão de o melhoramento contínuo do equipamento por parte dos operadores (etapa 7). Neste sentido, à medida em que o programa evolui na máquina, melhora-se o seu OEE, conforme ilustra o gráfico 18.

No gráfico 18 observa-se que duas empresas que recém implementaram a etapa 1 obtiveram impacto no índice de disponibilidade da OEE de 0,1 a 5 pontos percentuais (pp). Para duas empresas que recém implementaram a etapa 2 e outra que implementou a etapa 5, o melhoramento mínimo foi de 5,1 pp. Por outro lado, as duas empresas que implementaram a etapa 7 obtiveram, no mínimo, 10,1 pp de melhoramento neste índice. Nesses casos se constata um melhoramento gradual no índice de disponibilidade à medida em que as etapas da Manutenção Autônoma evoluem. Porém, também se nota que duas empresas que recém implantaram a etapa 4 apresentaram faixas de melhoramento distintas (0,1 a 5pp, e 10,1 a 15 pp). Nesse sentido se constata que uma empresa que recém implementou a etapa 4 apresentou resultados melhores (10,1 a 15 pp) do que outra que recém implementou a etapa 5 (5,1 a 10 pp),

evidenciando, no caso do índice de disponibilidade, que o nível de melhoramento pode não ser necessariamente proporcional à etapa implementada da Manutenção Autônoma.

Gráfico 18 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE por etapa mínima implementada

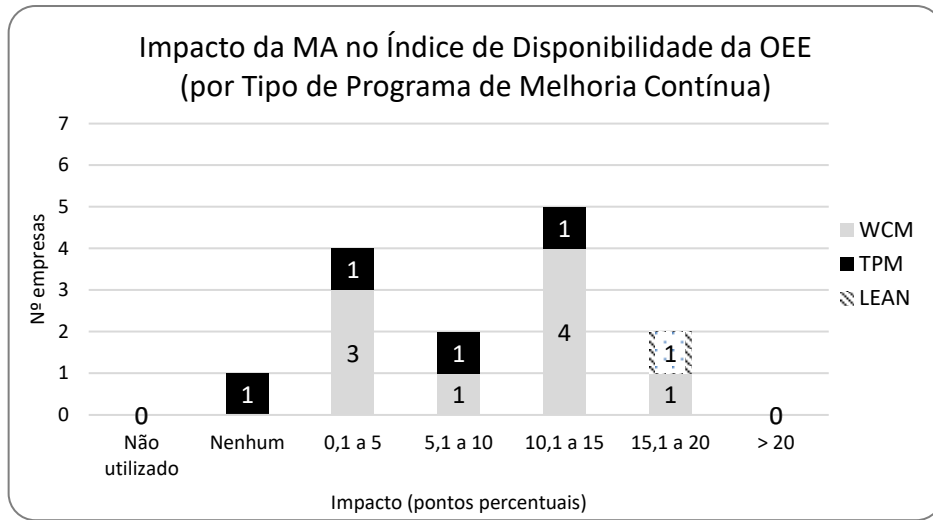


Fonte: o autor (2020)

Programas de melhoria contínua apresentam características específicas para a sua implantação, conforme discutido por Nakajima (1988) sobre o TPM, Womack & Jones (2004) sobre a Manufatura Enxuta, Werkema (2012) sobre o Seis Sigma e, finalmente, Baroncelli & Ballerio (2016) sobre o WCOM. Apesar disso, todos recomendam a aplicação da Manutenção Autônoma para se obter as condições de base dos processos que envolvem máquinas, conferindo-lhes estabilidade. Assim é importante avaliar se o tipo de programa de melhoria contínua que suporta a Manutenção Autônoma apresenta algum padrão de comportamento em relação ao impacto desta no índice de disponibilidade da OEE, conforme ilustra o gráfico 19.

Nesse sentido, o gráfico 19 não evidencia um tipo de comportamento específico entre o impacto da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE e o tipo de programa de melhoria contínua adotado pela empresa. Nota-se que nos nove programas WCM os impactos variaram de 0,1 a 20 pontos percentuais (pp), com cinco programas enquadrados na faixa de 10,1 a 20 pp e quatro entre 0,1 a 10 pp. Por sua vez os quatro programas TPM enquadraram-se em uma faixa de impacto máxima de 15 pp e mínima de nenhum.

Gráfico 19 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de disponibilidade da OEE por tipo de programa de melhoria contínua

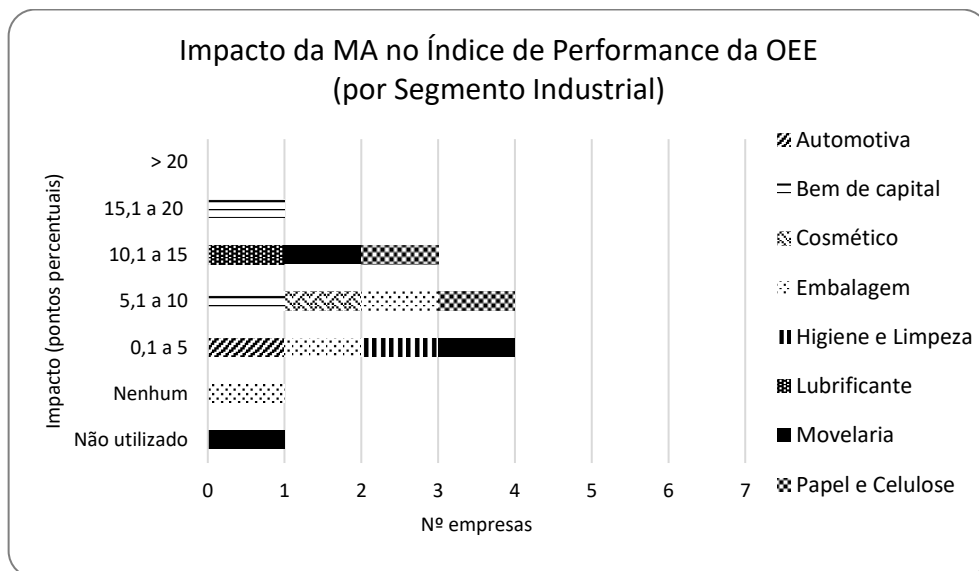


Fonte: o autor (2020)

7.7 Impactos da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE

O gráfico 20 evidencia as faixas de impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE das empresas pesquisadas e seus respectivos segmentos industriais.

Gráfico 20 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE



Fonte: o autor (2020)

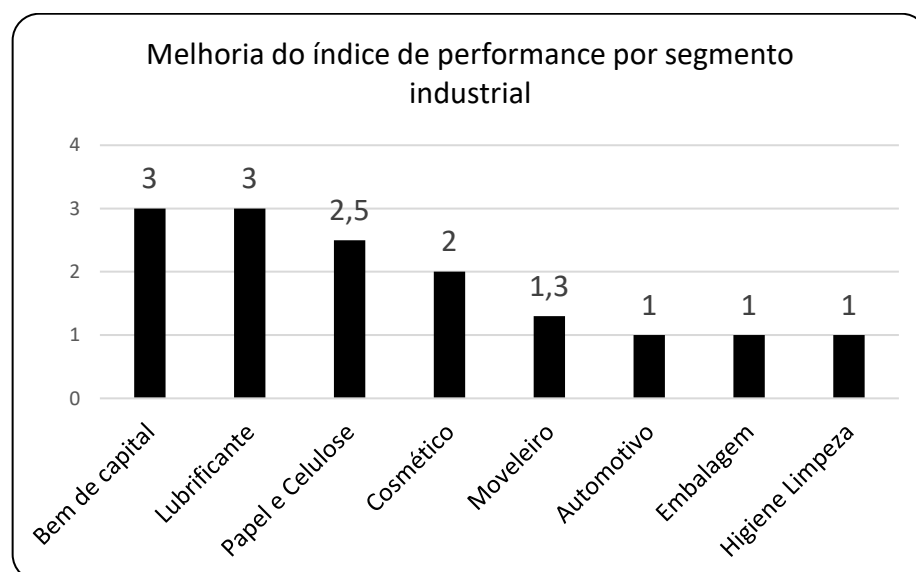
Na seção 7.5 observou-se que 50% das empresas participantes da pesquisa apresentaram impactos mínimos de 10,1 pontos percentuais (pp) no índice de disponibilidade da OEE. Com

relação ao índice de performance, o gráfico 20 ilustra que apenas quatro - das treze empresas que utilizam este indicador (cerca de 31% das empresas) - apresentaram impactos superiores a 10,1 pp. Uma empresa não apresentou melhorias neste índice (segmento embalagem), e outra não o utiliza (segmento moveleiro) em sua máquina modelo. Nesse contexto é possível concluir para a amostra avaliada que as empresas tiveram melhores resultados em seus índices de disponibilidade do que em performance, ao se implantar a Manutenção Autônoma.

O gráfico 20 também evidencia o impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE por tipos de segmentos industriais, no qual se verifica novamente que uma empresa do segmento bem de capital apresentou o melhor resultado, com melhoramento entre 15,1 e 20 pp, com outra empresa deste segmento situando-se entre 5,1 e 10 pp. No segmento moveleiro (representado por três empresas) uma das empresas apresentou melhoramento entre 10,1 e 15 pp, entretanto uma das empresas não utiliza este índice. Com relação ao segmento de embalagem (representado por três empresas), o melhoramento máximo foi de 10 pp, enquanto uma das empresas não apresentou melhoria no índice de performance.

Da mesma forma que para o índice de disponibilidade, foi efetuada uma conversão dos dados intervalares em numéricos (quadro 7) e identificados os segmentos industriais que apresentaram melhores resultados no índice de performance com a aplicação da Manutenção Autônoma – bem de capital, lubrificante e papel & celulose - conforme ilustra o gráfico 21.

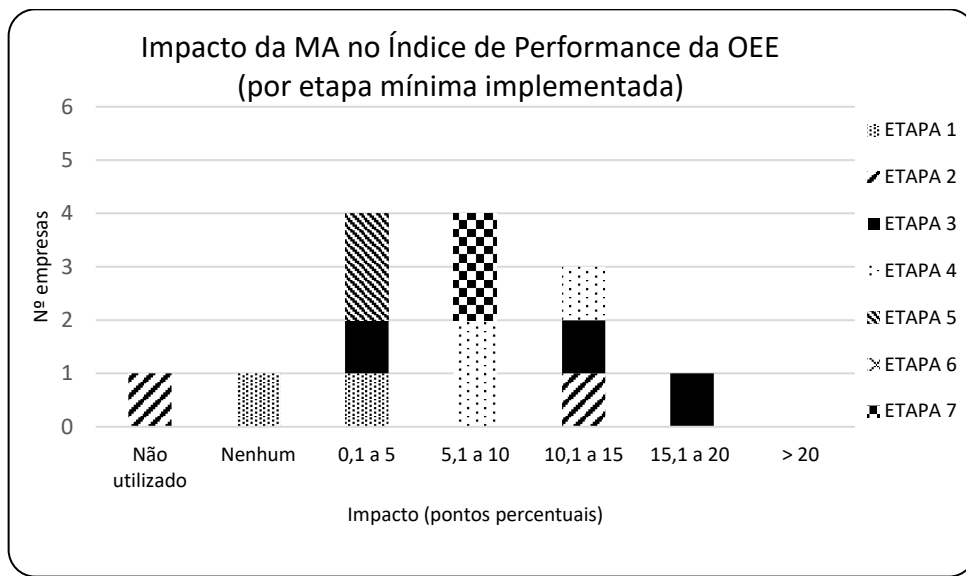
Gráfico 21 – Melhoria do índice de performance por segmento industrial



Fonte: o autor (2020)

Dando continuidade procurou-se avaliar se a etapa mínima implementada da Manutenção Autônoma apresenta algum tipo de correspondência com a faixa de impacto no índice de performance da OEE, conforme ilustra o gráfico 22.

Gráfico 22 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE por etapa mínima implementada

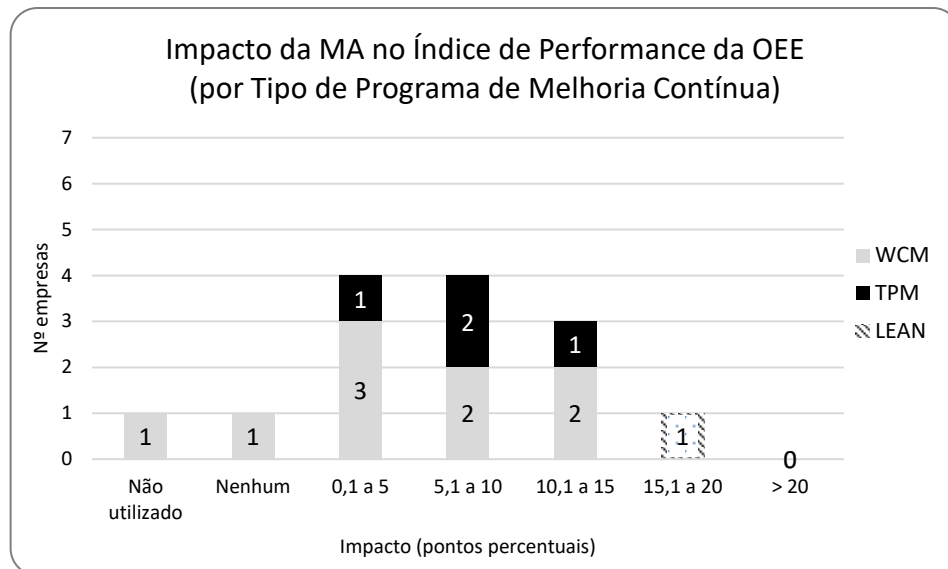


Fonte: o autor (2020)

Por meio do gráfico 22 constata-se não haver uma correspondência clara entre quanto mais etapas implementadas da Manutenção Autônoma, maiores as faixas de impacto no melhoramento no índice de performance. Por exemplo, há duas empresas que recém implementaram a etapa 5 que tiveram melhoramentos na faixa de 0,1 a 5 pontos percentuais (pp), porém há 3 empresas que recém implementaram a etapa 4 e apresentaram melhoramentos superiores, na faixa de 5,1 a 15 pp. Apesar disto, na amostra considerada, é possível afirmar que a implantação das etapas 1 e 5 apresentaram impactos mínimos compreendidos entre 0,1 e 5 pp, enquanto que a implantação da etapa 7 entre 5,1 e 10 pp. Outro aspecto interessante é que uma empresa que recém implementou a etapa 3 apresentou melhoramentos entre 15,1 e 20 pp, destacando-se dentre as demais.

Com relação ao impacto sob a ótica do tipo de programa de melhoria contínua adotado pela empresa, o gráfico 23 ilustra tal comportamento, o qual também não evidencia uma correspondência específica entre o impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE e o tipo de programa de melhoria contínua adotado pela empresa.

Gráfico 23 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de performance da OEE por tipo de programa de melhoria contínua



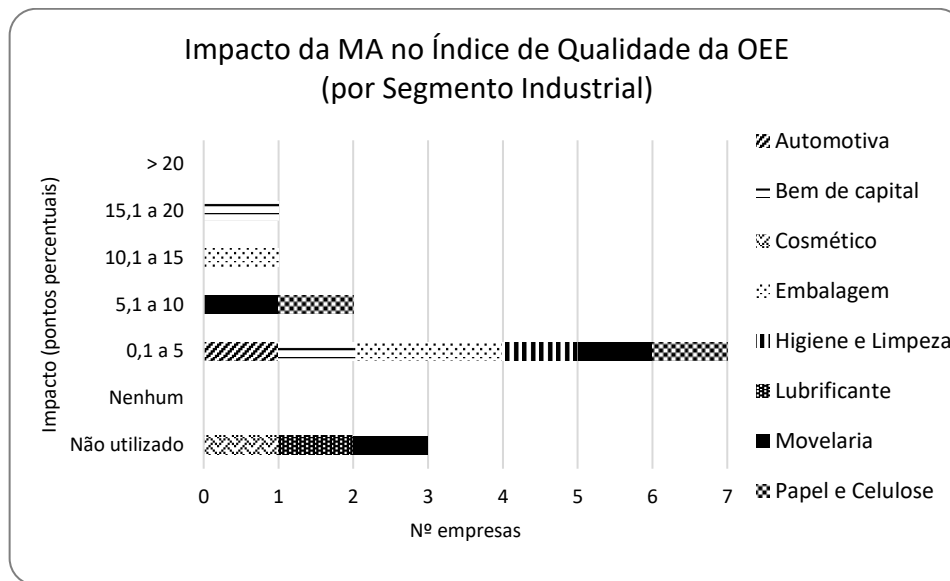
Fonte: o autor (2020)

Dos oito programas WCM que utilizam o índice de performance os impactos variaram de nenhum até um máximo de 15 pontos percentuais (pp), com a metade dos programas apresentando, pelo menos, impactos superiores a 5,1 pp. Com relação aos programas TPM, dos quatro analisados, três também apresentaram impactos superiores a 5,1 pp. O programa *Lean* – com a única empresa da pesquisa que o utilizava - apresentou um impacto na faixa de 15,1 a 20 pp, o maior dentre os programas que compõem a amostra desta pesquisa.

7.8 Impactos da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE

O gráfico 24 ilustra o impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE no qual se constata que 82% das empresas que utilizam o índice de qualidade (nove empresas) apresentaram impactos inferiores a 10,1 pontos percentuais (pp) no melhoramento deste índice, e que três empresas não utilizavam este índice no cálculo de OEE em suas máquinas modelo. No gráfico 16 foi observado que 50% das empresas apresentaram impactos mínimos de 10,1 pontos percentuais (pp) no índice de disponibilidade da OEE, enquanto no gráfico 20 cerca de 69% das empresas apresentaram impactos inferiores a 10,1 pp no índice de performance. Nesse sentido é possível concluir que dentre as empresas pesquisadas, dos três índices comparados, o índice de qualidade foi o que menos apresentou melhoramento com a implantação da Manutenção Autônoma, sendo que 64% das empresas pesquisadas (sete das onze que o utilizam) apresentaram melhoramentos na faixa de 0,1 a 5 pp neste índice.

Gráfico 24 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE

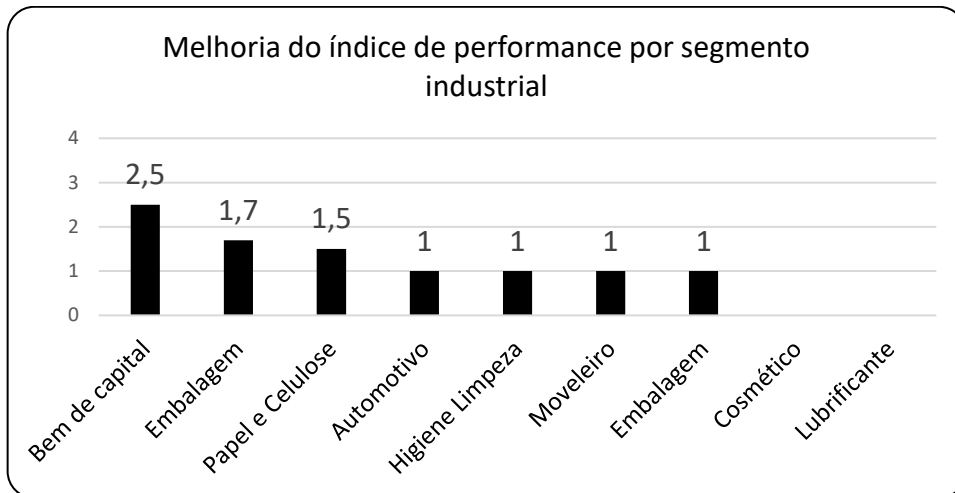


Fonte: o autor (2020)

Também por meio do gráfico 24 verifica-se que a empresa com melhores resultados é do segmento bem de capital (representado por duas empresas), com um melhoramento mínimo de 15,1 pontos percentuais (pp) no índice de qualidade. Nos segmentos moveleiro (representado por três empresas) e papel e celulose (representado por duas) o melhoramento variou de 0,1 a 10 pp, salientando que uma das empresas moveleiras não utilizava este índice. Já para o segmento de embalagem (representado por três empresas), uma empresa obteve um melhoramento da faixa de 10,1 a 15 pp, enquanto outras duas na faixa de 0,1 a 5 pp.

Em seguida procurou-se identificar quais os segmentos industriais com os índices de qualidade da OEE mais beneficiados pela aplicação da Manutenção Autônoma. Após realizada a conversão dos dados intervalares em numéricos (quadro 7) foi elaborado o gráfico 25, destacando-se os segmentos bem de capital, embalagem e papel & celulose.

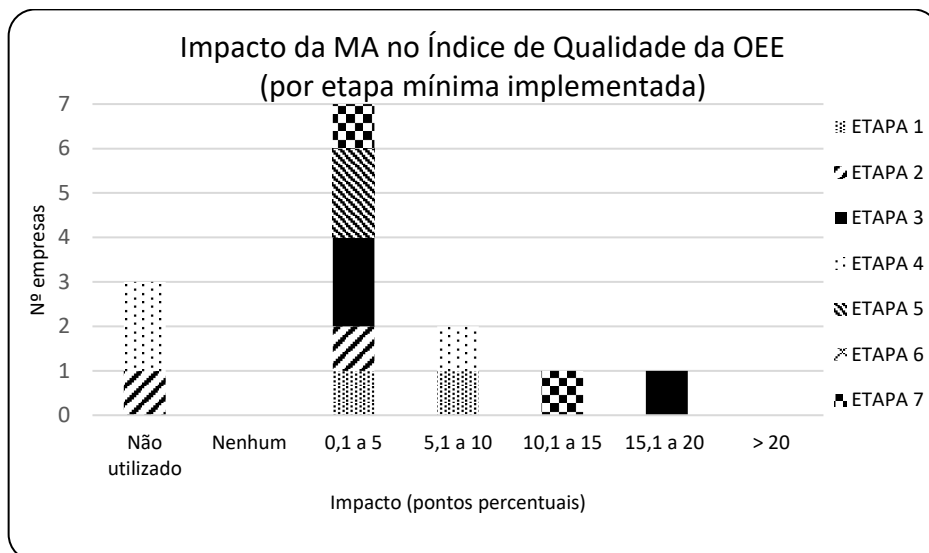
Gráfico 25 – Melhoria do índice de qualidade por segmento industrial



Fonte: o autor (2020)

Da mesma forma que para os índices de disponibilidade e performance, procurou-se avaliar se a etapa mínima implementada da Manutenção Autônoma apresentou algum tipo de correspondência com a faixa de impacto no índice de qualidade da OEE, conforme gráfico 26.

Gráfico 26 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE por etapa mínima implementada



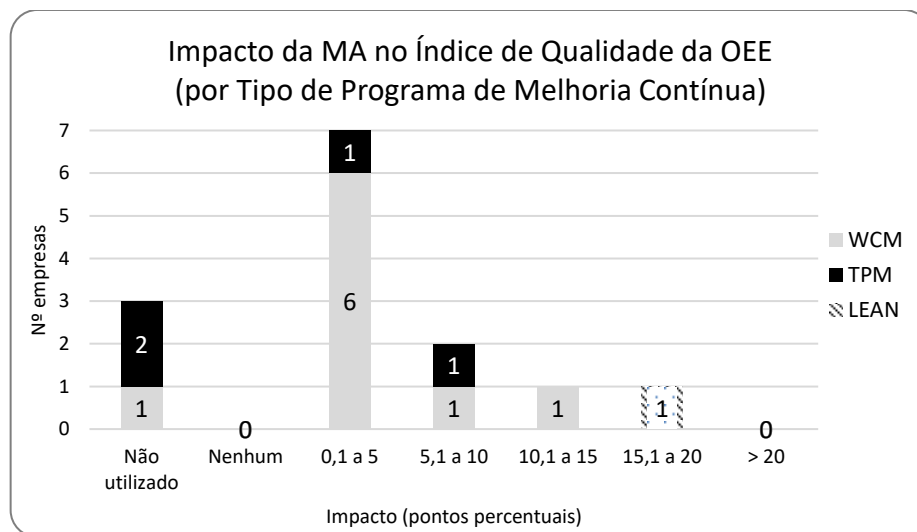
Fonte: o autor (2020)

No gráfico 26 observa-se que três empresas (duas com a etapa 4 e uma com a etapa 2 recém implementadas) não utilizam o índice de qualidade para o cálculo da OEE em suas máquinas modelo. No gráfico, também não é possível se identificar uma correspondência clara

entre quanto mais elevadas as etapas implementadas, maiores as faixas de impacto no melhoramento no índice de qualidade. Por exemplo, há uma empresa que recém implementou a etapa 7 que obteve melhoramento na faixa de 10,1 a 15 pontos percentuais (pp) enquanto outra, após implementar esta mesma etapa, obteve melhoramento na faixa de 0,1 a 5 pp. Situação similar ocorreu com três empresas que recém implementaram a etapa 3: enquanto uma obteve melhoramento na faixa de 15,1 a 20 pp (o maior dentre as empresas pesquisadas), as outras duas obtiveram melhoramentos na faixa de 0,1 a 5 pp.

O gráfico 27 ilustra o impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE sob a ótica do tipo de programa de melhoria contínua adotado pela empresa. Da mesma forma que para os índices de disponibilidade e performance, este gráfico não evidencia uma correspondência entre o impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE e o tipo de programa de melhoria contínua adotado pela empresa.

Gráfico 27 – Impacto da Manutenção Autônoma no índice de qualidade da OEE por tipo de programa de melhoria contínua



Fonte: o autor (2020)

Dos oito programas WCM que utilizam este índice os impactos variaram de 0,1 até um máximo de 15 pontos percentuais (pp), com 75% destes programas apresentando, pelo menos, impactos até 5 pp. Com relação aos programas TPM, dos quatro analisados, dois não utilizavam este índice, um ocupava uma faixa de melhoramento de 0,1 a 5 pp e o outro entre 5,1 e 10 pp. Por sua vez, em relação ao programa *Lean*, a única empresa da pesquisa que o utilizava

apresentou um impacto no melhoramento do índice de qualidade da OEE na faixa de 15,1 a 20 pp, o maior dentre os programas que compõem a amostra desta pesquisa.

Em resumo, foi possível constatar que a empresa que apresentou os maiores impactos nos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE após a implantação da Manutenção Autônoma é do segmento bem de capital, com os impactos situando-se entre 15,1 a 20 pontos percentuais. Importante frisar que esta empresa havia (até o momento desta pesquisa) implantado de forma completa apenas a etapa 3 da Manutenção Autônoma (de um total de sete etapas), porém ao ser questionado pelo autor sobre tais resultados o respondente informou que antes de ser implementada a Manutenção Autônoma a máquina modelo se encontrava em um estado lastimável de conservação, o qual, após restabelecido, proporcionou os impactos supracitados. A seguir serão apresentadas as análises referentes aos fatores críticos de sucesso na implantação da Manutenção Autônoma.

7.9 Percepções sobre os fatores críticos para o sucesso da Manutenção Autônoma

Um dos principais objetivos desta pesquisa é o de priorizar quais são os fatores - segundo as percepções dos entrevistados - que mais podem contribuir para o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo. Assim, com apoio de questionários (apêndices A2 e A3) obteve-se e compilou-se os dados em planilhas (apêndice G), seguido da elaboração de gráficos para identificar os fatores prioritários e eventuais correspondências entre cargos pesquisados, segmentos industriais e tipos de programa de melhoria contínua. A primeira análise realizada baseou-se na percepção global dos entrevistados sobre tais fatores.

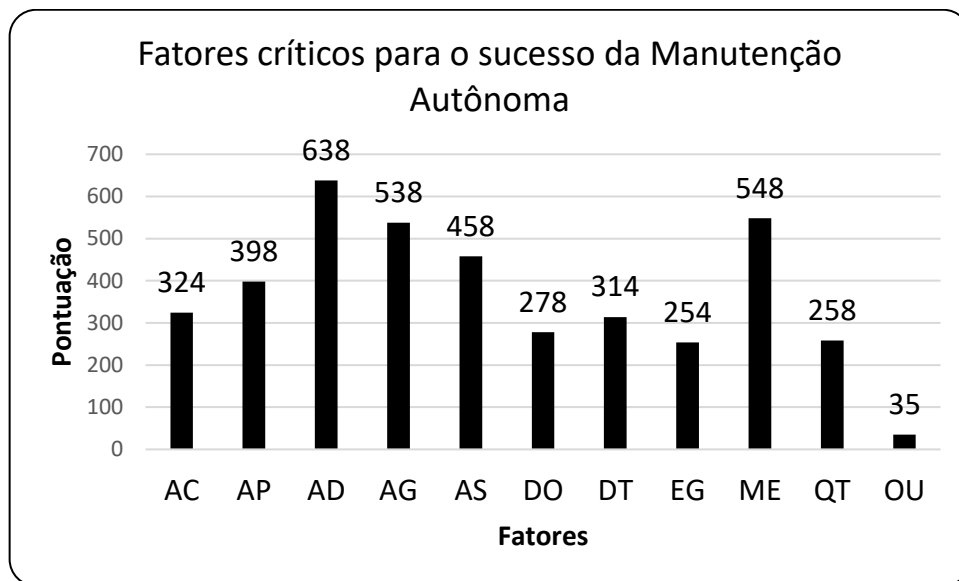
7.9.1 Percepção global

A percepção global foi realizada mediante análise descritiva. O gráfico 28 foi elaborado a partir dos retornos de 126 questionários provenientes de 14 empresas, sendo 9 respondentes por empresa pesquisada, exercendo os seguintes cargos: diretor industrial; engenheiro de processos; gerente de produção; gestor de melhoria contínua; mantenedor; operador; supervisor de manutenção; supervisor de produção e supervisor de qualidade.

A legenda relacionada aos fatores significa: AC (apoio da consultoria); AP (apoio da coordenação do programa de melhoria contínua); AD (apoio da diretoria); AG (apoio da gerência); AS (apoio da supervisão); DO (disponibilidade de orçamento); DT (disponibilidade

de tempo para execução das atividades); EG (experiência em gestão do líder da equipe de Manutenção Autônoma); ME (motivação da equipe da máquina); QT (qualificação técnica do líder da equipe de Manutenção Autônoma) e OU (outros). A explanação destes fatores já foi abordada no final da seção 5.5. É importante reiterar que para o fator “outros” foi deixado um campo no questionário para que o respondente incluísse algum outro fator que ele julgasse relevante e que não estava sendo contemplado nas alternativas apresentadas.

Gráfico 28 – Percepção global dos fatores críticos para o sucesso da Manutenção Autônoma



Fonte: o autor (2020)

No gráfico 28 os 35 pontos atribuídos ao fator “outros” consistiram de dezessete fatores citados pelos respondentes, sendo os mais pontuados: motivação da gestão da área (9 pontos); disciplina para a execução (7 pontos, porém citado por três respondentes); treinamento da equipe (3 pontos); recompensa (3 pontos). Os demais fatores receberam um ponto cada: apoio da manutenção; integração com outros pilares TPM; capacitação em manutenção; atividades de Manutenção Autônoma tornarem-se rotina na máquina; motivação da gestão da área; escolha da máquina / local para aplicar; manutenção preventiva de melhor qualidade; investimento em treinamento; alinhamento com a estratégia da empresa; qualificação técnica do nível operacional; percepção do alcance dos objetivos; infraestrutura; aplicação de 5s antes de se iniciar a etapa 1 de Manutenção Autônoma; e, finalmente, intransigência de alguns setores ou lideranças.

Com base no gráfico 28 é possível constatar que os três fatores considerados como de maior impacto pelos respondentes para o sucesso da Manutenção Autônoma, em ordem de maior pontuação, foram apoio da diretoria, motivação da equipe da máquina e apoio da gerência. O quarto fator elencado refere-se a apoio da supervisão. Diante do exposto é possível afirmar que os principais fatores para o sucesso da Manutenção Autônoma, no âmbito das empresas pesquisadas, poderiam ser sumarizados em um fator denominado como apoio da gestão. Até mesmo em relação ao segundo fator mais pontuado – motivação da equipe da máquina – é possível relacioná-lo ao apoio da gestão, sob um enfoque de que este crie condições para que a equipe da máquina esteja motivada para a implantação da Manutenção Autônoma em seu equipamento. A importância do suporte da gestão na implantação do Programa TPM e, por consequência, da Manutenção Autônoma já foi discutida por Nakajima (1988), sendo que os resultados obtidos pelos questionários corroboram a visão do referido autor, mesmo após mais de trinta anos da sua publicação pioneira sobre o assunto.

Por outro lado, excetuando-se o fator “outros”, os fatores globalmente menos pontuados foram, da ordem de menor pontuação para a maior, experiência em gestão do líder da equipe de Manutenção Autônoma, qualificação técnica do líder da equipe em Manutenção Autônoma e disponibilidade de orçamento. Nesse contexto, nas empresas pesquisadas, a maioria dos respondentes avaliou que o próprio líder da equipe de Manutenção Autônoma não foi considerado um fator crítico relevante para o sucesso da implantação da metodologia, tanto no que tange a sua experiência em gestão das equipes como também sob o enfoque de conhecimento técnico acerca do equipamento. Com relação ao fator experiência em gestão, talvez este possa ser considerado um fator importante para se obter os melhores resultados de uma equipe, porém no contexto desta pesquisa, a maioria dos respondentes o considerou menos impactante que os demais fatores. Por outro lado, faz sentido em não se classificar como altamente impactante no sucesso da Manutenção Autônoma o conhecimento técnico do líder da equipe acerca da máquina modelo, uma vez que a própria implantação da metodologia progressivamente traz esse conhecimento não apenas para o líder, mas para a toda a equipe.

Sobre o fator “outros” destaca-se a citação por três respondentes sobre disciplina para execução das atividades de Manutenção Autônoma, sugerindo que independentemente dos resultados potencialmente alcançáveis com essa metodologia, se não houver uma organização mínima com rotinas de reuniões e discussões focalizadas nas atividades atualmente em implantação - tal como enfatiza Yoshida (1997, p.97) – tais resultados podem não ser alcançados ou, caso sejam, podem apresentar dificuldades para serem mantidos.

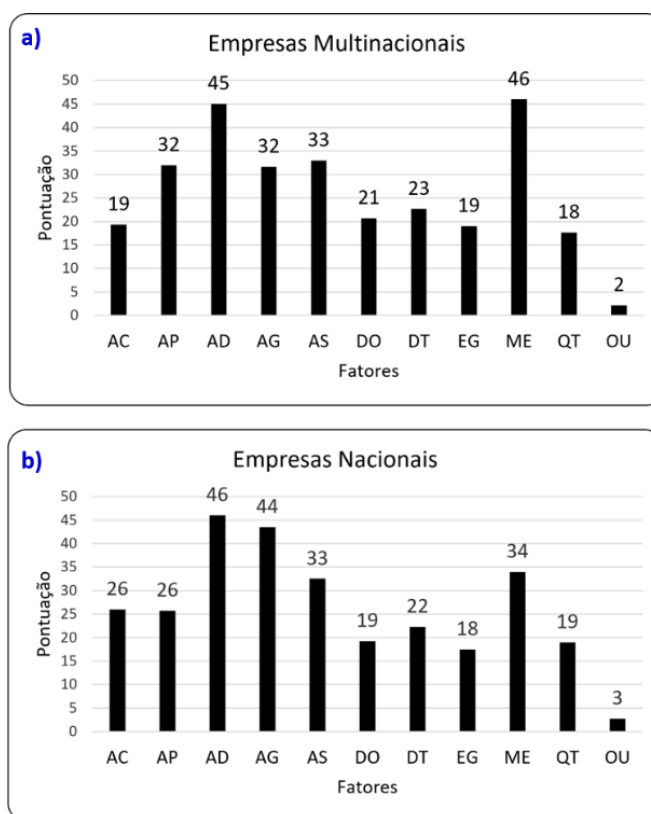
Uma vez analisados os fatores de impacto para o sucesso da Manutenção Autônoma em uma ótica global, passou-se a análise da percepção conforme a origem das empresas.

7.9.2 Percepção por origem da empresa

Experiências de consultoria indicam que empresas multinacionais de grande porte costumam apresentar uma estrutura de apoio dedicada aos programas de melhoria contínua geralmente locada na unidade matriz, porém com abrangência de suporte mundial para conduzir os programas de melhoria contínua das demais unidades distribuídas globalmente. Tais estruturas (por exemplo, diretoria de WCM, gerência geral de TPM entre outras descrições), costumam apresentar cargos de alta gestão e/ou especialistas em ferramentas, metodologias e pilares, também promovendo amplo suporte na implantação da Manutenção Autônoma nas unidades industriais locais que venham a adotá-la.

Nesse sentido, o gráfico 29 ilustra a percepção dos entrevistados, estratificada por empresas nacionais e multinacionais com relação aos fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma nas máquinas modelos de suas plantas.

Gráfico 29 – Percepção dos fatores críticos por origem da empresa



Fonte: o autor (2020)

As pontuações descritas no gráfico 29 foram obtidas após normalização (valor médio) das pontuações atribuídas pelas oito empresas nacionais e pelas seis empresas multinacionais participantes desta pesquisa aos fatores críticos em estudo.

O gráfico 29 evidencia que as empresas nacionais apresentaram concordância em 100% dos três fatores globalmente mais pontuados (apoio da diretoria, motivação da equipe da máquina e apoio da gerência). Também demonstra que as empresas multinacionais não consideraram o fator apoio da gerência como estando entre os três principais fatores, sendo considerado mais importante o apoio da supervisão. Por outro lado, entre os fatores globalmente menos impactantes (experiência em gestão e qualificação técnica do líder da equipe de Manutenção Autônoma, e disponibilidade de orçamento), as empresas multinacionais consideram menos impactante o apoio da consultoria em comparação com a disponibilidade de orçamento. Já as empresas nacionais também apresentam concordância em 100% dos fatores globalmente menos pontuados.

Uma comparação entre as empresas multinacionais e nacionais possibilita constatar que estas apresentam concordância sobre dois fatores (apoio da diretoria e motivação da equipe da máquina) dentre os três mais impactantes. Também apresentaram concordância sobre dois fatores (qualificação técnica e experiência em gestão do líder da equipe de Manutenção Autônoma) como estando entre os 3 fatores menos impactantes, podendo-se concluir que, em relação a origem (multinacional ou nacional) as empresas apresentam uma concordância em 66% dos fatores considerados como os mais e os menos importantes para o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma em suas máquinas modelo.

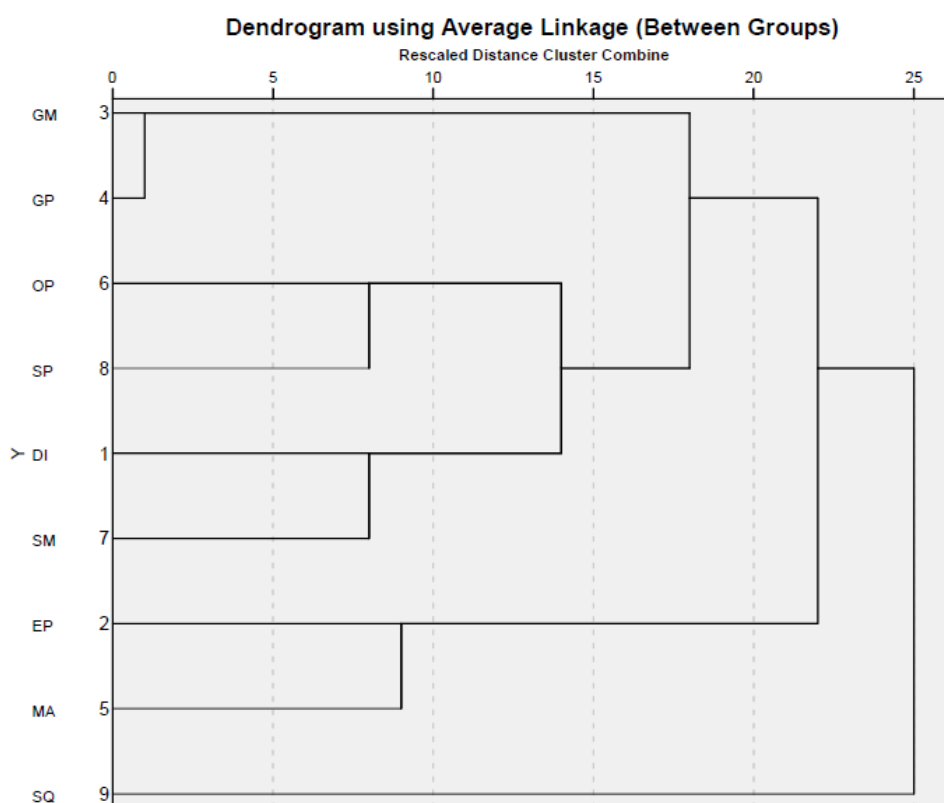
7.9.3 Percepção por cargo

Esta análise possibilita identificar se há convergências acerca de quais são os fatores mais importantes para a implantação da Manutenção Autônoma entre nove cargos distintos entrevistados nas quatorze empresas participantes desta pesquisa. Sabe-se que cada organização possui sua própria história na implantação do seu programa de Manutenção Autônoma, com distintas variáveis potencialmente influentes nestes resultados tais como cultura organizacional; estratégias de negócio; nível educacional; complexidade tecnológica, entre outros fatores. Nesse contexto, objetiva-se identificar as percepções sobre os fatores críticos para o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma na máquina modelo por cargo pesquisado e entre os cargos pesquisados.

A fim de se avaliar o relacionamento entre as percepções dos cargos entrevistados sobre os fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo, aplicou-se a técnica multivariada de análise por conglomerados (descrita na seção 5.6).

Nesta análise foram consideradas como “variáveis” os onze fatores críticos elencados para o sucesso da Manutenção Autônoma: apoio da consultoria; apoio da coordenação do programa de melhoria contínua; apoio da diretoria; apoio da gerência; apoio da supervisão; disponibilidade de orçamento; disponibilidade de tempo; experiência em gestão do líder da equipe de MA; motivação da equipe da máquina; qualificação técnica do líder da equipe de MA e outros. Foram considerados como “indivíduos” (para a formação dos *clusters*) os nove cargos entrevistados por empresa: diretor; engenheiro de processos; gestor do programa de melhoria contínua; gerente de produção; mantenedor; operador; supervisor de manutenção; supervisor de produção e supervisor de qualidade. A figura 8 ilustra o dendrograma com os *clusters* dos cargos pesquisados acerca de suas percepções em relação aos fatores críticos de sucesso considerados.

Figura 8 – Fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma (*clusters* de cargos)



Fonte: o autor (2020)

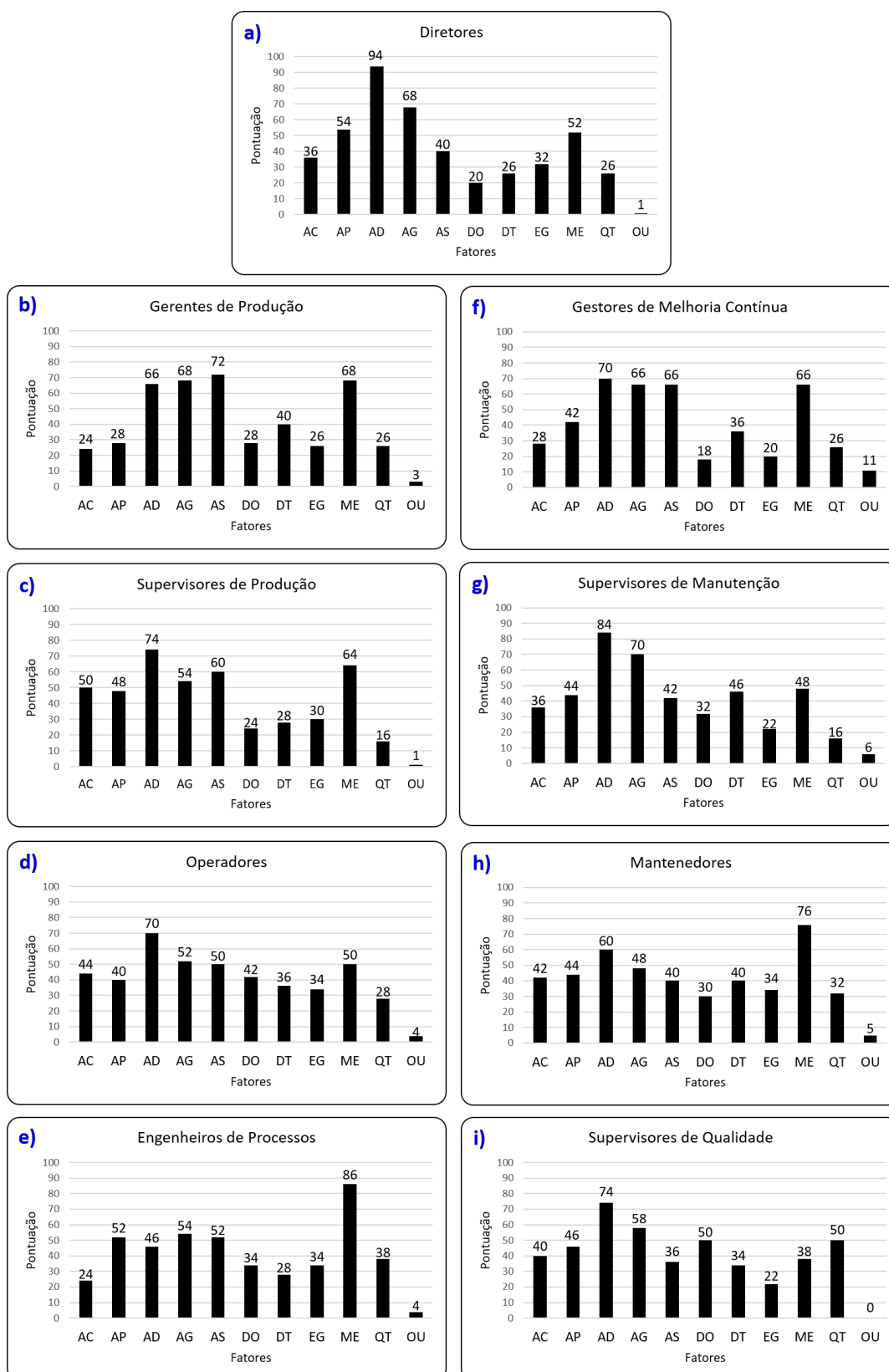
Após aplicar o procedimento de identificação do número de *clusters* obteve-se quatro *clusters* para os cargos entrevistados na figura 8: (1) gestores de melhoria contínua e gerentes de produção; (2) operadores, supervisores de produção, diretores e supervisores de manutenção; (3) engenheiros de processos e mantenedores e (4) supervisores de qualidade. O primeiro *cluster* (gestores de melhoria contínua e gerentes de produção) foi o que apresentou maior concordância acerca dos dez fatores críticos de sucesso avaliados. Em seguida, com gradativa redução de concordância, vem os demais *clusters*, sendo supervisores de qualidade o *cluster* (e o cargo) que menos apresentou concordância em relação ao ranqueamento global dos fatores críticos de sucesso para implantação da Manutenção Autônoma.

A análise de variância de um fator (considerando nível de significância de 0,05) revelou diferenças significativas entre as médias em pelo menos um *cluster* com relação a variável motivação da equipe da máquina (com a estatística *sig. F* igual a 0,008) e em pelo menos um *cluster* com relação à variável qualificação técnica do líder da equipe de MA (*sig. F* = 0,019). Com relação as nove demais variáveis não foram identificadas diferenças significativas entre os *clusters* dos cargos, com o apêndice H2 evidenciando todos os resultados desta análise.

O gráfico 30 possibilita a realização de uma análise descritiva, no qual é possível constatar que os cargos que mais contribuíram para a pontuação global sobre os fatores mais importantes foram: operador, gestor de melhoria contínua, supervisor de manutenção e mantenedores. Estes cargos, conforme gráfico 30d, f, g, h, respectivamente, pontuaram como seus três principais fatores os mesmos destacados na pontuação global: apoio da diretoria; motivação da equipe da máquina e apoio da gerência. Os demais cargos – diretor, gerente de produção, supervisor de produção, engenheiro de processos e supervisor de qualidade (gráfico 30a, b, c, e, i, respectivamente) contribuíram com pelo menos dois fatores elencados dentre os três principais considerados globalmente.

Por sua vez, os cargos cujas pontuações apresentaram concordância com os fatores globalmente menos pontuados (não sendo considerado o fator “outros” nesta análise) foram: gestor de melhoria contínua, supervisor de manutenção e mantenedor (gráfico 30f, g, h, respectivamente), tendo estes cargos elencados como os três fatores menos impactantes aqueles mesmos considerados globalmente: experiência em gestão do líder da equipe de Manutenção Autônoma, qualificação técnica do líder da equipe de Manutenção Autônoma, e disponibilidade de orçamento.

Gráfico 30 - Percepção dos fatores críticos por cargo



Fonte: o autor (2020)

Até aqui é possível afirmar que dentre os cargos pesquisados houve maior concordância entre os fatores mais impactantes (concordância entre quatro cargos: operador, gestor de melhoria contínua, supervisor de manutenção e mantenedor) do que aqueles considerados menos impactantes (concordância entre três cargos: gestor de melhoria contínua, supervisor de manutenção e mantenedor). É importante frisar que dos nove cargos pesquisados, houve concordância entre três deles (gestor de melhoria contínua, supervisor de manutenção e mantenedor) tanto sobre os três fatores mais impactantes como também sobre os três menos impactantes.

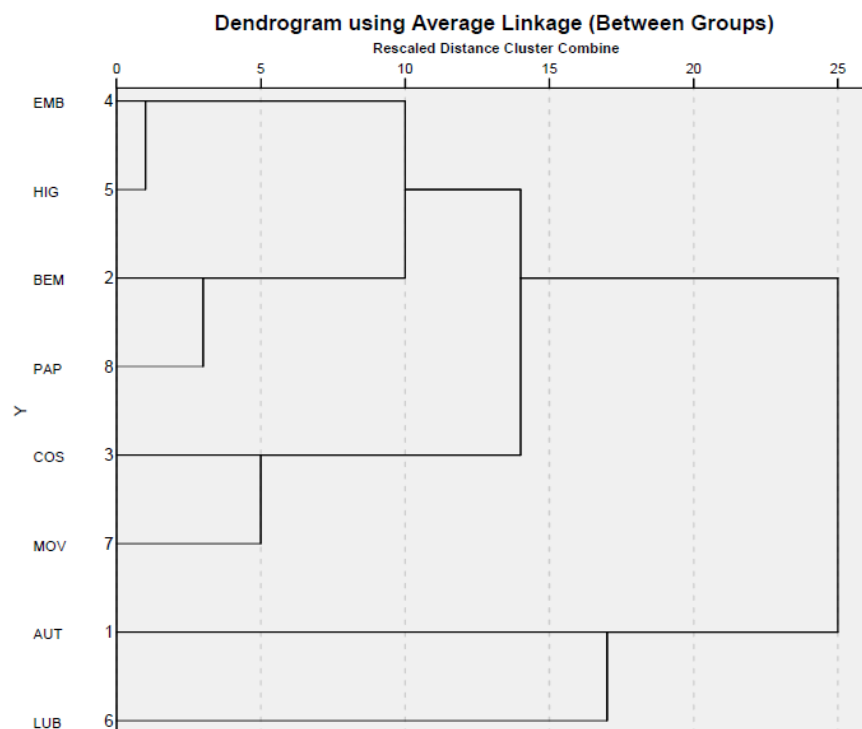
Ainda com relação ao gráfico 30, analisando-se os seis cargos que compreendem atividades de gestão (diretor; gerente de produção; supervisor de produção; gestor de melhoria contínua; supervisor de manutenção e supervisor de qualidade), nota-se que o apoio da diretoria é citado em primeiro lugar por cinco destes cargos (incluindo o próprio diretor), seguido de apoio da gerência, citado por quatro cargos. Por sua vez, analisando-se os cargos que não compreendem atividades de gestão (engenheiro de processos, operador e mantenedor), o apoio da diretoria só é citado em primeiro lugar pelo operador. O mantenedor cita-o em segundo lugar, enquanto os engenheiros de processos nem o consideram dentre os três fatores mais importantes para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo.

No mesmo gráfico é possível se avaliar se há concordância entre os cargos relacionados à produção (gerente de produção, supervisor de produção e operador; gráficos 30b, c, d). Os fatores motivação da equipe da máquina e apoio da supervisão são citados por estes três cargos como estando entre os três mais impactantes. Por sua vez, para os cargos relacionados à manutenção (mantenedor e supervisor de manutenção, gráficos 30g, h) constata-se haver concordância sobre os três fatores mais impactantes (apoio da diretoria, motivação da equipe da máquina e apoio da gerência), tendo estes fatores coincidindo com a priorização global.

7.9.4 Percepção por segmento industrial

Na amostra considerada nesta pesquisa, sem a pretensão de uma generalização dos resultados, objetiva-se avaliar se há concordância dos fatores críticos de sucesso entre os segmentos industriais das empresas participantes. Com a aplicação da técnica de análise por conglomerados obteve-se o dendograma da figura 9, que ilustra a possibilidade de formação de dois *clusters* de segmentos industriais. Nesta análise os fatores críticos são considerados como “variáveis” e os segmentos industriais como “indivíduos” para a formação dos clusters.

Figura 9 – Fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma (*clusters* de segmentos industriais)



Fonte: o autor (2020)

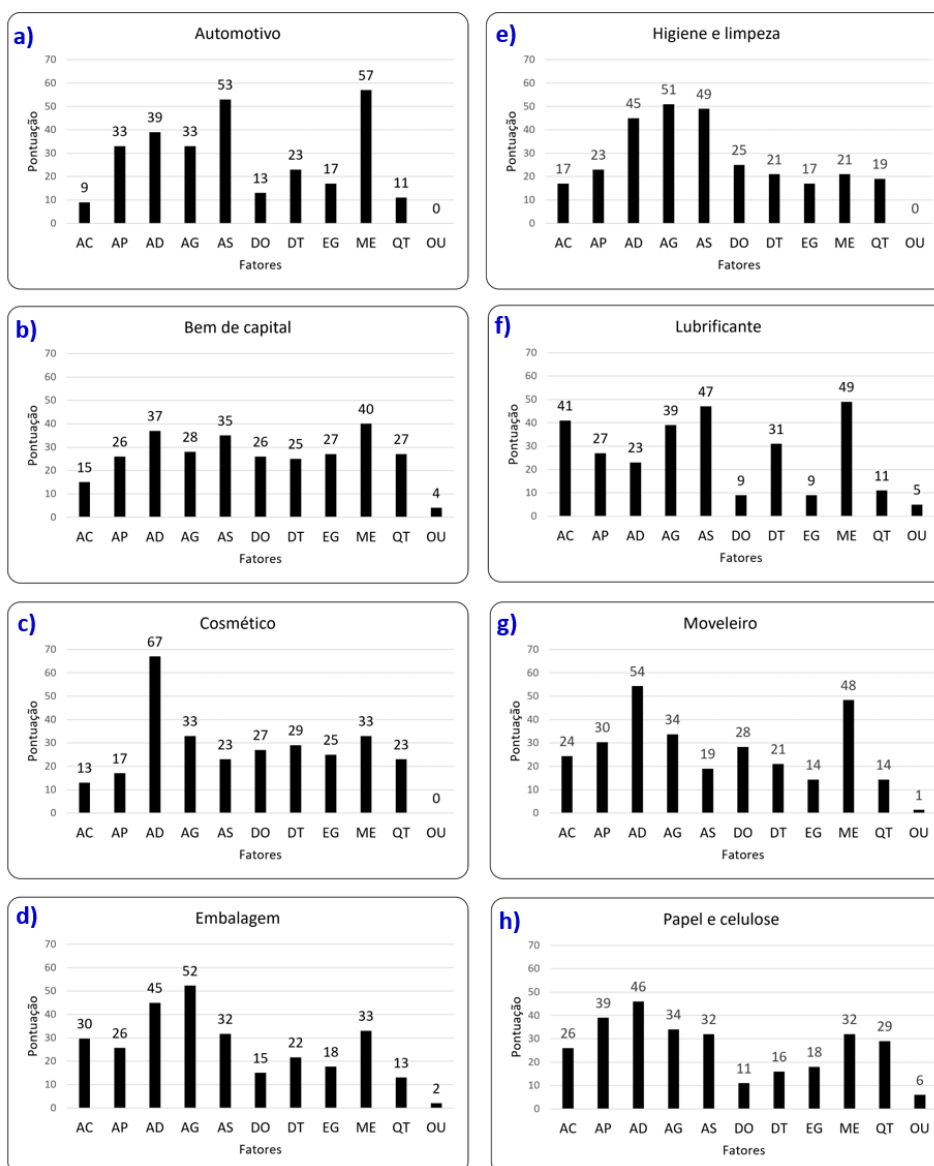
Na figura 9 nota-se que o *cluster* (1) é formado pelos segmentos automotivo e lubrificante e o *cluster* (2) pelos demais segmentos industriais: embalagem, higiene & limpeza, bem de capital, papel & celulose, cosmético e moveleiro, sendo que a maior afinidade entre as percepções acerca dos fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo encontra-se nos segmentos do *cluster* (1).

Com a realização da análise de variância de fator único (considerando nível de significância de 0,05) foi possível identificar diferenças significativas entre as médias em pelo menos um *cluster* com relação a variável “motivação da equipe da máquina”, com a estatística *sig. F* igual a 0,038. Para as dez variáveis restantes não foram identificadas diferenças significativas entre os *clusters* dos segmentos industriais. O apêndice H3 evidencia o relatório desta análise.

O gráfico 31 possibilita a realização de uma análise descritiva, donde é possível extrair que os três fatores mais importantes (mais citados pelos segmentos industriais amostrados) foram (1) o de apoio da diretoria (apenas o segmento lubrificante não o citou, gráfico 31f), seguido do fator (2) motivação da equipe da máquina (apenas os segmentos higiene & limpeza

e papel & celulose não o citaram, gráfico 31e, h, respectivamente), ficando em terceira posição o (3) apoio da gerência (os segmentos automotivo, bem de capital e lubrificante não o citaram, respectivamente gráficos 31a, b, f). Por sua vez três fatores foram citados simultaneamente por três segmentos industriais: cosmético (gráfico 31c), embalagem (gráfico 31d) e moveleiro (gráfico 31g).

Gráfico 31 - Percepção dos fatores críticos por segmento industrial



Fonte: o autor (2020)

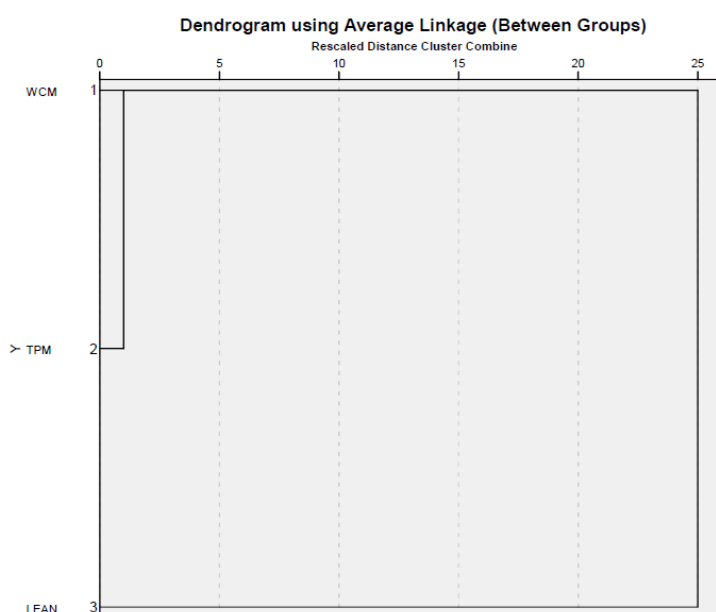
Por outro lado, os fatores menos impactantes citados pelos respondentes destes mesmos segmentos foram (1) qualificação técnica do líder da equipe de manutenção autônoma (não citado apenas pelos segmentos automotivo, bem de capital e papel & celulose, respectivamente

gráficos 31a, b, h), seguido de (2) apoio da consultoria (citado pelos segmentos automotivo, bem de capital, cosmético e higiene & limpeza, conforme gráficos 31a, b, c, e) e (3) experiência em gestão (citado pelos segmentos de embalagem, lubrificante, moveleiro e papel & celulose, respectivamente observado pelos gráficos 31d, f, g, h). Em relação aos fatores menos impactantes não houve citações simultâneas entre os segmentos industriais avaliados. Nesse contexto é possível concluir que os segmentos cujas percepções mais apresentaram aderência aos fatores de maior impacto global (gráfico 28) foram cosmético (gráfico 31c), embalagem (gráfico 31d) e moveleiro (gráfico 31g), enquanto o segmento que apresentou maior aderência aos fatores de menor impacto global (gráfico 28) (experiência em gestão do líder da equipe de MA; qualificação técnica do líder da equipe de MA e disponibilidade de orçamento) foi o lubrificante (gráfico 31f).

7.9.5 Percepção por tipo de programa de melhoria contínua

Considerando os fatores críticos de sucesso como “variáveis” e os programas de melhoria contínua como “indivíduos” para a formação dos *clusters*, foi realizada a análise de conglomerados visando avaliar se existe algum tipo de comportamento comum entre o tipo de programa de melhoria contínua adotado pela empresa e os fatores críticos para o sucesso da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo, ilustrado pelo dendograma da figura 10.

Figura 10 - Fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma (*clusters* de programas de melhoria contínua)



Fonte: o autor (2020)

Pela figura 10 nota-se apenas três possibilidades de formação de *cluster*, em função de serem apenas três os programas de melhoria contínua presentes neste trabalho. Com a aplicação do procedimento de identificação de quantidade de *clusters* descrito na seção 5.6, chega-se à formação de dois clusters: (1) os programas WCM e TPM e (2) o programa LEAN. Isso também é perceptível ao se comparar na figura 32, as imagens “a”, “b” e “c”, onde nota-se haver comportamentos similares entre as imagens “a” e “b” em detrimento da imagem “c”.

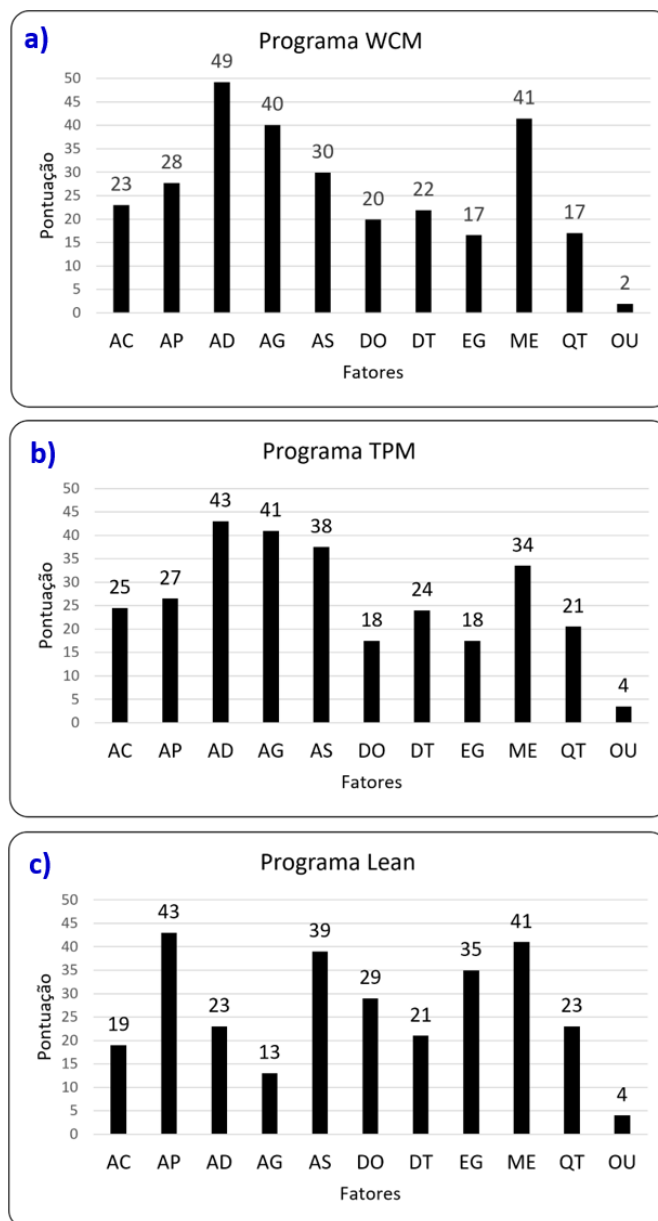
A realização da análise de variância de fator único (considerando nível de significância de 0,05) possibilitou identificar diferenças significativas entre as médias em um *cluster* do tipo de programa de melhoria contínua com relação as variáveis (1) apoio da coordenação do programa de melhoria contínua (*sig. F* = 0,024); (2) apoio da gerência (*sig. F* = 0,018) e (3) experiência em gestão do líder da equipe de MA (*sig. F* = 0,028). Com relação as outras sete variáveis não foram identificadas diferenças significativas entre os *clusters* dos programa de melhoria contínua pesquisados, conforme ilustra o apêndice H4.

Por meio do gráfico 32 é possível a realização de uma análise descritiva dos fatores por tipo de programa. Para os fatores de maior impacto na Manutenção Autônoma globalmente avaliados (gráfico 28), é possível constatar que houve concordância entre os programas WCM (gráfico 32a) e TPM (gráfico 32b) em dois dos três fatores de maior impacto: apoio da diretoria e apoio da gerência, e que não houve concordância simultânea de um único fator entre os três tipos de programas de melhoria contínua comparados.

Entretanto, para os fatores considerados de menor impacto para a Manutenção Autônoma identificados pela maioria dos entrevistados, houve concordância nos programas WCM e TPM em 100% dos três fatores identificados como menos impactantes: experiência em gestão do líder da equipe de Manutenção Autônoma; qualificação técnica do líder da equipe de Manutenção Autônoma e disponibilidade de orçamento para execução das atividades.

No único programa *Lean* considerado nesta pesquisa (gráfico 32c), em relação a percepção global dos entrevistados, houve aderência de apenas um fator (motivação da equipe da máquina) dentre os três mais impactantes globalmente considerados, e com relação aos fatores menos impactantes não houve aderência em nenhum fator.

Gráfico 32 - Percepção dos fatores críticos por tipo de programa de melhoria contínua



Fonte: o autor (2020)

Em resumo, neste capítulo, por meio das análises foi possível (1) identificar os fatores críticos para o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma; (2) verificar se estes apresentam alguma correspondência entre segmentos industriais, tipos de programa de melhoria contínua e cargos pesquisados; (3) constatar o nível de conhecimento dos entrevistados sobre a máquina modelo e os impactos da Manutenção Autônoma na melhoria de sua OEE e, finalmente, (4) identificar quais segmentos industriais tem sido mais bem sucedidos na implantação da Manutenção Autônoma. Deste modo, passa-se às considerações finais acerca desta pesquisa.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cenário competitivo atual, dentre os principais recursos disponíveis às empresas industriais (máquina, método, mão de obra e materiais) destacam-se as pessoas. Nesse contexto a metodologia Manutenção Autônoma pode conferir aos operadores competências que os capacitem a executar autonomamente atividades visando o melhoramento da OEE. Porém, para que haja uma implantação efetiva ao invés de resultados momentâneos, é importante a identificação e a gestão de seus principais fatores críticos de sucesso, uma vez que apenas treinamento e auditorias (práticas comumente adotadas pelas empresas) podem não ser suficientes para a perenidade dos resultados oriundos da aplicação desta metodologia. Por meio de uma pesquisa de levantamento contemplando nove cargos distintos em quatorze empresas - algumas relacionadas entre as cinquenta maiores empresas industriais do Brasil segundo a revista Melhores e Maiores (Exame, 2019) - foram obtidas respostas completas de 126 entrevistados, possibilitando a realização de análises para se atingir os objetivos desta pesquisa.

De modo geral identificou-se que os três fatores mais importantes para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo foram (1) o apoio da diretoria (representando 15,8% da pontuação total atribuída por todos os respondentes a todos os fatores), (2) a motivação da equipe da máquina (13,6% da pontuação total) e (3) o apoio da gerência (13,3% da pontuação total). Tais fatores podem ser enquadrados em um macro fator denominado de “apoio da gestão”, uma vez que até mesmo com relação a motivação da equipe da máquina, a gestão pode criar um ambiente que propicie tal comportamento. Por outro lado, os fatores considerados menos importantes foram: (1) experiência em gestão do líder da equipe de Manutenção Autônoma (6,3% da pontuação total), (2) qualificação técnica do líder da equipe de Manutenção Autônoma (6,4% da pontuação total) e (3) disponibilidade de orçamento (6,9% da pontuação total), com os dois primeiros podendo ser resumidos como “experiência do líder da equipe da manutenção autônoma”, seja em termos de conhecimentos técnicos acerca da máquina modelo como também sobre como gerir equipes.

Sob o enfoque de segmentos industriais pesquisados é possível concluir que os três principais fatores críticos foram citados simultaneamente por 38% dos segmentos pesquisados (três dentre oito segmentos: cosmético, embalagem e moveleiro) e por 44% dos cargos entrevistados (quatro de nove cargos: operador, gestor de melhoria contínua, supervisor de manutenção e mantenedor). Foi também possível constatar que dois (WCM e TPM) dos três

programas de melhoria contínua apresentaram concordância em 100% sobre os três principais fatores, enquanto o programa *Lean* apresentou concordância com apenas um destes fatores (motivação da equipe da máquina). Conclui-se então não haver uma percepção unânime sobre os três principais fatores críticos entre os cargos, entre os segmentos, entre as origens das empresas (multinacionais ou nacionais), ou ainda entre os programas de melhoria contínua pesquisados. Porém, é possível afirmar que se forem definidas ações que reforcem a operacionalização prática dos fatores “apoio da diretoria”, “motivação da equipe da máquina” e “apoio da gerência” a empresa interessada aumentará as chances de sucesso na implantação da Manutenção Autônoma, podendo obter a partir disso resultados significativos e duradouros.

Com relação ao nível de conhecimento dos entrevistados acerca da máquina modelo e do melhoramento de seu OEE, foi possível constatar que 93% dos entrevistados afirmaram (1) saber qual era a máquina modelo em sua empresa e (2) conhecer o impacto da Manutenção Autônoma na OEE desta máquina. Apesar de isto significar 117 entrevistados de um total de 126, o ideal é que o mesmo fosse de 100%, pois o conhecimento da máquina modelo e de seus resultados pode contribuir para uma maior credibilidade na metodologia, resultando em maior apoio por parte dos *stakeholders* na implantação da Manutenção Autônoma na empresa.

Partindo da implantação da Manutenção Autônoma nas máquinas modelo e tomando como referência a faixa de melhoramento de 10,1 a 15 pontos percentuais (pp) nos índices de disponibilidade, performance e qualidade da OEE, foi possível avaliar quais destes índices apresentaram os melhores resultados dentre as quatorze empresas pesquisadas. O índice de disponibilidade foi o que apresentou melhores resultados em comparação com os demais, com 50% das empresas (sete empresas) apresentando melhoramentos acima 10 pp (duas empresas do segmento de movelaria, uma do cosmético e outra do automotivo). Já para o índice de performance, 31% das empresas que utilizam este índice apresentaram melhoramentos acima de 10 pp (quatro empresas, dos segmentos bem de capital, lubrificante, moveleiro, papel e celulose). Finalmente o índice de qualidade foi o que menos apresentou melhoramento, com apenas 18% das empresas que utilizam este índice (duas empresas, do segmentos bem de capital e embalagem) apresentou melhoramentos acima de 10 pp.

Por meio desta pesquisa também foi possível constatar que aplicações recentes da Manutenção Autônoma atestam a sua importância e relevância atual, desde o seu surgimento no início da década de 1970. Tais aplicações também se mostram de grande abrangência em processos produtivos distintos tais como automobilístico, químico, vidro, armamentos,

maquinário agrícola, metalurgia, manufatura e até integrações mais recentes com a indústria 4.0, exemplificados por resultados evidenciados em artigos recentes. Outro aspecto importante da Manutenção Autônoma é a sua contribuição para a redução dos desperdícios em consumo de energia elétrica. Isso ocorre por meio de redução de paradas imprevistas das máquinas, melhores e mais eficientes atividades de lubrificação além da prevenção de falhas em sistemas eletromecânicos. Tal contribuição é salutar nos dias de hoje, onde se procura cada vez mais produzir com mínimos desperdícios e impactos ambientais.

Esse estudo não tem a pretensão de generalizar os resultados da pesquisa para toda uma população de empresas ou ainda segmentos industriais que utilizam a Manutenção Autônoma e a OEE. Entretanto, este estudo pode ser útil como ponto de partida para pesquisas futuras voltadas a segmentos industriais específicos, avaliando e comparando resultados a partir das origens das empresas (nacionais ou multinacionais) ou ainda dedicadas a cada um dos fatores críticos elencados como prioritários. Nesse contexto este trabalho pode ser considerado como um ponto de partida exploratório para a realização de pesquisas descritivas em maior profundidade, inclusive considerando uma maior amostra dos cargos operador, mantenedor e supervisor de produção por empresa, uma vez que as empresas, em geral, possuem uma maior quantidade de representantes destes cargos em comparação a cargos como diretor, gerente de produção e supervisor de qualidade, por exemplo. Sobre o impacto do OEE nos índices de disponibilidade, performance e qualidade, este também pode vir a ser pesquisado com base em dados contínuos ao invés das faixas intervalares utilizadas nesta pesquisa, possibilitando, por exemplo, a aplicação de tratamentos estatísticos nas análises.

Finalmente, espera-se com os resultados desta pesquisa poder contribuir com o avanço da implantação da Manutenção Autônoma nas empresas que decidirem adotá-la, sob uma ótica de quais os principais fatores que requerem atenção e, por vezes, ações, antes mesmo que a empresa inicie a implantação da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo. A gestão adequada destes fatores também pode ser particularizada às empresas e/ou regiões do país onde se encontram as máquinas modelo, contribuindo com as comunidades locais. Estes cuidados poderão contribuir para uma implantação robusta e sustentável em uma máquina que se pretenda ser referência em resultados (melhoria da OEE) e comportamentos de seus operadores, para que as demais máquinas da empresa passem a adotar tal metodologia com base em resultados concretos ao invés de apenas expectativas.

REFERÊNCIAS

- ALEFARI, M.; SALONITIS, K.; XU, Y. **The role of leadership in implementing lean manufacturing**. The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Procedia CIRP 63, p-756-761, 2017.
- ANDRADE, R. M. **Manutenção autônoma - Benefícios do roteiro eletrônico de inspeção: estudo de caso Braskem**. Dissertação – Universidade Fernando Pessoa, Programa de Pós Graduação em Ciências Empresariais. Porto. 2018.
- ANTUNES JUNIOR, J. A. V.; KLIPPEL, A. F.; SEIDEL, A.; KLIPPEL, M. **Uma revolução na produtividade: a gestão lucrativa dos postos de trabalho**. Porto Alegre. Bookman. 2013.
- ARAÚJO, N. M. C. Técnicas de gestão de riscos. In MATTOS, U. A. O.; MÁSCULO, F.S. **Higiene e segurança do trabalho**. Rio de Janeiro. Campus Elsevier, 2011.
- ARCIDIACONO, G.; PIERONI, A. **The revolution Lean Six Sigma 4.0**. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology. Vol. 8, No. 1, 2018.
- ARROMBA, I. **Dificuldades observadas na implantação do programa de Manutenção Produtiva Total (TPM)**. 99p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2018.
- ATTRI, R.; GROVER, S.; DEV, N. **A graph theoretic approach to evaluate the intensity of barriers in the implementation of total productive maintenance (TPM)**. International Journal of Production Research, 52:10, 3032-3051, 2014.
- AUGUSTIADY, T.; CUDNEY, E. **Total productive maintenance: strategies and implementation guide**. Florida, FL. CRC Press. 2016. E-book.
- AVERINA, O. I.; KOLESNIK, N. F.; MAKAROVA, L. M. **The integration of the accounting system for implementing World Class Manufacturing (WCM) principles**. European Research Studies. Vol. XIX, Special Issue 3, Part A, p. 53-69, 2016.
- AZIZI, A. **Evaluation improvement of production productivity performance using statistical process control, overall equipment efficiency and autonomous maintenance**. 2nd International Materials, Industrial and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015, Bali Indonesia. Procedia Manufacturing 2, p. 186-190. 2015.
- BARONCELLI, C.; BALLERIO, N. **WCOM (world class operations management): Why you need more than lean**. Springer. 2016. E-book.
- BAKRI, A; MAHZAN, M; LATIF, M. **A review of critical success factors for Total Productive Maintenance and development of research framework**. International Journal of Engineering and Technology. 7 (3-20), p. 548-552. 2018.
- BIEHL, N.C; SELLITTO, M. A. **TPM e manutenção autônoma: estudo de caso em uma empresa da indústria metal-mecânica**. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.15, n.4, p.1123-1147, 2015.

BUDYNAS, R.; NISBETT, J. **Elementos de máquinas de Shigley**: projeto de engenharia mecânica. Porto Alegre. AMGH. 2011.

BUER, S. V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. **The link between industry 4.0 and lean manufacturing**: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*. Vol. 56, Issue 8. 2018.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 8 ed. Minas Gerais. Editora INDG, 2004.

CAMPOS, V. F. **O verdadeiro poder**: práticas de gestão que conduzem a resultados revolucionários. Minas Gerais. Editora INDG, 2009.

CARNERUD, D.; JACA, C.; BÄCKSTRÖM, L. **Kaizen and continuous improvement**: trends and patterns over 30 years. *The TQM Journal*, 30 (4), p. 371-390, 2018.

CARNEVALLI, J.A. **Estudo exploratório tipo survey sobre o uso do QFD nas 500 maiores empresas do Brasil**. 155p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção. Universidade Metodista de Piracicaba. São Paulo. 2002.

CARNEVALLI, J.A; MIGUEL, P.A.C; SALERNO, M.S. **Aplicação da modularidade na indústria automobilística: análise a partir de um levantamento tipo survey**. *Revista Produção*, v.23, n.2, p.329-344, 2013.

CARVALHO, E. R.; MOTA, A. E. A. S.; MARTINS, G. M. S.; BASTOS, L. S. L. B.; MELO, A. C. S. **The current context of lean and six sigma logistics applications in literature: a systematic review**. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v.14, p.586-602, 2017.

CERCÓS, M; CALVO, L; DOMINGO, R. **An exploratory study on the relationship of Overall Equipment Effectiveness (OEE) variables and CO₂ emissions**. 8th Manufacturing Engineering Society International Conference. *ScienceDirect Procedia Manufacturing* 41, p-224-232, 2019.

CHIARINI, A.; VAGNONI, E. **World-class manufacturing by Fiat. Comparison with Toyota Production System from a strategic Management, Management Accounting, Operations Management and Performance Measurement dimension**. *International Journal of Production Research*. Vol. 53. Issue 2, p. 560-606, 2014.

COELHO, F. **Manual de direito comercial**. 20ed. São Paulo. Saraiva. 2010.

CONTADOR, J. **Gestão de operações**. A engenharia de produção a serviço da modernização da indústria. 2ed. São Paulo. Edgard Blucher. 1998.

CORRÊA, H.; CORRÊA, C. **Administração de produção e operações**. Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 4ed. São Paulo. Atlas. 2017. E-book.

CORSEUIL, C. H.; KUME, H. **A abertura comercial brasileira nos anos 1990: impactos sobre emprego e salário.** Rio de Janeiro. IPEA. 2003. E-book.

DE FELICE, F.; PETRILLO, A. **Optimization of Manufacturing System through World Class Manufacturing.** IFAC Papers Online. Vol. 48, Issue 3, p.741-746, 2015.

DIGALWAR, A.; JINDAL, A.; SANGWAN, K. S. **Modeling the performance measures of world class manufacturing using interpreting structural modeling.** Journal of Modeling in Management. Vol. 10, Issue 1, p.4-22, 2015.

DROHOMERETSKY, E.; COSTA, S. E. G.; LIMA, E. P.; GARBUIO, P. A. R. **Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: an analysis based on operations strategy.** International Journal of Production Research. Vol. 52, No. 3, p.804-824, 2014.

EBRAHIMI, M; BABOUL, A; ROTHER, E. **The evolution of world class manufacturing toward industry 4.0: a case study in automotive industry.** International Federation of Automatic Control. IFAC PapersOnLine 52-10, p.188-194. 2019.

EXAME. **Maiores e melhores 2019.** Edição Especial. São Paulo: Editora Abril, Setembro de 2019.

EXAME. <https://exame.com/brasil/brasil-gasta-por-alunos-menos-da-metade-do-que-paises-da-ocde/> 2019a. Publicado em 11/09/2019. Acessado em 03/11/2020.

FAM, S; LOH, S; HASLINDA, M; YANTO, H; KHOO, L; YOND, D. **Overall equipment efficiency (OEE) enhancement in manufacture of electronic components & boards industry through total productive maintenance practices.** MATEC Web of Conferences. 150, 05037 (2018).

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Análise de dados: técnicas multivariadas exploratórias com SPSS e STATA.** Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2015.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões.** Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2009.

FERREIRA, C. W. T. F.; LEITE, J. C. **Applied autonomous maintenance in the improvement of production quality: a case study.** Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (JETIA). Ed. 0007. Vol. 002, ISSN 2447-0228, online, 2016.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A.; ROCHA, E. C. **Classificando regimes políticos utilizando a análise de conglomerados.** Revista Opinião Pública. Campinas, Vol. 18, n° 1, junho, p. 109-128. 2012.

FLEURY, A. O que é engenharia de produção. In BATALHA, M. O. **Introdução à engenharia de produção.** Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2008.

FURLAN, A.; VINELLI, A. **Unpacking the coexistence between improvement and innovation in world class manufacturing: a dynamic capability approach.** Technological Forecasting and Social CHange. Vol. 133. p.168-178. 2018.

FURMAN, J.; KUCZYNSKA-CHALADA, M. **Change management in lean enterprise.** International Society for Manufacturing, Service and Management Engineering. Economics and Management, v. 8, n. 2, p.23-30. 2016.

GALSWORTH, G. **Visual workplace: visual thinking.** 2nd ed. Florida, FL. CRC Press. 2017. E-book.

GEITNER, F.; BLOCH, H. **Análise e solução de falhas em sistemas mecânicos.** 4ed. Rio de Janeiro. Campus Elsevier. 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6ed. São Paulo. Gen Atlas, 2018. E-book.

GONZALEZ ALEU, F.; VAN AKEN, E. M; **Systematic literature review of critical success factors for continuous improvement projects.** International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 7, Issue 3, 2016.

GOUVINHAS, R. Estratégias da organização para o desenvolvimento sustentável: motivadores mercadológicos para o desempenho ambiental. In ADISSI, P; PINHEIRO, F; CARDOSO; R. **Gestão ambiental de unidades produtivas.** Rio de Janeiro. Campus Elsevier, 2013.

GREEN, C; TAYLOR, D. **Consolidating a distributed compound management capability into a single installation: the application of overall equipment effectiveness to determine capacity utilization.** Journal of laboratory automation, v.21 (6), p 811-816. 2016

GUARIENTE, P; ANTONIOLLI, I; PINTO FERREIRA, L; PEREIRA, T; SILVA, F.J.G. **Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer.** Manufacturing Engineering Society International Conference. Procedia Manufacturing 13, p.1128-1134. 2017.

HABIDIN, N. F.; HASHIM, S.; FUZI, N. M.; SALLEH, M. I. **Total productive manitenance, kaizen event and performance.** International Journal of Quality & Reliability Management. Vol. 25, Issue 9, p.1853-1867. 2018.

HANSEN, R. C. **Overall Equipment Effectiveness: a powerful production / maintenance tool for increased profits.** New York, NY. Industrial Press. 2002. E-book.

HAIR JR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados.** 5ed. Porto Alegre. Bookman. 2009. E-book.

HAIR JR, J. F.; BABIN, B.; MONEY A. H.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração.** Porto Alegre. Bookman. 2005.

HE, F; SHEN, K; LU, L; TONG, Y. **Model for improvement of overall equipment effectiveness of beer filling lines.** Advances in mechanical engineering. Vol 10(8), 1-20. 2018.

HERMKENS, F; DOLMANS, S.; ROMME, A. G. L. **A vignette study of middle manager's responses to continuous improvement initiatives by top management.** International Journal of Business and Social Science. Vol 10, No 6, June 2019.

HILL, A. **The encyclopedia of operations management: a field manual and glossary of operations management terms and concepts.** Pearson Education. 2012. E-book.

HOOI, L. W.; LEONG, T. Y. **Total Productive Maintenance and manufacturing performance improvement.** Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 23, No 1, p. 2-21, 2017.

IMAI, M. **Kaizen: A estratégia para o sucesso competitivo.** 6 ed. São Paulo: IMAM, 2005.

IMPROTA, G.; BALATO, G.; RICCIARDI, C.; RUSSO, M. A.; SANTALUCIA, I.; TRIASSI, M.; CESARELLI, M. **Lean Six Sigma in healthcare: fast track surgery for patients undergoing prosthetic hip replacement surgery.** The TQM Journal. Vol. 31, No. 4, p.526-540, 2019.

IISE. <https://www.iise.org/details.aspx?id=43631> “What is industrial engineering?” Acessado em 29/03/20.

KECHAOU, F; ZOLGHADRI, M. **Closed-loop control of decision system and equipment effectiveness.** International Federation of Automatic Control. IFAC PapersOnLine 52-13, p.636-641. 2019.

KIMURA, Y. Becoming equipment-conscious operators. In JIPM. **Autonomous maintenance for operators.** Portland, OR: Productivity Press Inc, 1997.

LAM, M.; O'DONNELL, M.; ROBERTSON, D. **Achieving employee commitment for continuous improvement initiatives.** International Journal of Operations & Production Management. Vol 35, No 2, p. 201-215, 2015.

LIKER, J. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre. Bookman. 2005.

LE MAHIEU, P. G.; NORDSTRUM, L. E.; CUDNEY, E. **Six sigma in education.** Quality Assurance in Education: an international perspective. Vol. 25, No. 1, p. 98-101, 2017.

LIKER, J.; MEIER, D. **O talento Toyota: o modelo Toyota aplicado ao desenvolvimento de pessoas.** Porto Alegre. Bookman. 2008.

LODGAARD, E.; INGVALDSEN, J.; ASCHEHOUG, S.; GAMME, I. **Barriers to continuous improvement: perceptions of top managers, middle managers and workers.** 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2015 – Procedia CIRP 41, p. 1119-1124, 2016.

LOPEZ, E. A.; REQUENA, I. G.; LOBERA, A. S. **Lean service: reassessment of lean manufacturing for service activities.** The Manufacturing Engineering Society International Conference 2015 – Procedia Engineering 132, p. 23-30, 2015.

MAMEDE, J. **Instalações elétricas industriais.** 9ed. Rio de Janeiro. GEN LTC. 2017.

MANJUNATHA, B.; SRINIVAS, T. R.; RAMACHANDRA, C. G. **Implementation of total productive maintenance (TPM) to increase overall equipment efficiency of an hotel industry.** MATEC Web of Conferences. 144 (13/14): 05004, 2018.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Técnicas de pesquisa**. 8 ed. São Paulo. GEN Atlas, 2018. E-book.

MARODIN, G.; FRANK, A. G.; TORTORELLA, G. L.; NETLAND, T. **Lean product development and lean manufacturing: testing moderation effects**. International Journal of Production Economics. Vol. 203, p. 301-310, September, 2018.

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In MIGUEL, P.A.C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ed. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2012.

MARZAGÃO, D. S. L.; CARVALHO, M. M. **Critical success factors for Six Sigma projects**. International Journal of Project Management. Vol. 34, p. 1505-1518, 2016.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: edição compacta**. 5 ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2012. E-book.

MIGUEL, P.A.C; LEE HO, L. Levantamento tipo survey. In MIGUEL, P.A.C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ed. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2012.

MIYAKE, D. I. Melhorando o processo: seis sigma e sistema de produção Lean. In ROTONDARO, Roberto G. et al. **Seis Sigma: Estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

MIYOSHI, A. Maximizing production effectiveness. In SUZUKI, T. **TPM in process industries**. Portland, OR: Productivity Press Inc, 1994.

MODGIL S.; SHARMA, S. **Total productive maintenance, total quality management and operational performance: an empirical study of Indian pharmaceutical industry**. Journal Quality in Maintenance Engineering. Vol. 2, Issue 4, p. 353-377, 2016.

MOLENDIA, M. **The autonomous maintenance implementation directory as a step toward the intelligent quality management system**. Management Systems in Production Engineering, n.4 (24), pp 274-279. 2016.

MORIKAWA, S. Implementation of Jishu-Hozen activities. In SHIROSE, K. **TPM - Total Productive Maintenance: New implementation program in fabrication and assembly industries**. Atlanta, GE: Japan Institute of Plant Maintenance, 1996.

MWANZA, B. G.; MBOHWA, C. **Design of a total productive maintenance for effective implementation: case study of a chemical manufacturing company**. Industrial Engineering and Service Science. Procedia Manufacturing 4, p. 461-470. 2015.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM - Total Productive Maintenance**. Portland, OR. Productivity Press. 1988.

NAKAJIMA, S. Outline of TPM. In SHIROSE, K. **TPM - Total Productive Maintenance - New implementation program in fabrication and assembly industries**. Japan Institute of Plant Maintenance. 1996.

NAKAZATO, K. Autonomous Maintenance. In SUZUKI, T. **TPM in process industries**. Portland, OR. Productivity Press Inc, 1994.

NG, K; GOH, G; EZE, U. **Critical success factors of total productive maintenance implementation: a review**. 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. 6-9 December 2011.

NORTON, R. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4ed. Porto Alegre. Bookman. 2013.

NOSAKU, Y. Cleaning is inspection. In Janpan Institute of Plant Maintenance. **Autonomous manitenance for operators**. Portland, OR: Productivity Press Inc, 1997.

NUNES, I.L; SELLITTO, M. A. **Implantação de técnicas de manutenção autônoma em uma célula de manufatura em um fabricante de máquinas agrícolas**. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.16, n.2, p.606-632, 2016.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre. Bookman. 1997.

OLIVEIRA R; MUNIZ, J; MARINS, F. **Analysis of Factors for Implementing TPM: A Study in Welded Tube Manufacturers**. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS), Sep 2014, Ajaccio, France.

ORTIZ, C. A.; PARK, M. R. **Visual controls: applying visual management for the factory**. New York, NY. Taylor & Francis Group. 2011. E-book.

PANDE, P.; NEUMAN, R.; CAVANAGH, R. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desepenho**. Rio de Janeiro. Qualitymark. 2007.

PASSOS, F. U.; ARAGÃO, I. R. **Melhorias operacionais de processos contínuos acompanhadas por ferramentas da produção enxuta: estudo de caso em uma petroquímica brasileira**. REGE, São Paulo – SP, Brasil. Vol. 20, No 2, p. 267-282, abr/jun, 2013.

PEPPER, M. P. J.; SPEDDING, T. A. **The evolution of Lean Six Sigma**. International Journal of Quality and Reliability Management. Vol. 27, No 2, p. 138-155, 2010.

PETRILLO, A.; DE FELICE, F.; ZOMPARELLI F. **Performance measurement for world-class manufacturing: a model for the italian automotive industry**. Total Quality Management & Business Excelence. Vol. 30, Issue 7-8, p. 908-935, 2018.

PIECHNICKI, A. S. **Identificação, priorização e análise dos fatores críticos para o sucesso na implantação da TPM pelo método AHP**. 125p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2013.

PINTO, H; PIMENTEL, C; CUNHA, M. **Implications of Total Productive Maintenance in Psychological sense of ownership.** Future Academy's Multidisciplinary Conference. Procedia Social and Behavioral Sciences 217, p.1076-1082. 2016

PMI (Project Management Institute). **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (guia PMBOK).** 6ed. Pennsylvania, PMI, 2017.

PRABOWO, H. A; SUPRAPTO, Y. B; FARIDA, F. **The evaluation of eight pillars Total Productive Maintenance implementation and their impact on overall equipment effectiveness (OEE) and waste.** SINERGI. Vol.22, No.1, p.13-18. 2018.

PODUVAL, P; PRAMOD, V; RAJ, J. **Barriers in TPM implementation in industries.** International Journal of Scientific & Technology Research. Volume 2, Issue 5, May 2013.

RENTES, A.F. Gestão de operações. In BATALHA, M. O. **Introdução à engenharia de produção.** Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2008.

ROBINSON, C.; GINDER, A. **Implementing TPM: the north american experience.** Portland, OR. Productivity Press. 1995.

ROTONDARO, R.G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria dos processos, produtos e serviços.** São Paulo: Atlas, 2002.

RUBRICH, L.; WATSON, M. **Implementing World Class Manufacturing: includes lean enterprise.** 2ed. Fort Wayne, IN. WCM Associates. 2004.

SALAH, S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J. A. **The integration of Six Sigma and Lean Management.** International Journal of Lean Six Sigma. Vol. 1, No.3, p.249-274, 2010.

STANKALLA, S.; KOVAL, O.; CHROMJAKOVA, F. **A review of critical success factors for the successful implementation of lean six sigma and six sigma in manufacturing small and medium-size enterprises.** Quality Engineering. Vol.30, Issue 3, p.453-468, 2018.

SCHONBERGER, R. **World class manufacturing: the lessons of simplicity applied.** New York, NY. The Free Press. 1986.

SEBRAE.https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Pesquisas/MPE_conceito_empregados.pdf “ Acesso em 20/10/20.

SELLEM, S. N; ATTIA, E; EL-ASSAI, A. **Identification of critical success factors for total productive maintenance.** Proceedings of the 18th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering, 3-5 April, 2018.

SHAFER, S. M.; MOELLER, S. B. **The effects of six sigma on corporate performance: an empirical investigation.** Journal of Operations Management. Vol.30, p.521-532. 2012.

SHEN, C. **Discussion on key successfull factors of TPM in enterprises.** Journal of Applied Research and Technology. (13), 425-427, 2015.

SHINGO, S. **Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos.** Porto Alegre. Bookman. 2000.

SHIUNDLA, T. B; MPOFU, K; ADENUGA, O. T. **Integrating Product-Service Systems into the manufacturing industry: Industry 4.0 perspectives.** 11th Conference on Industrial Product-Service Systems. Procedia CIRP 83, p.8-13. 2019.

SHIROSE, K. **TPM - Total Productive Maintenance - New implementation program in fabrication and assembly industries.** Japan Institute of Plant Maintenance. 1996.

SINGH, R; SHAH, D; GOHIL, A; SHAH, M. **Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation - Automation through hardware & software development.** Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma university International Conference. Procedia Engineering 51, p.579-584. 2013.

SIREGAR, K; SYAHPUTRI, K; ANIZAR; SARI, R; RIZKYA, I; TAMBUNAN, M. **Effectiveness of compressor machine by using overall equipment effectiveness (OEE) method.** E3S Web of Conferences 73, 05007. 2018

SKINNER, W. **Manufacturing - Missing link in corporate strategy.** Harvard Business Review, v. 47, n. 3, p. 136-146. 1969.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 8ed. São Paulo. GEN Atlas. 2018. E-book.

SOBEK II, D.; SMALLEY, A. **Entendendo o pensamento A3: um componente crítico do PDCA da Toyota.** Porto Alegre. Bookman. 2010.

SUZUKI, T. Overview of TPM in process industries. In SUZUKI, T. **TPM in process industries.** Portland, OR. Productivity Press. 1994.

SZWEDZKA, K.; KACZMAREK, J. **One point lesson as tool for work standardization and optimization: case study.** International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 605. Springer, 2017

TAJIRI, M.; GOTOH, F. **TPM implementation: A Japanese Approach.** McGraw-Hill Inc, 1992.

TANAKA, A. Lubrication management for the shop floor. In Japan Institute of Plant Maintenance. **Autonomous maintenance for operators.** Portland, OR. Productivity Press Inc, 1997.

TANAKA, W; MUNIZ, J; NETO, A. **Fatores críticos para implantação de projetos de melhoria contínua segundo líderes e consultores industriais.** Revista eletrônica de Sistemas & Gestão. Volume 7, p.103-121 (2012).

TOBE, A; WIDHIYANURIYAWAN, D; YULIATI, L. **Integration of Overall Equipment Effectiveness Method and Lean Manufacturing concept to improve production performance (case study: fertilizer producer).** Journal of Engineering and Management Industrial System. v.5, n.2. 2017.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. 3ed. Rio de Janeiro. Campus Elsevier. 2012.

WIJAYANTI, T. C.; SETINI, M.; DARMA D. C.; PURWADI, P.; ALKA, P. R. **Conectivity continuous improvement program and employee performance**. International Review of Management and Marketing. 10 (1): 54-62 (2020).

WOLDESILASSI, T; IVATURY, V. **Critical success variables influencing implementation of Total Productive Maintenance**. International Journal of Emerging Technologies. 11 (3): 942-947 (2020).

WOMACK, J.; JONES, D. **A mentalidade enxuta nas empresas, lean thinking: elimine o desperdício e crie riqueza**. 8ed. Rio de Janeiro. Campus Elsevier. 2004

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 8ed. Rio de Janeiro. Campus Elsevier. 2004.

XU, L.; XU, E.; LI, L. **Industry 4.0: state of the art and future trends**. International Journal of Production Research. Vol. 56, No. 8, 2941-2962, 2018.

YOSHIDA, R. Activity boards and meetings. In JIPM. **Autonomous maintenance for operators**. Portland, OR. Productivity Press Inc, 1997.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS

A1) Primeira Versão do Questionário - Página 1 de 2

<p>Questionário</p> <p>Percepção sobre o impacto da Manutenção Autônoma na OEE da máquina modelo e fatores críticos para a sua implantação</p> <p>A) Dados da empresa:</p> <p>A1- Nome: _____ A2- Número de funcionários: _____</p> <p>B) Dados do entrevistado:</p> <p>B1- Nome: _____ B2- Função: _____ B3- Tempo na função: _____</p> <p>C) Dados do programa de melhoria contínua:</p> <p>C1- Lean (<input type="checkbox"/>), 6 Sigma (<input type="checkbox"/>), TPM (<input type="checkbox"/>), WCM (<input type="checkbox"/>), Outro: _____</p> <p>C2- Ano de início do programa de melhoria contínua: _____</p> <p>C3- Há pilar de manutenção autônoma: (<input type="checkbox"/>) Sim (<input type="checkbox"/>) Não (<input type="checkbox"/>) Não sei</p> <p>C4- Quantidade de equipamentos com manutenção autônoma (iniciada ou concluída): _____</p> <p>D) Dados sobre a máquina modelo (primeira máquina a ser iniciada a manutenção autônoma)</p> <p>D1- Local da instalação (estado e cidade): _____ D2- Ano de instalação: _____</p> <p>D3- Ano de início da manutenção autônoma: _____</p> <p>D4- Até qual passo foi implementada a manutenção autônoma na máquina modelo?</p> <p>(<input type="checkbox"/>) Passo 1 (<input type="checkbox"/>) Passo 2 (<input type="checkbox"/>) Passo 3 (<input type="checkbox"/>) Passo 4 (<input type="checkbox"/>) Passo 5 (<input type="checkbox"/>) Passo 6 (<input type="checkbox"/>) passo 7</p> <p>(<input type="checkbox"/>) nenhum (apenas iniciada) (<input type="checkbox"/>) não sei</p> <p>D5- Qual o impacto da implantação da manutenção autônoma sobre o índice de disponibilidade (ID) na máquina modelo?</p> <p>Exemplo: antes de iniciar o passo 1, o ID era 75%. Após implantar a MA (no mínimo passo 1) obteve-se 91%. Este incremento foi de 16%. Logo, assinalar faixa entre 10,1 a 20%.</p> <p>(<input type="checkbox"/>) > 20% (<input type="checkbox"/>) 15,1 a 20% (<input type="checkbox"/>) 10,1 a 15% (<input type="checkbox"/>) 5,1 a 10% (<input type="checkbox"/>) 0,1 a 5%</p> <p>(<input type="checkbox"/>) nenhum (<input type="checkbox"/>) não sei</p>
--

A1) Primeira Versão do Questionário - Página 2 de 2

D6- Qual o impacto da implantação da manutenção autônoma sobre o índice de performance (IP) na máquina modelo?

Exemplo: antes de iniciar o passo 1, o IP era 48%. Após implantar a MA (no mínimo passo 1) obteve-se 81%. Este incremento foi de 33%. Logo, assinalar faixa > 30%.

> 20% 15,1 a 20% 10,1 a 15% 5,1 a 10% 0,1 a 5%

nenhum não sei

D7- Qual o impacto da implantação da manutenção autônoma sobre o índice de qualidade (IQ) na máquina modelo?

Exemplo: antes de iniciar o passo 1, o IQ era 85%. Após implantar a MA (no mínimo passo 1) obteve-se 87%. Este incremento foi de 2%. Logo, assinalar faixa entre 0,1 a 10%.

> 20% 15,1 a 20% 10,1 a 15% 5,1 a 10% 0,1 a 5%

nenhum não sei

D8- Em sua opinião, qual o impacto dos fatores abaixo para uma implantação bem sucedida da manutenção autônoma em uma máquina modelo?

Atribuir pontuações:

9 – alto impacto (atribuir “9 pontos” para apenas dois fatores dos dez listados)

3 – médio impacto (atribuir “3 pontos” para apenas três fatores dos oito restantes)

1 – baixo (ou nenhum) (atribuir “1 ponto” para os cinco fatores restantes)

Fatores:

Apoio da consultoria

Apoio da diretoria

Apoio da gerência

Apoio da supervisão

Disponibilidade de orçamento

Disponibilidade de tempo para execução das atividades

Experiência em gestão do líder do GIGA

Motivação da equipe da máquina

Qualificação técnica do líder do GIGA

Outro (especificar): _____

A2) Questionário aplicado ao Gestor do Programa de Melhoria Contínua - Página 1 de 3

<p>QUESTIONÁRIO</p> <p>(Gestor do Programa de Melhoria Contínua)</p> <p>Impacto da Manutenção Autônoma na OEE e os fatores críticos para a sua implantação</p> <p>1) Dados da empresa:</p> <p>1.1- Nome: _____</p> <p>1.2- Quantidade de funcionários: _____</p> <p>2) Dados do entrevistado:</p> <p>2.1- Nome: _____</p> <p>2.2- Tempo no cargo (na empresa): _____</p> <p>3) Dados do programa de melhoria contínua:</p> <p>3.1- Tipo de programa (assinale uma única alternativa):</p> <p><input type="checkbox"/> Lean</p> <p><input type="checkbox"/> 6 Sigma</p> <p><input type="checkbox"/> TPM</p> <p><input type="checkbox"/> WCM</p> <p><input type="checkbox"/> Outro (descrever): _____</p> <p>3.2- Ano de início do programa de melhoria contínua: _____</p> <p>3.3- Há pilar de Manutenção Autônoma: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não</p> <p>3.4- Quantidade de equipamentos com Manutenção Autônoma (iniciada e/ou concluída): _____</p> <p>4) Dados sobre a <i>máquina modelo</i> (primeira máquina a ter iniciada a Manutenção Autônoma)</p> <p>4.1- Local da instalação (estado e cidade): _____</p> <p>4.2- Ano de instalação: _____</p> <p>4.3- Ano de início da Manutenção Autônoma: _____</p> <p>4.4- Até qual <i>etapa completa</i> foi implementada a Manutenção Autônoma?</p> <p><input type="checkbox"/> nenhum (apenas iniciada)</p>
--

A2) Questionário aplicado ao Gestor do Programa de Melhoria Contínua - Página 2 de 3

Etapa 1

Etapa 2

Etapa 3

Etapa 4

Etapa 5

Etapa 6

Etapa 7

5) Qual o impacto da implantação da Manutenção Autônoma sobre o *índice de disponibilidade (ID)* na máquina modelo? Assinale uma única alternativa.

Exemplo: no primeiro mês após iniciado o passo 1 o ID era 75%. Atualmente (*mediana dos últimos três meses*) obteve-se 91%. O incremento foi de 16 pontos percentuais (pp). Logo, assinala-se a faixa entre 15,1 a 20 pp.

> 20 pp

15,1 a 20 pp

10,1 a 15 pp

5,1 a 10 pp

0,1 a 5 pp

nenhum

índice não aplicado na máquina modelo

6) Qual o impacto da implantação da Manutenção Autônoma sobre o *índice de performance (IP)* na máquina modelo? Assinale uma única alternativa.

Exemplo: no primeiro mês após iniciado o passo 1 o IP era 48%. Atualmente (*mediana dos últimos três meses*) obteve-se 81%. O incremento foi de 33 pontos percentuais (pp). Logo, assinalar faixa > 20 pp.

> 20 pp

15,1 a 20 pp

10,1 a 15 pp

5,1 a 10 pp

0,1 a 5 pp

nenhum

índice não aplicado na máquina modelo

A2) Questionário aplicado ao Gestor do Programa de Melhoria Contínua - Página 3 de 3

7) Qual o impacto da implantação da manutenção autônoma sobre o índice de qualidade (IQ) na máquina modelo? Assinale uma única alternativa.

Exemplo: no primeiro mês após iniciado o passo 1 o IQ era 85%. Atualmente (*mediana dos últimos três meses*) obteve-se 87%. O incremento foi de 2 pontos percentuais (pp). Logo, assinalar faixa entre 0,1 a 5 pp.

- > 20 pp
- 15,1 a 20 pp
- 10,1 a 15 pp
- 5,1 a 10 pp
- 0,1 a 5 pp
- nenhum
- índice não aplicado na máquina modelo

8) Em sua opinião, qual o impacto dos fatores elencados abaixo para uma implantação bem sucedida da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo? Antes do preenchimento, veja no fim deste questionário detalhes sobre cada fator.

Atribuir pontuações da seguinte forma:

- 9 – Alto impacto (atribuir “9 pontos” para apenas dois fatores dos dez listados)
- 3 – Médio impacto (atribuir “3 pontos” para apenas três fatores dos oito restantes)
- 1 – Baixo (ou nenhum) (atribuir “1 ponto” para os seis fatores restantes)

Fatores:

- Apoio da consultoria
- Apoio da coordenação do programa
- Apoio da diretoria
- Apoio da gerência
- Apoio da supervisão
- Disponibilidade de tempo para execução das atividades
- Experiência em gestão do líder da equipe de manutenção autônoma
- Qualificação técnica do líder da equipe de manutenção autônoma
- Motivação da equipe da máquina
- Disponibilidade de orçamento
- Outro (especificar): _____

A3) Questionário aplicado aos Demais Cargos - Página 1 de 2

QUESTIONÁRIO

(Diretor; Engenheiro de Processos; Gerente de Produção; Mantenedor; Operador; Supervisor de Manutenção; Supervisor de Produção; Supervisor de Qualidade)

Impacto da Manutenção Autônoma na OEE e os fatores críticos para a sua implantação**1) Dados do entrevistado:**

1.1- Nome: _____

1.2- Cargo: _____

1.3- Tempo no cargo: _____

2) Você sabe qual é a máquina modelo onde está sendo (ou foi) implementada a Manutenção Autônoma?

Sim

Não

- Caso tenha respondido "não" para a questão anterior - pule as questões 3, 4 e 5 - e responda à questão 6.
- Caso tenha respondido "sim" para a questão anterior, passe para a questão 3.

3) Você tem conhecimento do nível de impacto (se alto, médio, baixo ou nenhum) da Manutenção Autônoma no melhoramento do índice de disponibilidade do OEE da máquina modelo? Assinale uma única alternativa.

Sim

Não

Este índice não é aplicável à máquina modelo

4) Você tem conhecimento do nível de impacto (se alto, médio, baixo ou nenhum) da manutenção autônoma no melhoramento do índice de performance do OEE da máquina modelo? Assinale uma única alternativa.

Sim

Não

Este índice não é aplicável à máquina modelo

A3) Questionário aplicado aos Demais Cargos - Página 2 de 2

5) Você tem conhecimento do nível de impacto (se alto, médio, baixo ou nenhum) da manutenção autônoma no melhoramento do **índice de qualidade** do OEE da **máquina modelo**? Assinale uma única alternativa.

- Sim
- Não
- Este índice não é aplicável à máquina modelo

6) Em sua opinião, qual o impacto dos fatores elencados para uma implantação bem sucedida da manutenção autônoma em uma máquina modelo? Antes do preenchimento, veja no fim deste questionário detalhes sobre cada fator.

Atribuir pontuações da seguinte forma:

- 9 – Alto impacto (atribuir **"9 pontos"** para apenas dois fatores dos dez listados)
- 3 – Médio impacto (atribuir **"3 pontos"** para apenas três fatores dos oito restantes)
- 1 – Baixo (ou nenhum) (atribuir **"1 ponto"** para os seis fatores restantes)

Fatores:

- Apoio da consultoria
- Apoio da coordenação do programa
- Apoio da diretoria
- Apoio da gerência
- Apoio da supervisão
- Disponibilidade de orçamento
- Disponibilidade de tempo para execução das atividades
- Experiência em gestão do líder da equipe de manutenção autônoma
- Motivação da equipe da máquina
- Qualificação técnica do líder da equipe de manutenção autônoma
- Outro (especificar): _____

APÊNDICE B – CARTAS ENVIADAS AOS PARTICIPANTES DA PESQUISA

B1) Carta convite

Prezado(a) Senhor(a)

Vimos por meio deste convidá-lo(a) a participar de um levantamento de dados para uma pesquisa sobre aplicação da Manutenção Autônoma em empresas, realizada pela Universidade Estadual de Londrina, por meio do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica.

A pesquisa objetiva identificar os principais fatores críticos para o sucesso da implantação da Manutenção Autônoma na empresa, bem como a percepção dos entrevistados sobre os impactos da Manutenção Autônoma na melhoria da OEE dos equipamentos.

O levantamento será realizado por meio de um questionário (em anexo) composto por 8 questões. Se a empresa possuir mais de uma unidade, é necessário que as respostas se refiram a apenas uma das unidades, uma vez que esta será considerada como amostragem, e esse fato será relatado na ocasião da divulgação dos resultados (as empresas e os participantes não serão citados nominalmente).

A síntese dos resultados será disponibilizada caso o senhor(a) deseje recebê-la, bastando para isso informar-nos juntamente do retorno do questionário por e-mail. Salientamos que os dados individuais de cada empresa e participante serão mantidos em sigilo. Caso o senhor(a) decida pela não participação, solicitamos por gentileza devolver o questionário, mesmo que em branco.

Colocamo-nos à disposição para esclarecer quaisquer dúvidas pelo telefone 043-9.9188-6696 ou através do e-mail adriano.kulpa@hotmail.com.

Desde já agradecemos a sua colaboração.

Atenciosamente.

Adriano Kulpa (mestrando)

Prof. Dr. Leonimer Flávio de Melo (orientador)

Universidade Estadual de Londrina – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

B2) Carta de acompanhamento para questionários em atraso

Prezado(a) Senhor(a)

Há três semanas foi-lhe enviado um questionário intitulado "Impacto da Manutenção Autônoma no OEE e os fatores críticos para a sua implantação", com o objetivo de levantar dados para uma pesquisa sobre aplicação da Manutenção Autônoma em empresas, realizada pela Universidade Estadual de Londrina, por meio do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica.

Como não houve o retorno deste questionário por e-mail, vimos por meio deste afirmar que a sua participação é muito importante para a nossa pesquisa, mesmo que eventualmente a sua empresa não possua Manutenção Autônoma nos equipamentos. Solicitamos, por gentileza, que nos devolva o questionário mesmo que em branco via e-mail.

Colocamo-nos à disposição para esclarecer quaisquer dúvidas pelo telefone 043-9.9188-6696 ou através do e-mail adriano.kulpa@hotmail.com.

Desde já agradecemos a sua colaboração.

Atenciosamente.

Adriano Kulpa (mestrando)

Prof. Dr. Leonimer Flávio de Melo (orientador)

Universidade Estadual de Londrina – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

APÊNDICE C – TEMPO NO CARGO (DADOS)

TEMPO NO CARGO DOS ENTREVISTADOS POR EMPRESA (ANOS)

Empresa	DI	EP	GM	GP	MA	OP	SM	SP	SQ
1	27,0	2,3	4,5	5,0	2,0	4,0	1,5	8,0	6,0
2	3,0	8,0	8,5	13,0	21,0	4,0	2,0	9,0	2,0
3	5,0	5,0	9,6	15,0	12,0	2,0	1,2	7,0	12,0
4	3,5	1,0	11,0	6,0	5,0	3,0	4,0	2,0	1,8
5	1,5	14,0	9,7	1,5	11,0	7,1	4,0	8,0	1,3
6	5,0	0,3	19,0	2,0	3,0	9,0	3,5	3,0	1,0
7	2,0	1,0	4,0	4,0	13,5	7,0	11,0	1,0	3,0
8	9,0	7,0	0,5	10,0	1,7	12,0	0,9	11,0	4,0
9	6,9	1,3	6,0	8,0	16,0	28,0	15,0	21,0	28,0
10	9,0	3,2	0,7	5,5	10,0	2,0	10,0	5,0	0,5
11	2,0	8,0	0,5	2,0	2,3	0,8	12,0	3,0	15,0
12	8,0	6,0	5,0	0,1	20,0	6,0	3,3	1,0	5,0
13	4,0	3,0	4,1	2,0	26,0	9,0	11,0	1,4	2,2
14	8,0	2,9	12,0	5,0	15,0	10,0	3,0	6,0	0,5

MEDIDAS DE POSIÇÃO E DISPERSÃO POR CARGO (ANOS)

	DI	EP	GM	GP	MA	OP	SM	SP	SQ
Mínimo	1,5	0,3	0,5	0,1	1,7	0,8	0,9	1	0,5
Média	6,7	4,5	6,8	5,7	11,3	7,4	5,9	6,2	5,9
Máximo	27	14	19	15	26	28	15	21	28
Desvio Padrão	6,4	3,8	5,2	4,5	7,8	6,8	4,8	5,4	7,7

DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO NO CARGO POR PERÍODO (OCORRÊNCIAS)

Faixa de tempo no cargo (anos)	DI	EP	GM	GP	MA	OP	SM	SP	SQ
< 2	1	4	3	2	1	1	3	3	5
2 a 5	7	5	4	6	4	5	6	4	5
5,1 a 10	5	4	4	4	1	6	1	5	1
10,1 a 15	0	1	2	2	4	1	4	1	2
> 15	1	0	1	0	4	1	0	1	1

LEGENDA:

DI (diretor); EP (engenheiro de processo); GM (gestor de melhoria contínua); GP (gerente de produção); MA (mantenedor); OP (operador); SM (supervisor de manutenção); SP (supervisor de produção); SQ (supervisor de qualidade).

APÊNDICE D – MÁQUINAS MODELO (DADOS)

DADOS SOBRE AS MÁQUINAS MODELOS

Empresa	Estado	Ano de Instalação	Ano de início da MA	Etapa da Manutenção Autônoma Implementada															
				0	1	2	3	4	5	6	7								
1	Paraná	2014	2017			1													
2	Paraná	2015	2019		1														
3	Paraná	1999	2008											1					
4	Paraná	1997	2008										1						
5	Paraná	2007	2007										1						
6	São Paulo	2001	2005										1						
7	Paraná	2010	2019		1														
8	Rio Grande do Sul	2009	2012										1						
9	Paraná	1998	2003												1				
10	Paraná	1998	1999																1
11	Goiás	2011	2015										1						
12	Rio de Janeiro	1997	2014									1							
13	São Paulo	1977	2018																
14	Minas Gerais	1998	2008																1

CONHECIMENTO DA MÁQUINA MODELO POR ENTREVISTADO

Empresa	DI		EP		GM		GP		MA		OP		SM		SP		SQ		TOTAL	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
1	1		1		1		1		1		1		1		1		1		9	0
2	1		1		1		1		1		1		1		1		1		9	0
3	1		1		1		1		1		1		1		1		1		9	0
4	1		1		1		1		1		1	1	1	1			1		6	3
5	1		1		1		1		1		1		1				1		8	1
6	1		1		1		1		1		1		1				1		8	1
7	1		1		1		1		1		1		1				1		9	0
8	1		1		1		1		1		1		1				1		8	1
9	1			1	1		1		1		1		1				1		8	1
10	1		1		1		1		1		1		1				1		9	0
11	1			1	1		1		1		1		1					1	7	2
12	1		1		1		1		1		1		1				1		9	0
13	1		1		1		1		1		1		1				1		9	0
14	1		1		1		1		1		1		1				1		9	0
TOTAL	14	0	12	2	14	0	14	0	14	0	13	1	13	1	14	0	9	5	117	9

LEGENDA:

DI (diretor); EP (engenheiro de processo); GM (gestor de melhoria contínua); GP (gerente de produção); MA (mantenedor); OP (operador); SM (supervisor de manutenção); SP (supervisor de produção); SQ (supervisor de qualidade).

APÊNDICE E – PROGRAMAS DE MELHORIA CONTÍNUA (DADOS)

PROGRAMAS DE MELHORIA CONTÍNUA

Empresa		Tipo de programa					Ano de início	Pilar de MA		Número de equipamentos com MA
Código	Segmento	6 Sigma	Lean	TPM	WCM	Outro		Sim	Não	
1	Moveleiro				1		2016	1		4
2	Embalagem				1		2019		1	3
3	Automotivo				1		2007	1		53
4	Moveleiro				1		2007	1		11
5	Papel e Celulose			1			2002	1		45
6	Cosmético			1			2005	1		50
7	Moveleiro				1		2018	1		1
8	Bem de capital		1				2002	1		25
9	Embalagem				1		2003	1		12
10	Embalagem				1		1999	1		14
11	Higiene e limpeza			1			2015	1		9
12	Lubrificante			1			2013	1		3
13	Papel e celulose				1		2017	1		9
14	Bem de capital				1		2007	1		70
Total		0	1	4	9	0		13	1	309

APÊNDICE F – IMPACTO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA NA OEEs (DADOS)

IMPACTO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA NA OEE

Impacto da Manutenção Autônoma no índice de...	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5	Empresa 6	Empresa 7	Empresa 8	Empresa 9	Empresa 10	Empresa 11	Empresa 12	Empresa 13	Empresa 14
	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 5	Etapa 4	Etapa 4	Etapa 4	Etapa 1	Etapa 3	Etapa 5	Etapa 7	Etapa 3	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 7
> 20 pp														
15,1 a 20 pp								1		1				
10,1 a 15 pp	1		1	1		1								1
5,1 a 10 pp									1			1		
0,1 a 5 pp		1			1		1						1	
Nenhum											1			
Não utilizado														
> 20 pp														
15,1 a 20 pp								1						
10,1 a 15 pp				1									1	1
5,1 a 10 pp					1					1				1
0,1 a 5 pp						1	1		1		1			
Nenhum		1												
Não utilizado	1													
> 20 pp														
15,1 a 20 pp														
10,1 a 15 pp														
5,1 a 10 pp	1	1	1		1		1				1		1	1
0,1 a 5 pp														
Nenhum														
Não utilizado														
> 20 pp														
15,1 a 20 pp														
10,1 a 15 pp										1				
5,1 a 10 pp	1	1	1		1		1				1		1	1
0,1 a 5 pp														
Nenhum														
Não utilizado													1	
Etapa Implantada da MIA	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 5	Etapa 4	Etapa 4	Etapa 4	Etapa 1	Etapa 3	Etapa 5	Etapa 7	Etapa 3	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 7

G4) Dados por origem da empresa (multinacional ou nacional)

Fatores críticos de sucesso para implantação da Manutenção Autônoma em uma máquina	Sigla	NACIONAL										MULTINACIONAL										TOTAL GERAL									
		DI	EP	GM	GP	IMA	OP	SMI	SP	SQ	Σ	DI	EP	GM	GP	IMA	OP	SMI	SP	SQ	Σ	DI	EP	GM	GP	IMA	OP	SMI	SP	SQ	Σ
Apoio da consultoria	AC	3,5	1,8	2,3	1,8	4	3,3	3,3	3,5	2,8	2,6	1,3	1,7	1,7	1,7	3	1,7	3,7	3	1,9	5	3	4	3	6	6	5	7	6	45	
Apoio da coordenação do programa	AP	3,5	3,5	2	2,3	2,8	3,5	2,5	3,3	2,5	2,6	4,3	4	4,3	1,7	3,7	2	4	3,7	4,3	3,2	8	8	6	4	6	6	7	7	7	58
Apoio da diretoria	AD	7,5	3,3	4,5	5	4,8	4,5	5,3	6,3	4,6	5,7	3,3	5,7	4,3	3,3	5,3	8	5,3	4	4,5	4,5	13	7	10	9	8	10	13	11	10	91
Apoio da gerência	AG	6,5	4,5	5,3	5	4,3	3,8	4	5,8	4,5	4,4	2,7	3	4	4,7	2,3	3,7	6,3	1,3	3,7	3,2	9	8	9	10	7	7	10	7	8	75
Apoio da supervisão	AS	3,3	2,8	5,8	4,8	2,5	3	3,8	3,8	3	3,3	2,3	5	3,3	5,7	3,3	4,3	2	5	2	3,3	6	8	9	10	6	7	6	9	5	66
Disponibilidade de orçamento	DO	1,3	2,3	1,3	1,5	1,8	3,3	2,8	1,8	3,5	1,9	1,7	2,7	1,3	2,7	2,7	1,7	1,7	3,7	2,1	3	5	3	4	4	6	4	3	7	40	
Disponibilidade de tempo para execução das atividades	DT	1	2	2,5	2,8	1,8	2,8	4,8	1,8	3	2,2	3	2	2,7	3	4,3	2,3	1,3	2,3	1,7	2,3	4	4	5	6	6	5	6	4	5	45
Experiência em gestão do líder da equipe de MA	EG	2	2	1,3	1,3	2,8	3,3	1,5	2,3	1,3	1,8	2,7	3	1,7	2,7	2	1,3	1,7	2	2	1,9	5	5	3	4	5	5	3	4	3	37
Motivação da equipe da máquina	ME	2	6,5	4	5,5	5,5	2	3	3,8	1,8	3,4	6	5,7	5,7	4	5,3	5,7	4	5,7	4	4,6	8	12	10	10	11	8	7	9	6	80
Qualificação técnica do líder da equipe de MA	QT	1,5	3,5	2	2,3	1,8	2,3	1,3	1	3,5	1,9	2,3	1,7	1,7	1,3	3	1,7	1	1,3	3,7	1,8	4	5	4	4	5	4	2	2	7	37
Outros	OU	0	0,4	1,4	0	0,1	0,5	0,3	0,1	0	3	0,2	0,2	0	0,5	0,7	0	0,7	0	0	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	5
OUTROS																															
Apoio da manutenção	-	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Integração com outros pilares TPM	-	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Capacitação em manutenção	-	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Atividades de MA tornarem-se rotina na máquina	-	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Motivação da gestão da área	-	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1,1	
Escolha da máquina / local para aplicar	-	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Manutenção preventiva de melhor qualidade	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	
Treinamento da equipe	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,5	
Investimento em treinamento	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	
Alinhamento com a estratégia da empresa	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	
Qualificação técnica do nível operacional	-	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Percepção do alcance dos objetivos	-	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Recompensa	-	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	
Infraestrutura	-	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Aplicação de 5s antes de se iniciar a etapa 1 de MA	-	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
Intransigência de alguns setores ou lideranças	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	
Disciplina para a execução	-	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	1,0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,1	

Legenda:

DI (diretor); EP (engenheiro de processos); GM (gestor do programa de melhoria contínua); GP (gerente de produção); MA (mantenedor); OP (operador); SM (supervisor de manutenção); SP (supervisor de produção); SQ (supervisor de qualidade).

APÊNDICE H – RELATÓRIOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA

H1) Análise de variância de fator único dos *clusters* dos segmentos industriais em relação ao impacto da Manutenção Autônoma no OEE da máquina modelo

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Impacto_Disponibilidade	Between Groups	7,952	3	2,651	7,992	,036
	Within Groups	1,327	4	,332		
	Total	9,279	7			
Impacto_Performance	Between Groups	3,875	3	1,292	3,066	,154
	Within Groups	1,685	4	,421		
	Total	5,560	7			
Impacto_Qualidade	Between Groups	4,477	3	1,492	13,216	,015
	Within Groups	,452	4	,113		
	Total	4,929	7			

H2) Análise de variância de fator único dos *clusters* dos cargos em relação aos fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
AC	Between Groups	355,000	3	118,333	1,915	,245
	Within Groups	309,000	5	61,800		
	Total	664,000	8			
AP	Between Groups	222,558	3	74,185	1,565	,308
	Within Groups	237,000	5	47,400		
	Total	459,558	8			
AD	Between Groups	1035,889	3	345,298	3,811	,092
	Within Groups	453,000	5	90,600		
	Total	1488,889	8			
AG	Between Groups	287,558	3	89,185	1,593	,302
	Within Groups	280,000	5	56,000		
	Total	547,558	8			
AS	Between Groups	958,889	3	319,630	4,728	,064
	Within Groups	338,000	5	67,600		
	Total	1296,889	8			
DO	Between Groups	499,889	3	166,630	2,443	,179
	Within Groups	341,000	5	68,200		
	Total	840,889	8			
DT	Between Groups	24,889	3	8,298	,126	,940
	Within Groups	328,000	5	65,600		
	Total	352,889	8			
EG	Between Groups	166,558	3	55,519	2,748	,152
	Within Groups	101,000	5	20,200		
	Total	267,558	8			
ME	Between Groups	1625,889	3	541,963	13,091	,008
	Within Groups	207,000	5	41,400		
	Total	1832,889	8			
QT	Between Groups	755,000	3	251,667	8,924	,019
	Within Groups	141,000	5	28,200		
	Total	896,000	8			
OU	Between Groups	38,389	3	12,798	1,267	,380
	Within Groups	50,500	5	10,100		
	Total	88,889	8			

H3) Análise de variância de fator único dos *clusters* dos segmentos industriais em relação aos fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
AC	Between Groups	26,042	1	26,042	,210	,663
	Within Groups	742,833	6	123,806		
	Total	768,875	7			
AP	Between Groups	15,042	1	15,042	,312	,566
	Within Groups	288,833	6	48,139		
	Total	303,875	7			
AD	Between Groups	486,000	1	486,000	4,405	,081
	Within Groups	662,000	6	110,333		
	Total	1148,000	7			
AG	Between Groups	10,667	1	10,667	,119	,742
	Within Groups	537,333	6	89,556		
	Total	548,000	7			
AS	Between Groups	504,167	1	504,167	5,351	,060
	Within Groups	565,333	6	94,222		
	Total	1069,500	7			
DO	Between Groups	181,500	1	181,500	4,125	,089
	Within Groups	264,000	6	44,000		
	Total	445,500	7			
DT	Between Groups	32,667	1	32,667	1,539	,261
	Within Groups	127,333	6	21,222		
	Total	160,000	7			
EG	Between Groups	70,042	1	70,042	2,646	,155
	Within Groups	158,833	6	26,472		
	Total	228,875	7			
ME	Between Groups	513,375	1	513,375	7,041	,038
	Within Groups	437,500	6	72,917		
	Total	950,875	7			
QT	Between Groups	145,042	1	145,042	3,941	,094
	Within Groups	220,833	6	36,806		
	Total	365,875	7			
OU	Between Groups	,167	1	,167	,024	,881
	Within Groups	41,333	6	6,889		
	Total	41,500	7			

H4) Análise de variância de fator único dos *clusters* dos tipos de programa de melhoria contínua em relação aos fatores críticos de sucesso para a implantação da Manutenção Autônoma em uma máquina modelo

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
AC	Between Groups	15,042	1	15,042	13,370	,170
	Within Groups	1,125	1	1,125		
	Total	16,167	2			
AP	Between Groups	173,882	1	173,882	709,721	,024
	Within Groups	,245	1	,245		
	Total	174,127	2			
AD	Between Groups	355,740	1	355,740	18,509	,145
	Within Groups	19,220	1	19,220		
	Total	374,960	2			
AG	Between Groups	506,002	1	506,002	1249,387	,018
	Within Groups	,405	1	,405		
	Total	506,407	2			
AS	Between Groups	18,727	1	18,727	,648	,568
	Within Groups	28,880	1	28,880		
	Total	47,607	2			
DO	Between Groups	70,727	1	70,727	24,558	,127
	Within Groups	2,880	1	2,880		
	Total	73,607	2			
DT	Between Groups	2,535	1	2,535	1,150	,478
	Within Groups	2,205	1	2,205		
	Total	4,740	2			
EG	Between Groups	214,802	1	214,802	530,374	,028
	Within Groups	,405	1	,405		
	Total	215,207	2			
ME	Between Groups	8,402	1	8,402	,269	,695
	Within Groups	31,205	1	31,205		
	Total	39,607	2			
QT	Between Groups	12,042	1	12,042	1,966	,394
	Within Groups	6,125	1	6,125		
	Total	18,167	2			
OU	Between Groups	1,127	1	1,127	,880	,520
	Within Groups	1,280	1	1,280		
	Total	2,407	2			