

**Universidade Nove de Julho
Programa de Doutorado e Mestrado em Engenharia de Produção**

ADRIANO DE ALMEIDA BENASSI

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMBINADA COM A METODOLOGIA LEAN SEIS
SIGMA PARA MELHORIA DE PROCESSOS**

São Paulo

2023

ADRIANO DE ALMEIDA BENASSI

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMBINADA COM A METODOLOGIA LEAN SEIS
SIGMA PARA MELHORIA DE PROCESSOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. André F. H. Librantz

**São Paulo
2023**

Benassi, Adriano de Almeida.

Modelagem e simulação combinada com a metodologia lean seis sigma para melhoria de processos. / Adriano de Almeida Benassi. 2023.

158 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2023.

Orientador (a): Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz.



PARECER – EXAME DE DEFESA

Parecer da Comissão Examinadora designada para o exame de defesa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção a qual se submeteu o aluno Adriano de Almeida Benassi.

Tendo examinado o trabalho apresentado para obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Produção", com Dissertação intitulada "MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMBINADA COM A METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA PARA MELHORIA DE PROCESSOS", a Comissão Examinadora considerou o trabalho:

☒ Aprovado

☐ Aprovado condicionalmente

☐ Reprovado com direito a novo exame

☐ Reprovado

EXAMINADORES

Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz - Uninove (Orientador)

Prof. Dr. Fábio Cosme Rodrigues dos Santos – UnicSul/Sabesp (Membro Externo)

Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto – UNINOVE (Membro Interno)

São Paulo, 27 de fevereiro de 2023

*“O mercado nunca é saturado com um produto bom,
mas é rapidamente saturado com um produto ruim”.*

(Henry Ford)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, tenho que agradecer à Deus, pela saúde e a oportunidade me dada, ao permitir que pudesse desempenhar e desenvolver todas as atividades necessárias desta dissertação. Sendo esta, uma importante etapa, em minha vida e sei que certamente sem Ele, jamais conseguiria.

À minha querida esposa Poliana Benassi, que defino como um exemplo de persistência, força, fé e coragem, que são valores raros, nos dias atuais e aos meus filhos, Nicolas e Arthur, vocês são o real motivo, para que eu busque ser uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus familiares, pela compreensão, da necessidade de todo tempo, esforço e dedicação necessárias, por me motivarem e apoiarem ao longo de toda a minha vida e ajudarem-me a crescer e ajudar a me tornar a ser, quem sou hoje.

Por sempre terem colocado a minha educação no topo das prioridades, para que pudéssemos obter melhores oportunidades e alcançarmos os nossos sonhos.

Meus sinceros agradecimentos, ao meu orientador, Professor e Doutor André Felipe Henriques Librantz, pela atenção, cuidado, confiança, paciência e altíssimo grau de profissionalismo, que foram dispensados a mim, durante os momentos da minha orientação, pela excelente pessoa e bem como pela sua brilhante e notável inteligência.

Agradeço aos Professores e Doutores, Fábio Cosme Rodrigues dos Santos e Luiz Fernando Rodrigues Pinto, pelas observações, contribuições e dicas pontuais, que com toda certeza, fizeram toda a diferença.

Meus agradecimentos a Universidade Nove de Julho, pela oportunidade me dada e assim alcançar e concluir mais uma etapa em minha vida acadêmica.

Aos colegas de classe e orientados, Winston, Carlos, Erika e Eduardo, pela parceria, troca de conhecimento, ajuda e contribuição a mim prestada.

Aos meus gestores Marcelo Rossoni, Marcos dos Santos, Tadeu Oaks e Rafael Rocha, por todos os desafios colocados ao longo da minha estadia, na empresa.

À Professora Marilda Fatima de Souza da Silva, pelo incentivo, ajuda e motivação me dada e ao Professor Paulo Gnidarxic, pela minha indicação.

Ao time de Engenharia de Processos, representadas pelos amigos, Cleber Chiqueti e Robson dos Reis, pela minha cobertura na empresa, nos dias pelo qual, foi necessário da minha parte, me ausentar, em função das atividades acadêmicas.

E a todos os meus amigos, que direta ou indiretamente, me deram todo o suporte, pelo apoio ao longo da vida, carreira profissional e por me ajudarem a manter o espírito positivo em todos os momentos difíceis.

RESUMO

Esta dissertação apresenta um modelo para implementação de melhoria de processos na área industrial a fim de obter melhores resultados, redução de desperdícios, melhoria da qualidade e eficiência operacional, com monitoramento e controle dos principais indicadores da manufatura. Como objetivo, busca-se, a partir de uma breve fundamentação teórica, apresentar os conceitos, métodos, procedimentos das etapas e ferramentas da qualidade e estatísticas propostas no Lean Seis Sigma, combinado com as técnicas de Modelagem e Simulação, como um sistema integrado no método *Modeling and Simulation Lean Six Sigma*. É proposto um *framework*, definindo as etapas metodológicas e os passos de um roteiro para aplicação do *Modeling and Simulation Lean Six Sigma*. Posteriormente, são apresentados resultados de trabalhos de melhoria de processos, ambos aplicados e implementados numa indústria multinacional no segmento de autopeças, com uso da metodologia Lean Seis Sigma puro e posteriormente, com uso do método proposto *Modeling and Simulation Lean Six Sigma*, numa pesquisa-ação, comparando os resultados operacionais, vantagens e benefícios que a prática, de forma combinada, pode oferecer aos gestores. Por fim, apresentou-se uma breve discussão, que comprova que usar o Lean Seis Sigma com Modelagem e Simulação, pode trazer vantagens e benefícios, quando comparado, ao método tradicional, que faz uso do Lean Seis Sigma puro.

Palavras-chaves: Modelagem e Simulação, Lean Seis Sigma, Melhoria de processos.

ABSTRACT

This dissertation presents a model for implementing process improvement in the industrial area in order to obtain better results, reduce waste, improve quality and operational efficiency, with monitoring and control of the main manufacturing indicators. As an objective, this dissertation seeks, from a brief theoretical foundation, to present the concepts, methods, procedures of the stages and quality tools and statistics proposed in Lean Six Sigma, combined with the Modeling and Simulation techniques, as an integrated system in the Modeling and Simulation Lean Six Sigma method. A framework is proposed, defining the methodological stages and steps of a roadmap for the application of Modeling and Simulation Lean Six Sigma. Subsequently, results of work on process improvement are presented, both applied and implemented in a multinational industry in the auto parts segment, using pure Lean Six Sigma methodology and later, using the proposed method Modeling and Simulation Lean Six Sigma, in a research- action, comparing the operating results, advantages and benefits that the practice, in combination, can offer Managers. Finally, a brief discussion was presented, which proves that using Lean Six Sigma with Modeling and Simulation can bring advantages and benefits when compared to the traditional method, which makes use of pure Lean Six Sigma.

Keywords: Modeling and Simulation, Lean Six Sigma, Process Improvement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Número de artigos por ano	25
Figura 2- Segmentos que abordam o tema de pesquisa.....	26
Figura 3- Natureza da pesquisa	26
Figura 4- Fluxograma de Modelagem para tomada de decisão	39
Figura 5- Etapas da Modelagem e Simulação.....	39
Figura 6- A métrica do SS	42
<i>Figura 7- Etapas da Metodologia DMAIC</i>	<i>43</i>
Figura 8- Sistema integrado LSS	46
Figura 9- Metodologias combinadas para Melhoria dos Processos	47
Figura 10- Modelo de relatório A3	51
Figura 11- Esquemática CIA dentro da Metodologia DMAIC	56
Figura 12- Estrutura lógica para aplicação do M&SLSS	59
Figura 13- Roteiro para aplicação do M&SLSS.....	60
Figura 14-Modelo matemático para apoio a Produção e auxílio na tomada de decisão.....	63
Figura 15- Modelo matemático do bloco de Capabilidade	64
Figura 16-Modelo matemático dos Indicadores Operacionais.....	67
Figura 17- Modelo matemático dos Indicadores de Manutenção.....	69
Figura 18- Modelo matemático dos Indicadores de PPCP	70
Figura 19- Fluxograma das etapas para aplicação do M&SLSS	73
Figura 20- Fluxograma do processo de fabricação de Molas lâmina	78
Figura 21- Suspensão veicular e o componente Feixe de mola.....	81
Figura 22- Exemplo de um Feixe Parabólico.....	82
Figura 23- Abastecimento de barras chatas.....	84
Figura 24- Abastecimento de barras chatas.....	84
Figura 25-Operação de corte de barras	85
Figura 26-Operação de forjar olhete	86
Figura 27- Máquina de laminação parabólica.....	87
Figura 28-Operação de furar centro a quente na ferramenta auto-centrante	88

Figura 29- Mola arqueada e mergulhada em óleo.....	89
Figura 30- Processo de shot peening.....	90
Figura 31- Processo de <i>Stress shot peening</i>	91
Figura 32- Processo de usinagem.....	92
Figura 33- Processo de embuchamento	93
Figura 34- Emblemagem após pintura	94
Figura 35- Fixação das lâminas	95
Figura 36- Controle de torque	95
Figura 37- Prensa para controle sob carga no feixe de mola.....	96
Figura 38- Exemplo de Embalagem de feixes de mola	97
Figura 39- Dispositivo de medição de semi-comprimento reto e comprimento total reto	98
Figura 40- Etapas de pesquisa Metodológica	101
Figura 41- Idade dos Participantes.....	106
Figura 42- Tempo de Experiência na função	107
Figura 43- Nível de formação Seis Sigma.....	107
Figura 44- Formação Acadêmica	108
Figura 45- Relatório A3 numa aplicação com LSS puro.....	110
Figura 46- Folha de Verificação para análise inicial da situação.....	111
Figura 47- Gráfico de Pareto das principais causas de paradas Processo Forjar Olhete.....	112
Figura 48- Pareto de máquina Olheteira 76 1º Quinzena Abril/2022.....	113
Figura 49- Pareto da falha decorrente das Mangueiras 1º Quinzena Abril/2022.....	114
Figura 50- Pareto de máquina Olheteira 76 2º Quinzena Abril/2022.....	115
Figura 51- Pareto da falha decorrente da Garra 2º Quinzena Abril/2022	115
Figura 52-MTBF da Olheteira 1º Quinzena Abril/22	116
Figura 53- MTTR da Olheteira 1º Quinzena Abril/22.....	116
Figura 54- MTBF da Olheteira 2º Quinzena Abril/22	117
Figura 55- MTTR da Olheteira 2º Quinzena Abril/22.....	117
Figura 56- Diagrama de Ishikawa “Baixa produtividade na Olheteira”	118
Figura 57-5 Porquês das causas reais.....	119

Figura 58-Plano de ação para melhoria da produtividade na fabricação de Feixes de mola da família MBA	120
Figura 59- Relatório A3 numa aplicação com M&SLSS	122
Figura 60-Gráfico de Barras Análise da Situação inicial Ref. Julho/22	123
Figura 61- Simulador de resultados operacionais ref. Julho/22.....	124
Figura 62- Indicadores fora da meta demonstrados no Simulador ref. Julho/22	125
Figura 63- Cronoanálise das atividades para medição e controle da característica de semi-comprimento	127
Figura 64- Resultados da Simulação de demanda de tempo real versus computacional	128
Figura 65- Representação gráfica resultados de semi-comprimento ref. Julho/22..	129
Figura 66- Classificação dos dados com Input Analyzer ref. Julho/22	129
Figura 67- Pareto das causas da baixa produtividade célula Forjar Olhete ref. Julho/22.....	130
Figura 68- Gráfico de colunas do tempo e setup ref. Julho/22	131
Figura 69- Pareto de máquina Olheteira 76 Julho/2022-2º quinzena	132
Figura 70- Pareto do forno da Olheteira 76 ref. Julho/2022-2º quinzena	132
Figura 71-MTBF Confiabilidade ref. Julho/2022-2º quinzena	133
Figura 72-MTTR Manutenibilidade ref. Julho/22	133
Figura 73- 5W2H Direcionado ref. Outubro/22	134
Figura 74- Monitoramento do tempo médio de Setup mês	135
Figura 75-Monitoramento do tempo de parada por Manutenção	136
Figura 76-Gráfico de Barras dos resultados em feixes/mês.....	137
Figura 77- Fluxograma antes do Processo Forjar Olhete.....	140
Figura 78- Fluxograma depois do processo Forjar Olhete	140
Figura 79- Resultado em função das respostas quanto a usabilidade do método ..	141
Figura 80- Resultado em função das respostas quanto a facilidade na aplicação do método	142
Figura 81- Resultado em função das respostas quanto a aceitação do método.....	143

Figura 82- Resultado quanto a concordância para utilização do framework proposto como método de resolução de problemas e consecutivamente melhorar os processos	143
Figura 83- Resultado em função das respostas quanto a recomendação dos especialistas.....	144

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Combinação/conjunto de palavras-chaves utilizados na primeira seleção	23
Quadro 2- Combinação/conjunto de palavras-chaves utilizados na segunda seleção	23
Quadro 3- Relação de artigos considerados na revisão sistemática quanto ao uso das Ferramentas ou Técnicas aplicadas	36
Quadro 4- Correlação do nível sigma do processo com índice Cpk.....	42
Quadro 5- Os pontos fortes do Seis Sigma e do Lean Manufacturing	45
Quadro 6- Correlação de ferramentas aplicáveis por Metodologia	76
Quadro 7- SIPOC do processo de fabricação de Molas lâmina	79
Quadro 8- Tempo de setup médio ref. Abril/22	112
Quadro 9- Folha de Verificação para confirmação das causas potenciais versus reais	118
Quadro 10- Monitoramento dos resultados após implementação do LSS puro	120
Quadro 11- Correlação do tamanho da população com margem de erro desejada	126
Quadro 12- Mapeamento do tempo e setup ref. Julho/22	131
Quadro 13-Resultados mensais de produção na Montagem	137
Quadro 14-Comparação dos resultados em função dos métodos aplicados	138
Quadro 15- Composição do custo do feixe de mola.....	145
Quadro 16-Ganho financeiro em decorrência dos trabalhos de melhoria implementados por período.....	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIA	Concepção, Implementação e Análise
DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades
FEPSC	Fornecedores, Entradas, Processos, Saídas e Clientes
GBO	Gráfico de balanceamento de operações
GUT	Gravidade, Urgência e Tendência
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
M&SLSS	<i>Modeling and Simulation Lean Six Sigma</i>
MTBF	<i>Mean time between failure</i>
MTTR	<i>Mean time to repair</i>
MVF	Mapeamento do Fluxo de Valor
POP	Procedimento Operacional Padrão
PPCP	Planejamento, Programação, Controle e Produção
PPM	Concentração em partes por milhão
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output and Customer</i>
SMED	<i>Setup</i> externo
SP	Shot Peening
SS	Seis Sigma
SSP	<i>Stress, Shot, Peening</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 JUSTIFICATIVA	20
2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA	22
3 REVISÃO TEÓRICA	38
3.1 Modelagem e Simulação (<i>Modelling and Simulation</i>)	38
3.3 Seis Sigma	41
3.4 Metodologia Seis Sigma	43
3.5 Integração Lean Seis Sigma	44
3.6 Sistema de manufatura enxuta	45
3.7 Técnicas e ferramentas do Lean Seis Sigma	45
3.8 Melhoria de Processos	46
3.9 Os 8 Desperdícios do Lean Manufacturing	47
3.9.1 Superprodução	47
3.9.2 Movimentação de material	48
3.9.3 Estoque	48
3.9.4 Movimentação de pessoas	48
3.9.5 Processamento	49
3.9.6 Espera	49
3.9.7 Defeitos	50
3.9.8 Intelectual	50
3.10 O padrão de relatório A3	51

3.10.1 Campos básicos de composição do relatório A3:	52
4. O MÉTODO M&SLSS APLICADO À MELHORIA DE PROCESSOS	56
5 O PROCESSO DE PRODUÇÃO	77
5.1 Objeto do estudo	77
5.2 Mapeamento do processo de fabricação de molas lâminas.....	77
5.3 O Produto Feixe de mola.....	80
5.4 O Material da Mola	82
5.5 O Processo de Fabricação de Feixe de molas.....	83
5.5.1 O Processo de Forjaria.....	83
5.5.2 O processo de recebimento da Matéria Prima	83
5.5.3 A operação de cortar barras no comprimento total	85
5.5.4 Operações de Forjar Olhete	86
5.5.6 Operação de laminação Parabólica	87
5.5.7 Operação de Furação de centro.....	88
5.5.8 O Processo de tratamento térmico para Feixe de Molas	88
5.5.9 Processos de Acabamento e Montagem.....	89
5.6 Processo de Jateamento das Lâminas	90
5.6.1 Processo de Usinagem e Embuchamento de Olhetes	91
5.6.2 O Processo de Pintura e Emblemagem para Lâminas e Feixes de Molas.....	93
5.6.3 Montagem do Feixe de Molas	94
5.6.4 Aplicação de pré-carga e verificação de Carga do Feixe de Mola	96
5.6.5 Embalagem Final	97
5.6.6 Característica significativa de controle de distância entre Centros e Semi-comprimento.....	97
6 METODOLOGIA	99

6.1 Fase exploratória:	102
6.2 Fase explicativa:	103
6.3 Fase final:.....	105
7 RESULTADOS.....	109
8 DISCUSSÃO	147
9 CONCLUSÃO	149
REFERÊNCIAS.....	151
APÊNDICE B – Relatório A3 Trabalho de Melhoria de processos com aplicação do LSS puro	156
APÊNDICE C – Relatório A3 Trabalho de Melhoria de processos com aplicação do M&SLSS.....	157

1 INTRODUÇÃO

Devido à alta competitividade das empresas, aumentar a qualidade dos produtos e processos por meio da melhoria contínua, é um dos principais objetivos de qualquer organização (Thomas *et al.*, 2009). Os efeitos da globalização, estão trazendo grandes mudanças para o mercado automobilístico brasileiro. Deste modo faz-se necessário que as empresas busquem melhorar continuamente a eficiência dos equipamentos, identificando e eliminando as perdas e, conseqüentemente reduzindo os custos de fabricação. Como abordagem de melhoria contínua, o conceito *lean* originou-se do *Toyota Production System* (TPS), com foco em fazer mais com menos (PRASAD *et al.* 2016). Possíveis erros de fabricação, se não corrigidos, são capazes de gerar custos adicionais sem agregar valor ao processo de fabricação ou produto e, como tal, normalmente causar atraso no lead time de fabricação (Rosa *et al.*, 2017). Para que as organizações se mantenham economicamente viáveis e competitivas, atendendo as conformidades regulatórias, aos requisitos de qualidade e aos prazos de entrega, é necessário eliminar as falhas e desperdícios identificados durante o processo de fabricação (Costa *et al.* 2017a, Costa *et al.* 2017b). Neste contexto, o princípio do *Lean Manufacturing* (LM), é eliminar os desperdícios, tendo como objetivo principal, produzir conforme demanda, com o desenvolvimento de um sistema de produção puxada, que garante que o fluxo de trabalho contínuo e que permaneça estável, diminuindo o desperdício de qualquer processo produtivo.

O LM visa identificar atividades que agregam e não agregam valor para cliente e aumenta a velocidade dos processos produtivos com a redução no tempo de ciclo.

No Brasil, a aplicação da metodologia Seis Sigma (SS), iniciou-se por meio do conhecimento aplicado nas matrizes das empresas multinacionais. Historicamente, o SS é uma metodologia consolidada dentro das companhias e empresas. No entanto, o tempo para sua implementação, custos associados e tempo para sua implantação são demasiadamente elevados.

Segundo Spina (2007) a metodologia SS, está consolidada no mundo dos negócios e proporciona excelentes resultados às empresas. O SS é utilizado para reduzir a

variabilidade dos processos com a finalidade de atingir níveis de defeitos próximos a zero na otimização do processo.

Nesta dissertação, busca-se apresentar uma estrutura base, para aplicação do método *Modeling and Simulation Lean Six Sigma* (M&SLSS), em processos produtivos, para demonstrar os resultados provindos dessa implementação, apresentar seus benefícios e vantagens operacionais.

A proposição de um roteiro original para aplicação do M&SLSS, em processos produtivos, permite sistematizar os passos para aplicação das ferramentas e técnicas de forma combinada, entre o Lean Seis Sigma (LSS) com *Modelagem e Simulação* (M&S) e assim, contribuir significativamente para fontes de informação teóricas sobre o tema melhoria de processos, bem como, elevar o nível de conhecimento do assunto M&SLSS no escopo abrangido pelo trabalho e apresentar uma discussão teórica sobre as formas pelas quais a medição de desempenho pode suportar o processo de melhoria contínua. Todos estes fatores colocam a indústria brasileira de autopeças na vanguarda da corrida por soluções inovadoras, sofrendo pressão na relação cliente-fornecedor para buscar continuamente novas formas de gestão que permitam a sua sobrevivência (CHECOLI e MONTEIRO, 2000).

Inicialmente, foi realizado uma breve revisão teórica dos conceitos, métodos, técnicas e procedimentos, das metodologias, descrevendo as etapas, ferramentas da qualidade propostas no SS, assim como, das ferramentas propostas no LM, combinadas com M&S.

Na revisão sistemática, teve como origem as seguintes perguntas de pesquisa:

- Porque é benéfico combinar Modelagem e Simulação com Lean Seis Sigma?
- As empresas que adotaram a prática, de modelagem e simulação combinadas com os conceitos do Lean Seis Sigma em seus processos, melhoraram em que aspecto o seu desempenho operacional?
- Quais são as vantagens que o método M&LSS pode oferecer, quando comparado, aos métodos já consolidados nas empresas tais como Lean Seis Sigma?

A conceituação estatística, fortemente explorada no SS, aliada aos princípios do LM tem sido usada, com a finalidade de promover a melhoria do processo produtivo por meio da abordagem integrada LSS. Segundo Werkema (2008), o LSS pode e deve ser utilizado por empresas de qualquer setor. Para Rotondaro (2002), podemos entender o LSS como uma metodologia estruturada e com foco na melhoria contínua de processos. Desta forma, LSS é relatado como uma mistura fina de Lean e Seis Sigma e complementares. (Rodgers *et al.*, 2019; Sunder, 2016b; Yadav *et al.*, 2018a). Desta forma, o LSS une os conceitos da produção enxuta com a redução da variabilidade dos processos, que combinadas com Modelagem e Simulação, pode auxiliar a Produção na tomada de decisão com a predição de resultados operacionais, redução no tempo demandado, nas fases de medição e análise dos dados, que pode assim, contribuir com fortalecimento do método, acerca do tema melhoria de processos, pois a integração entre as metodologias é natural e não possui conflitos. Quanto aos objetivos, esta dissertação, propõe um *framework*, com uso das boas práticas, combinando o LSS, com M&S, como ferramenta de suporte no método M&SLSS. Apresentar a concepção de um modelo matemático, que se obtém como variáveis de resposta os resultados e o monitoramento dos principais indicadores operacionais da produção, comparando um cenário real, com um cenário futuro desejado, com a predição dos resultados. Em seguida, se apresenta uma proposta metodológica para implementação do método M&SLSS, através de um roteiro simples, de fácil compreensão, porém original, constituído de 5 Etapas e 12 Passos construtivos.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos podem ser divididos em dois grupos, sendo Objetivo Geral e os específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um framework com uso das boas práticas, combinando o LSS, com Modelagem e Simulação, como ferramenta de suporte e predição dos resultados operacionais da Produção, para auxiliar os Gestores, na tomada de decisão.

1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolvimento de um modelo matemático, como ferramenta de suporte, que permite monitorar os principais indicadores operacionais da produção, comparando um cenário real, com um cenário futuro desejado, com a predição dos resultados.
- Verificar e validar o modelo desenvolvido, para identificação dos fatores que possam corroborar a melhoria dos processos, com a implementação de trabalhos de melhoria contínua, aplicando o método LSS puro e comparar seus resultados, com os resultados provindos do método proposto M&SLSS.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, as empresas enfrentam uma grande pressão do mercado para manterem-se competitivas, lucrativas e para conquistar vantagens perante seus concorrentes. Nesta conjuntura, esta dissertação tem por finalidade empregar uma metodologia de gestão de produção conhecida como M&SLSS, que foi utilizada como uma ferramenta capaz de identificar as variáveis dos processos produtivos, que resultam na baixa produtividade e assim, auxiliar os gestores para a tomada de decisão e impulsionar a melhoria dos processos. No Brasil, a busca constante em atender e suprir as necessidades dos clientes, faz com que as empresas tenham que encontrar alternativas em seus processos produtivos com objetivos claros de melhoria contínua, e por consequência, de redução de custos. Os processos devem sempre estar em melhoria contínua buscando minimizar o tempo de processamento, aumentar a eficiência, e assim obter, redução de custos com a satisfação das necessidades dos clientes e da empresa.

Neste contexto, o SS é considerado a metodologia da qualidade para este novo século. Seu propósito de ganhos drásticos de lucratividade nas empresas, tem levado várias delas a alcançar resultados importantes. Já o princípio do LM, é eliminar os desperdícios, identificar os gargalos de produção e obtendo como objetivo principal, produzir conforme demanda do cliente.

Desta forma, o LSS une os conceitos da produção enxuta, com a redução da variabilidade dos processos, no entanto, o tempo para sua implementação é elevado.

A motivação desta dissertação, se dá, em função da necessidade das empresas, pela busca constante por melhoria contínua dos seus processos produtivos.

Combinar o LSS com Modelagem e Simulação, no método proposto M&SLSS, pode trazer benefícios e auxiliar os gestores na tomada de decisão, com a predição dos resultados operacionais, que permite monitorar o cenário real fabril e compará-lo com um estado futuro desejado, para a resolução de problemas e consequentemente obter a melhoria dos processos, com menor tempo, quando comparado aos métodos tradicionais aplicados a melhoria contínua, já consolidados.

2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA

A pesquisa bibliométrica tem como objetivo a coleta de dados e análise de forma sistemática, o que já foi escrito anteriormente sobre o tema de pesquisa proposto, fornecendo dados sobre principais veículos relacionados, principais autores, países, onde o tema é mais desenvolvido, assim como a evolução do tema ao longo do tempo, o que indica se o tema ainda pode ser explorado. Após realizada a pesquisa bibliométrica realizamos a análise sistemática da literatura encontrada, assim se delimita o tema, confirmar a existência e colaborar com a identificação dos gaps de pesquisa.

Coleta do material bibliográfico:

O primeiro passo para o início da coleta do material foi a definição das palavras-chave, para a pesquisa do material bibliográfico no site do CAPES CAFE.

Em comum acordo com o orientador, foi definido um primeiro conjunto de palavras-chaves.

O primeiro conjunto de palavras-chaves (Quadro 1), continham 5 palavras-chave e 18 combinações para a pesquisa, esta primeira pesquisa retornou em torno de 886 artigos.

- **1ºSELEÇÃO DE ARTIGOS:**

Quadro 1- Combinação/conjunto de palavras-chaves utilizados na primeira seleção

nº	Combinação de palavras-chave-1ª seleção
1	"Modeling and Simulation""Lean Six Sigma"
2	"Modeling and Simulation""Autoparts Industry"
3	"Modeling and Simulation""Process Improvement"
4	"Autoparts Industry""Lean Six Sigma"
5	"Autoparts Industry""Process Improvement"
6	"Lean Six Sigma""Process Improvement"
7	"Modeling and Simulation""Lean Six Sigma""Process Improvement"
8	"Modeling and Simulation""Lean Six Sigma""Process Improvement""Autoparts Industry"
9	"Modeling and Simulation""LSS"
10	"Autoparts Industry""LSS"
11	"LSS""Process Improvement"
12	"Modeling and Simulation""LSS""DMAIC"
13	"Autoparts Industry""LSS""DMAIC"
14	"LSS""DMAIC""Process Improvement"
15	"Modeling and Simulation""Automotive Industry"
16	"Automotive Industry""Lean Six Sigma"
17	"Automotive Industry""Process Improvement"
18	"Modeling and Simulation""Lean Six Sigma""Process Improvement""Automotive Industry"
COGNATAS: LSS;DMAIC;Automotive Industry	

Fonte: Autoria própria

A análise preliminar destes artigos indica que as estas combinações devem ser refinadas, pois muitos dos artigos, estão fora do tema de pesquisa, pois retornaram palavras-chaves soltas em função do tema, sem correlação com as metodologias combinadas e na maioria deles, em campos não relacionados com a pesquisa proposta.

Numa segunda seleção de conjunto de palavras chaves, chega-se a um conjunto com 4 palavras-chave e 4 combinações que retornaram 314 artigos (Quadro 2).

Quadro 2- Combinação/conjunto de palavras-chaves utilizados na segunda seleção

nº	Combinação de palavras-chave-2ª seleção
1	"Modeling and Simulation""Lean Six Sigma""Process Improvement"
2	"Modeling and Simulation""Lean Six Sigma""Process Improvement""Autoparts Industry"
3	"Modeling and Simulation""Automotive Industry"
4	"Modeling and Simulation""Lean Six Sigma""Process Improvement""Automotive Industry"

Fonte: Autoria própria

Na segunda análise, apesar da pesquisa retornar um maior número de artigos com temas relacionados a pesquisa, percebe-se que ainda há alguns artigos, com temas que não correlacionavam as duas metodologias de forma combinada que faltou, uma abrangência e correlação maior, com uso das Metodologias de forma combinada, relacionando o tema, Modelagem e Simulação com Lean Seis Sigma, o que realmente se interessa. Após a finalização da leitura dos artigos, inicia-se então, o preenchimento das planilhas de revisão bibliométrica e sistemática e após feito isso, gerar toda estatística voltada, com objetivo de mensurar e quantificar aqueles artigos que serão considerados a fim de identificar, suas lacunas de pesquisa, ao qual são demonstrados nos gráficos a seguir. Outras considerações importantes: Analisar aqueles artigos que respondiam ou não as perguntas de pesquisa, fundamentando-se nas técnicas utilizadas, para se apegar aquelas que são existentes, porém nunca utilizadas dentre as Metodologias combinadas.

Numa reunião final, foi reportado o *status* da revisão bibliométrica e sistemática afim de validar os artigos que são considerados na base, totalizando 36 artigos.

As bases de pesquisa utilizadas foram Science Direct, Emerald Insight, Proquest, Wiley Library, Compendex, Scopus, Scielo, CAPES, Revista Exacta, Google Scholar, Taylor & Francis, Web of Science e IEEEExplore.

Os artigos selecionados deveriam atender a pelo menos um dos seguintes critérios:

- 1- Os Artigos que resultaram, em função da aplicação das metodologias ou ferramentas de forma combinada.
- 2- Os Artigos que obtiveram conclusão, visando a implementação das metodologias de forma combinada em seus processos de produção.
- 3- Os artigos que continham algum tipo de técnica ou ferramenta, de modelagem e simulação e LSS, aplicados de forma combinada, em sua estrutura metodológica.

Após a análise dos artigos, dentre os critérios propostos, foram selecionados 36, dos 314 artigos para a revisão da literatura.

Os artigos que não atenderam a nenhum desses critérios foram desconsiderados.

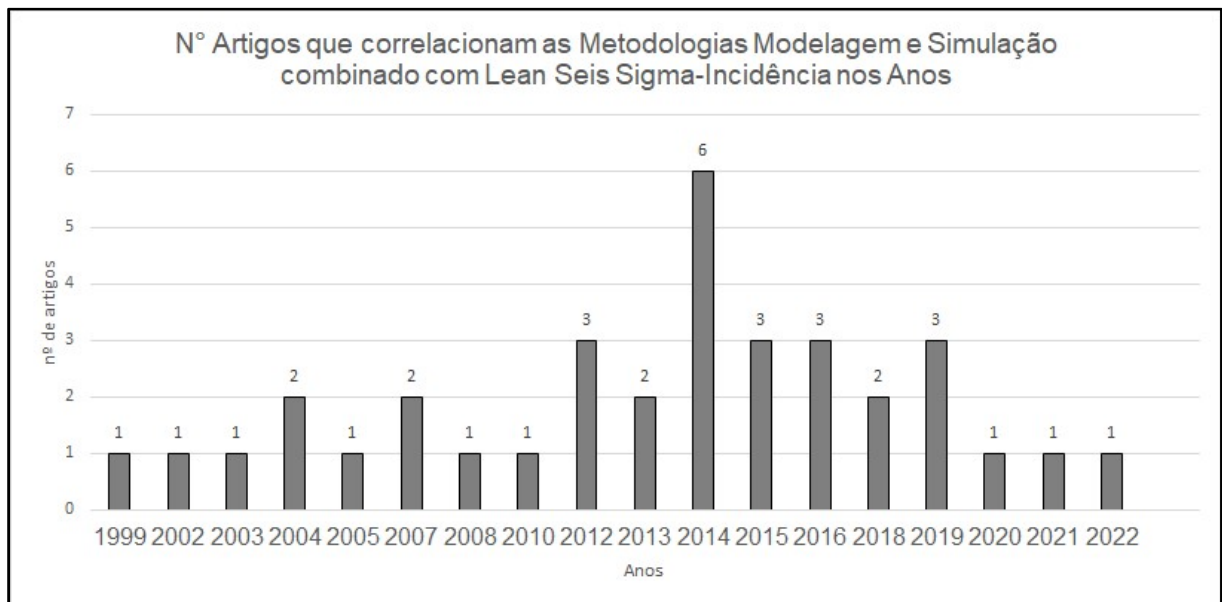
Na análise bibliométrica foram levantados:

1. Quantidade de artigos publicados por ano.

2. Segmentos que abordam o tema de pesquisa.
3. Natureza de pesquisa mais utilizada.

Na Figura 1, está ilustrado a quantidade de artigos por ano de publicação: Esta informação serve para conhecer a maturidade do tema da pesquisa.

Figura 1- Número de artigos por ano

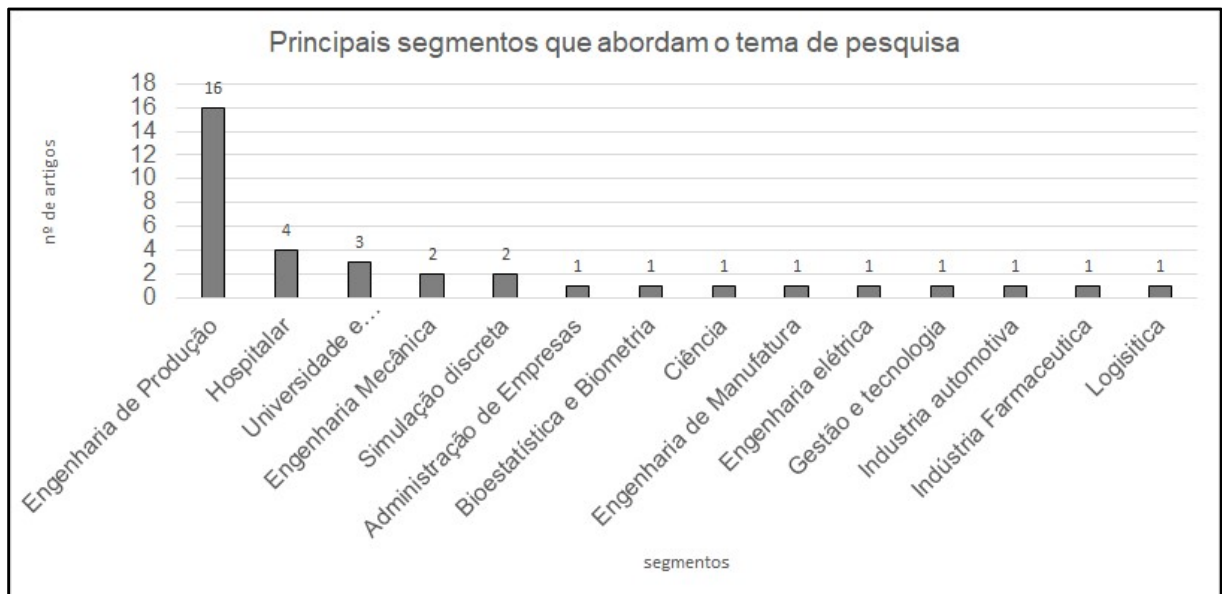


Fonte: Autoria própria

Em 2014, foi evidenciado uma alta na pesquisa por artigos sobre o tema de pesquisa, pois o assunto estava em evidência, devido a constante busca por melhoria contínua, pelas empresas, para se tornarem cada vez mais competitivas no cenário mundial.

Na Figura 2 está ilustrado, os segmentos que abordam o tema de pesquisa:

Figura 2- Segmentos que abordam o tema de pesquisa

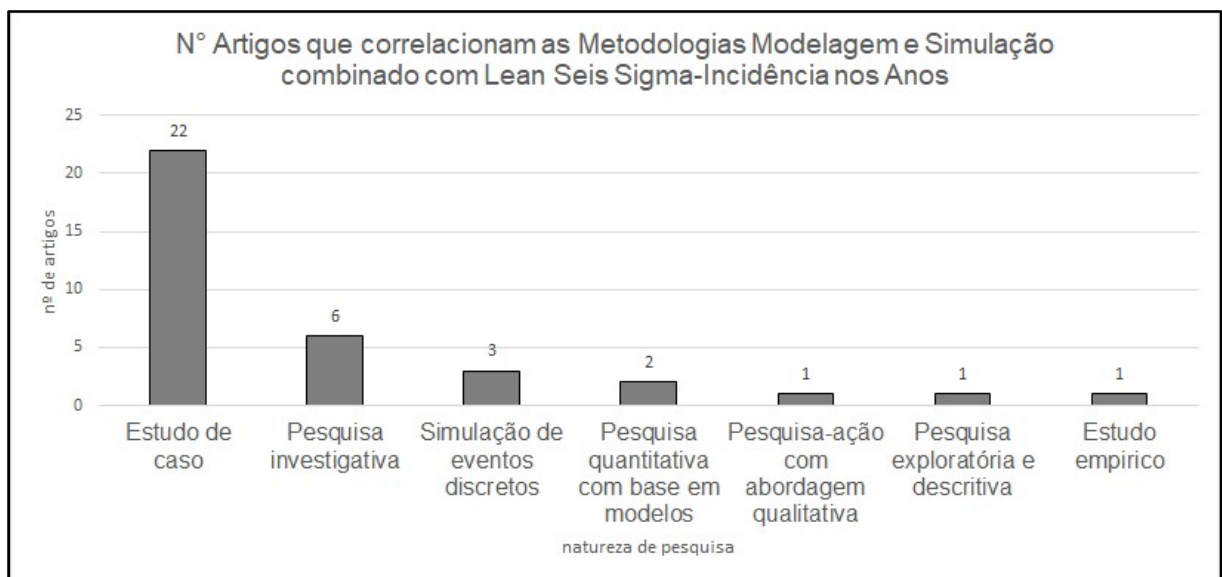


Fonte: Autoria própria

Devido a grande ligação e sinergia com o tema de pesquisa, com objetivo de melhoria contínua dos processos, os segmentos de Engenharia de Produção seguido pela Hospitalar, foram os segmentos que mais exploraram o tema.

Quanto a Natureza de pesquisa, está ilustrado na Figura 3:

Figura 3- Natureza da pesquisa



Fonte: Autoria própria

Quanto a natureza de pesquisa, “Estudo de Caso” foi o mais explorado pelos autores, pelo fato da possibilidade de explorar o caso, em contextos ou áreas com inúmeros segmentos diferentes.

Revisão Sistemática

A revisão sistemática teve como origem o seguinte problema de pesquisa:

As empresas que adotaram a prática de modelagem e simulação combinadas com os conceitos do LSS em seus processos, melhoraram em que aspecto o seu desempenho operacional?

Embasadas na questão de pesquisa, foram formuladas as seguintes perguntas específicas para a revisão sistemática.

Q1-O artigo utiliza-se de alguma técnica das metodologias ou aborda o tema

"Modelagem e Simulação combinado com a metodologia Lean Seis Sigma?

Q2-O estudo tem foco na melhoria de processos?

Q3-O artigo utilizou dados reais coletados in loco no processo?

Q4-O artigo menciona as ferramentas utilizadas com uso das metodologias de Modelagem e Simulação e LSS? Quais são elas?

Q5-O artigo cita o roteiro utilizado?

Q6-O artigo cita os ganhos operacionais, com o uso das Metodologias combinadas? Quais foram eles?

Q7-O artigo cita as vantagens com uso da simulação de processos, como ferramenta de aplicação para a metodologia LSS ?

Q1- O artigo aborda o tema "Modelagem e simulação combinado com a metodologia LSS?

Os autores que relacionaram em suas pesquisas as duas metodologias combinadas SPINA, (2007), no entanto voltado para área de Serviços.

ROLANDO, (2018), ao qual seu trabalho foi conduzido por meio de modelagem, com validação de dados reais, com o objetivo de propor uma adaptação de métodos de auxílio à tomada a decisão para seleção de projetos Lean Six Sigma com uso de conceitos de modelagem e simulação.

SALOMON DE MELLO, (2008), utilizou-se a Soft Systems Methodology (SSM), pois de acordo com Checkland e Scholes (2004), ela é uma aproximação da pesquisa ação para um processo organizacional, juntamente com conceitos do método DMAIC e Simulação Computacional.

DE NORONHA, (2014), fez a aplicação de conceitos de modelagem e simulação com embasamento estatístico no segmento de Biomedicina e Bioestatística, com o auxílio de diferentes ferramentas informáticas, nomeadamente o Excel, o VBA, o R e o EasyFit.

CHAVES, (2018), aborda como principal objetivo, o desenvolvimento de jogos, através da Simulação por Eventos Discretos (DES) para a aprendizagem de ferramentas Lean.

SCHIMIDT, (2019), utiliza-se de Pesquisa investigativa, numa estrutura com enfoque ao sistema de produção, com elementos da indústria 4.0 com uso de um Programa de melhoria de produção denominado XPS.

Por fim, os autores, CATELLANIA, *et al.* (2016), realizaram testes de bancada de fluxo estacionário é uma metodologia experimental padrão, usada pela indústria automotiva, para caracterizar uma cabeça de cilindro. Para reduzir o tempo de desenvolvimento, o uso de um banco de testes virtual baseado em CFD também é hoje uma prática padrão. O uso de uma metodologia RANS convencional para a simulação do fluxo através dos dutos de uma cabeça de motor que permite obter apenas as distribuições das variáveis de fluxo médias.

Concluindo, podemos utilizar a Q1 como uma possível lacuna de pesquisa, por não ter sido explorado pelos autores, em seus estudos, o uso de técnicas e ferramentas de forma combinada do LSS.

Q2- O estudo tem foco na melhoria de processos?

Os autores que utilizaram a prática e uso das metodologias combinadas, para uma abordagem voltada para melhoria de processos,

SPINA, Charles (2007). Aplicação de Ferramentas Lean Seis Sigma e Simulação Computacional para o aperfeiçoamento de Serviços, o estudo tem como objetivo principal, definir um roteiro de aplicação dos conceitos de Lean Seis Sigma em

processos de serviços utilizando-se de simulação computacional e estudar sua aplicação em um caso real.

RAINHA ROLANDO, (2018). Aplicação de método de tomada de decisão multicritério para priorização de projetos LSS, com a aplicação dos métodos de tomada de decisão multicritério para a seleção de projetos.

NASCIMENTO SALOMON de MELLO, (2008). Faz a aplicação do mapeamento de processos e da simulação no desenvolvimento de projetos de processos produtivos, para mensuração do lead time e a elaboração de um fluxo futuro como proposta.

SCHIMDT, Fabricio Carlos (2019). Sistema de Produção para indústria de autopeças com elementos da Indústria 4.0, o objetivo desta tese é propor um método para implementação de um sistema de produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0 no intuito de auxiliar às empresas a evoluírem na direção da Indústria 4.0 a fim de obter melhorias em seu processo produtivo.

BERNA, *et al.* (2015). Aplica seu meta-modelo, que foi validado e nos mostra que ele fornece boas aproximações aos resultados da simulação. Utiliza-se de técnicas do *Design of Experiments* (DOE). O objetivo principal do seu estudo é fornecer uma metodologia sistemática para analisar o controle diário da produção de um departamento de pintura de uma empresa automotiva. DUARTE, *et al.* (2004). Faz uma análise de uma célula de manufatura em Lotes do Setor de Autopeças. Esta adaptação visou direcionar a metodologia para a aplicação em sistemas de manufatura em lotes. Os objetivos complementares do seu trabalho são: a solução do problema de demanda futura na célula estudada; a determinação da melhor proposta de layout; o estudo da influência do sequenciamento no lead time da célula; a avaliação da performance da célula real versus a modelada; usar o modelo para tomada de decisões.

Concluindo, podemos utilizar a Q2 como uma possível lacuna de pesquisa, pois de acordo com as pesquisas, os conceitos de LSS, foi pouco explorado no âmbito acadêmico, em seus aspectos como sua relação com sistemas de qualidade já existentes na organização e por não ter sido explorado pelos autores, com enfoques claros para melhoria dos processos.

Q3-O artigo utilizou dados reais coletados in loco?

Os artigos que foram selecionados e considerados aprovados, consideraram em sua pesquisa, dados reais coletados in loco. Para desenvolvimento de um trabalho de pesquisa, voltado para Engenharia de Produção, utilizando-se de metodologias tais como Estudos de Caso, Pesquisas-ação, dificilmente poderão ser desenvolvidos, sem prévio acompanhamento do processo produtivo, para definição dos objetivos a serem alcançados, análise dos dados, definição do plano de melhoria, para posterior mensuração dos resultados, sendo assim, essas referências já são suficientes para refutar a existência da lacuna de pesquisa presumida com a justificativa contida na questão 3 da revisão sistemática.

Q4-O artigo menciona as ferramentas utilizadas com uso das metodologias de Modelagem e Simulação e Lean Seis Sigma? Quais?

SPINA, Charles (2007). Faz a utilização do método DMAIC e relação com uso de Modelagem Computacional. AUGUSTO RAINHA ROLANDO, (2018). Faz uma abordagem e uso das metodologias do Lean Seis Sigma com uso do método DMAIC com uso de softwares de modelagem e simulação. SALOMON DE MELLO, (2008). Faz a utilização e uso de ferramentas da Qualidade, DMAIC e simulação computacional. de NORONHA, (2014). Faz uso e aplicação de conceitos de modelagem e simulação com estudos estatísticos, sendo estes estudos, efetuado com o auxílio de diferentes ferramentas informáticas, utilizando-se de softwares nomeadamente o Excel, o VBA, o R e o EasyFit. FIGUEIREDO CHAVES, (2018). Faz uso da ferramenta DES, que é útil e adequada na construção de jogos de simulação, em particular com a temática Lean. SCHMIDT, (2019). Com o tema Sistema de Produção para Indústria de autopeças com elementos da Indústria 4.0, faz menção a Indústria 4.0, que pode ser explorado com objetivo de auxiliar aos objetivos e metas a serem atingidos neste trabalho de pesquisa, utilizando-se de Programa de melhoria de produção XPS, com enfoque produtivo. O trabalho produzido por CUMMING *et al.* (2014). Explora o desafio da produtividade enfrentada pela indústria farmacêutica. As estratégias para melhorar a produtividade se concentraram principalmente no aumento da eficiência, como a aplicação dos métodos de melhoria de processo LSS e a introdução de modelagem e simulação. Embora essas estratégias tenham como principais benefícios, melhorar a eficácia, reduzindo as taxas de falha com abordagem

oportunista. SARWAR *et al.* (2019). Faz a integração de conceitos sobre LSS, com uma estrutura de Modelagem, MICMAC. DA SILVA, (2010). Proposta de um modelo para o processo de desenvolvimento de produto para a indústria do vestuário fabricante de artigos de malha na modalidade Private Label, que define uma Função de Modelo, para melhorar as condições de competitividade. TM, (2012). Utiliza-se de ferramentas do método DMAIC e MTO, O objetivo do seu projeto de pesquisa é desenvolver uma estrutura LSS de acordo com a metodologia de melhoria de processo sistêmico SS; Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (DMAIC). Foi implementado e verificado em uma empresa de engenharia nos Emirados Árabes Unidos. Os resultados mostram que o processo “Projetos sob encomenda (MTO)” tem um longo prazo de entrega. As principais causas do longo prazo de entrega são os subcontratados, os clientes e os procedimentos implementados pela empresa. Usando a estrutura, foi possível identificar a razão mais significativa para o longo tempo de espera. A estrutura permite ao usuário identificar os problemas do processo e resolvê-los de forma eficaz.

ROCHA, (2014). Integra a Simulação a Eventos Discretos (SED) e o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) para apoio à tomada de decisão, aplicação de Kaizen e análise de dados com DOE e uso do software Minitab. A. Ahmed, J. Page, J. Olsen, (2015). Utiliza-se do método DMAIC e uso do software Anylogic. MOGES BELAY, (2013). Faz aplicação de conceitos de modelagem e simulação combinadas com Lean para desenvolvimento de produtos.

TORGA, (2007). Faz uso de Técnicas de Modelagem e Simulação com conceitos de manufatura enxuta com sistema puxado de produção (JIT, Kanban, etc) juntamente com metodologias de simulação (software PROMODEL). Por fim, DUARTE, (2003). Utiliza-se de Simulação Computacional, Racionalização Industrial, conceitos de estatística, Monte Carlo, teste de hipóteses como ferramentas para desenvolvimento do seu trabalho de pesquisa.

Concluindo, podemos utilizar a Q4 como uma possível lacuna de pesquisa, pela possibilidade de explorar ferramentas outrora não explorados pelos autores com a utilização do CIA dentro do DMAIC de forma combinada.

Q5-O artigo cita o roteiro utilizado?

Todos os artigos considerados, fazem citação da Metodologia de pesquisa, contemplando assim o roteiro utilizado para a montagem da estrutura do trabalho de pesquisa. Cita-se como exemplo, DUARTE, (2003) relata a aplicação da simulação numa célula de manufatura que gerou o desenvolvimento de uma abordagem necessária a execução do trabalho de simulação em um ambiente fabril. Esta abordagem não é descrita em detalhes na literatura, que normalmente traz metodologias focadas na execução do método de trabalho do processo de simulação. A execução do trabalho exigiu a organização de uma equipe e o detalhamento do papel de cada membro. Outro ponto a destacar é o de que a simulação em si não resolve todos os problemas, é necessária a criação e análise prévia das possíveis soluções que serão modeladas. Essa referência já é suficiente para refutar a existência da lacuna de pesquisa presumida como justificativa contida na questão 5 da revisão sistemática.

Q6-O artigo cita os ganhos operacionais com o uso das Metodologias integradas ou combinadas? Quais foram eles?

SPINA, (2007). Apresenta os resultados obtidos, citando o nível sigma do Processo A, que cresceu de 3,2 para 6,85, com um aumento de mais de três desvios padrão e que significa uma redução de processos fora do limite de especificação (acima do CTQ) de 47765 para menos de um, considerando um milhão de ocorrências. Além disso, o Processo A melhorado apresenta um tempo de ciclo médio de 1,51 dias, contra 2,92 do processo original, o que pode impactar na percepção do cliente. A evolução do processo possibilitará uma redução do valor do CTQ do cliente, reforçando o diferencial competitivo de mercado, ou do número de recursos participantes do processo para que o mesmo se adeque ao CTQ de 7 dias. Essa segunda alternativa inclusive pode ser modelada e simulada no simulador de processos.

ROLANDO, (2018). Apresenta como resultado, que é possível constatar que o Promwthee se mostrou mais assertivo, principalmente nas comparações quantitativas, tendo aplicabilidade tanto para decisões individuais quanto em grupos.

CHAVES, (2018). Apresenta os resultados da avaliação do jogo de simulação desenvolvido. Reuniram-se dez jogadores com uma faixa etária compreendida entre os 20 e os 30 anos.

BERNA *et al.* (2015). Cita as descobertas da abordagem de otimização analítica-simulação híbrida proporcionam um conhecimento inestimável à empresa para o redesenho e controle do sistema de manufatura atual para aumentar sua produtividade.

CATELLANIA *et al.* (2016). Para avaliar a eficácia, os casos foram executados usando o método Launder-Rodi-Reece (LRR) RSTM, já disponível nas bibliotecas padrão do OpenFOAM®. Toda a configuração restante e as condições de contorno foram as mesmas adotadas para o EV-RANS. Como esperado, os resultados mostraram definitivamente um resultado melhor, com experimentos, no que diz respeito aos torques. Os desvios, são contidos em uma faixa de $10 \pm 15\%$, com um erro relativo máximo de 17,5% para a elevação da válvula de 1 mm.

PAWLEWSKI, (2014). Cita em seu artigo, os resultados de pesquisas realizadas nos últimos anos na área de design, modelagem e simulação de processos de fabricação. Foi identificada uma lacuna, pela deficiência nos idiomas padrão para modelagem dos processos de produção e manufatura. Essa lacuna diz respeito ao pensamento sobre modelagem de processos de manufatura como abordagem multinível, usando o conceito de processo multimodal.

DUARTE, (2003). Utiliza-se como resposta os relatórios de saída gerados no ProModel® e utilizados para análise dos modelos foram: relatório geral de estatísticas (*general statistics report*), gráfico de utilização das máquinas (*location utilization*) e gráfico de estado dos recursos (*resource states*). O relatório geral de estatísticas é uma radiografia do comportamento do sistema como um todo, fornecendo informações como: duração da simulação em horas, dias, semanas, etc; percentual de utilização dos equipamentos e recursos; quantidades produzidas por equipamento e total do período; custos; falhas; bloqueios; desvio padrão; média, quando é realizada mais de uma replicação.

Concluindo, podemos utilizar a Q6 como uma lacuna de pesquisa, pelo fato da possibilidade de explorar, formas de apresentação dos resultados operacionais

provindos da implementação do método proposto M&SLSS, de uma forma diferente, quando comparado, aos métodos previamente apresentado pelos autores anteriores. Q7-O artigo cita as vantagens com uso da simulação de processos como ferramenta de aplicação para a metodologia LSS?

Podemos citar a existência da lacuna de pesquisa presumida, como justificativa contida na questão 7 da revisão sistemática, pois nenhum dos autores anteriores citam em seus respectivos artigos vantagens claras do uso da simulação de processos como ferramenta de suporte a metodologia LSS.

Para reforçar e justificar a abordagem para a natureza de pesquisa, NASCIMENTO, (2008). Apresenta como sugestões para trabalhos futuros, que seria interessante estudar o desenvolvimento de métricas de desempenho nos processos que fazem parte do caminho crítico do processo. Um estudo da quantidade de replicações ideal e a influência do uso de tempos com desvio padrão na quantidade de peças produzidas.

ROLANDO, (2018). Cita em seu artigo duas sugestões para futuras pesquisas:

- estudar o fator de influência da alta administração na escolha de projetos LSS.
- estudar o fator de influência da falta de treinamento e capacitação das equipes de trabalho na implementação de projetos LSS.

ROCHA, (2014). Propõe como proposta para trabalhos futuros:

- Implementar as mudanças sugeridas e comparar indicadores obtidos com a simulação com os indicadores reais do novo sistema de distribuição de medicamentos;
- Acrescentar custos no modelo computacional, realizando uma análise de viabilidade econômica para verificar a possibilidade da abertura de um novo posto de trabalho;
- Desenvolvimento de outros trabalhos no hospital, em outros setores, aplicando e testando a utilização da integração da simulação e Lean.

TORGA, (2007). Propõe como sugestão para trabalhos futuros: :• Modelagem de outros sistemas puxados e a utilização de técnicas de previsão associadas a simulação e a otimização para que resultados futuros de médio e longo prazo possam ser alcançados;• Modelagem de outros sistemas puxados e a aplicação da simulação para evidenciar os resultados obtidos e a partir de múltiplos estudos de caso, propor uma fórmula ótima para o cálculo do número de kanbans; • Modelar toda a rede de

distribuição interna de matéria-prima da organização, que também ocorre por meio de kanbans e realizar sua otimização; • Modelar o mesmo sistema utilizando outro software de simulação de eventos discretos, fazendo um comparativo deste com o ProModel®; • Utilizar outro software de otimização que faz integração com o ProModel®, o OptQuest® da OptTek, e comparar os resultados obtidos com os dois programas.

DUARTE, Roberto (2003). Propõe como sugestões para futuros trabalhos a partir desta dissertação tem-se a continuação do refinamento do modelo desenvolvido nos seguintes pontos: • Utilizar o tempo de setup e o tempo padrão como sendo uma distribuição de probabilidades, o que irá melhorar a precisão do modelo; • Modelar toda a cadeia produtiva desta família de peças, uma vez que o modelo desenvolvido nesta dissertação focou somente uma parte da cadeia de produção; • Aplicar o DOE ou o Factorial Design em experimentos com o modelo da célula I implantada; • Modelar o tempo homem nos micros movimentos e separar do tempo máquina; • Modelar toda a cadeia de logística interna dos insumos e peças, associando o custo de movimentação e o tempo improdutivo; • Analisar de forma integrada a célula sob a ótica dos indicadores de produção e custeio; • Otimizar o transporte interno de peças (entre edifícios e entre setores/células).

O quadro 3, corrobora um melhor entendimento quanto ao uso das técnicas aplicadas, dentre os artigos considerados na revisão sistemática, de tal forma identificar uma lacuna de pesquisa neste contexto.

Quadro 3- Relação de artigos considerados na revisão sistemática quanto ao uso das Ferramentas ou Técnicas aplicadas

artigo nº	Autor 1	Ano	País	O artigo menciona as ferramentas utilizadas com uso das metodologias de Modelagem e Simulação e Lean
1	Bruce M. Belzowski; Peter G. Heytler	1988	USA	Utiliza-se do Processo de previsão DELPHI.
2	Jost A. Sepdveda	1999	USA	Faz uso de Modelagem aplicada à melhoria de processos.
3	Graham King	2002	USA	Aborda conceitos do Lean com modelagem e simulação.
4	DUARTE, Roberto Nunes	2003	Brasil	Utiliza-se de conceitos de modelagem e simulação integrados a Racionalização Industrial
5	BAINES, T.; MASON, S.; SIEBERS, O.P.; LADBROOK, J	2004	UK	Uso de simulação dentro de um projeto do processo em um sistema da manufatura.
6	CARSON, John	2004	USA	Uso de conceitos da simulação discreta.
7	BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D.M.	2005	USA	Uso da Simulação discreta e introdução a eventos discretos
8	Charles Spina	2007	Brasil	DMAIC e Modelagem computacional.
9	BRUNO LOPES MENDES TORGA	2007	Brasil	Aborda técnicas de simulação e otimização.
10	Ana Emilia Nascimento Salomon de Mello	2008	Brasil	O uso da metodologia Soft Systems Methodology (SSM) e as
11	Adilson da Silva	2010	Brasil	Faz uso da Modelagem e suas funções e aplicação de conceitos do Lean.
12	Mahesh Mani	2012	USA	Simulação computacional para definição do ciclo de vida de um produto.
13	TM Shahada	2012	Emirados Árabes	Faz uso do método DMAIC e conceitos do MTO.
14	F. Hasan	2012	India	Uso dos conceitos de Modelagem e simulação.
15	Cai Meng	2013	China	Aplicação da Modelagem e análise de molas com recursos pneumáticos baseados em FEM.
16	Alemu Moges Belay	2013	USA	Aborda somente os conceitos de modelagem e simulação com Lean.
17	de NORONHA, Carla Maria Hertizel	2014	Portugal	Faz uso do Excel, o VBA, o R e o EasyFit.
18	Pawel, Pawlewski	2014	Polonia	Faz uso dos conceitos da Modelagem e Simulação.
19	Marta Rostkowska	2014	Polonia	Uso da Simulação Computacional.
20	R Halicioglu	2014	Turquia	Uso dos conceitos de Modelagem e simulação
21	John G Cumming	2014	UK	Faz uso das metodologias de Modelagem e Simulação e Lean Six Sigma.
22	Fernanda Rocha	2014	Brasil	Faz uso do MFV (Análise do fluxo de valor) e simulação de eventos discretos.
23	Berna, Dengiz	2015	Turquia	Faz uso do DOE.
24	James Marco	2015	UK	Faz a utilização da Metodologia de simulação CILS.
25	A. Ahmed; J. Page; J. Olsen	2015	Sidnei, Austrália	Faz uso do LSS adotando o software de simulação Anylogic.
26	Cristian Catellania	2016	Itália	Utiliza-se do software LES Simulations.
27	Stephan Weyer	2016	Alemanha	Utiliza-se do CPS Simulation software.
28	Zahid Abbass Shah	2016	Paquistão	Faz uso dos conceitos de LSS e análise de variância ANOVA.
29	DANIEL AUGUSTO RAINHA ROLANDO	2018	Brasil	Aplicação dos conceitos de Lean Seis Sigma e CIA aplicada
30	Liliana Figueiredo Chaves	2018	Portugal	Utiliza-se das ferramentas DES e o software SIMUL8 e aplicação de conceitos do Lean.
31	Fabricio Carlos Schmidt	2019	Brasil	São utilizados conceitos de lean, simulação e integrados aos
32	A Gavriluță	2019	Romania	Faz uso da simulação para identificar oportunidades para a melhoria de processos.
33	Ferdous Sarwar	2019	Blangadesh	Faz uso da metodologia ISM para identificar barreiras para implementação do LSS.
34	KHALIL, HANI ABDULWAHAB	2020	USA	Utiliza-se de pesquisa quantitativa baseada em Modelos
35	VASQUES, S.; JESÚS; PEIMBERT, G.; RODRIGO, E.; CARDENAS, B.; LEOPOLDO, E. FLORESCU, ADRIANA ;	2021	México	Uso da Simulação de Monte Carlo e ARENA software
36	BARABAS, SORIN	2022	Romênia	Integração da gestão flexível Lean com simulação e conceitos da Indústria 4.0

Fonte: Autoria própria

Conclusão:

Após avaliação dos artigos considerados na revisão sistemática, acredita-se que Q1, Q2, Q4, Q6 e Q7, constituem como uma lacuna de pesquisa, pela oportunidade de podermos apresentar ganhos acadêmicos com uso da metodologia de Modelagem e Simulação combinada com LSS, ao qual, foi um tema pouco explorado e por oferecer ganhos operacionais para contribuição para prática, apresentando os resultados provindos das melhorias implementadas nos processos produtivos com predição de resultados.

1-Nenhum dos artigos apresentam claramente as vantagens e benefícios com uso das técnicas, com uso das duas metodologias combinadas.

2-Nenhum dos artigos, fez a utilização da técnica CIA da modelagem e simulação, dentro da metodologia DMAIC do LSS.

3-Nenhum dos artigos, fez uso da aplicação do método CIA dentro do DMAIC, para melhoria de processos, com divulgação e apresentação dos resultados operacionais por meio do relatório A3.

4- Pesquisa ação com abordagem quali-quantitativa, não foi utilizada dentre os artigos considerados, na revisão sistemática.

3 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma breve revisão teórica dos conceitos, métodos, procedimentos das etapas e ferramentas da qualidade propostas no SS assim como das ferramentas propostas no LM, como ferramentas para a Melhoria de Processo.

3.1 Modelagem e Simulação (*Modelling and Simulation*)

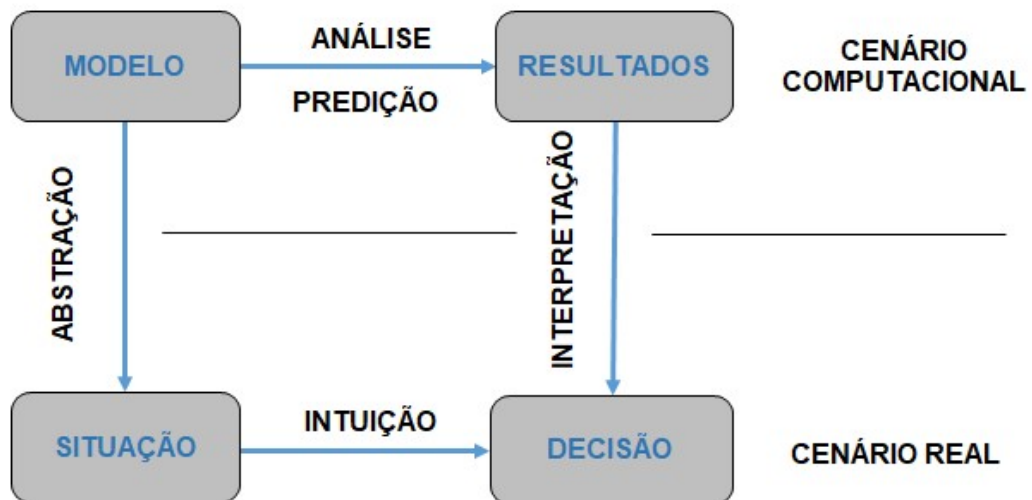
A modelagem e Simulação, em geral, são atividades muito presentes no campo da Engenharia, pois permitem a previsão de parâmetros e dados, antes da etapa de construção ou sem que sejam realizadas alterações nos sistemas operantes, reduzindo custos e agilizando o tempo de desenvolvimento dos projetos. Com a evolução tecnológica dos equipamentos de automação, a implementação de recursos de inteligência computacional se torna favorável à aplicação de métodos que possibilitam o melhor entendimento do processo (OLSSON *et al.*, 2014).

As principais vantagens da simulação são, desenvolver novas políticas, procedimentos operacionais, regras de negócio, fluxos de informação, que podem ser estudadas sem alterar o mundo real e que possa permitir a formação de cenários, através destes, orientar o processo de tomada de decisão, preceder análises e avaliações de sistemas e propor soluções para melhoria de desempenho.

Segundo Miguel *et al.* (2008), a modelagem e simulação é o processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo matemático computadorizado. Afirmam que a simulação computacional é a representação de um sistema real por meio de um modelo sob utilização de um computador, o objetivo da simulação é estudar o comportamento de um sistema, sem que seja necessário modificá-lo ou mesmo construí-lo fisicamente.

As organizações buscam tomar decisões com um retorno considerável, visando obter lucros maiores que os investimentos, a simulação consegue imitar o cenário atual, podendo comparar com o cenário futuro, por meio de previsões minimizando riscos, conforme ilustrado na Figura 4.

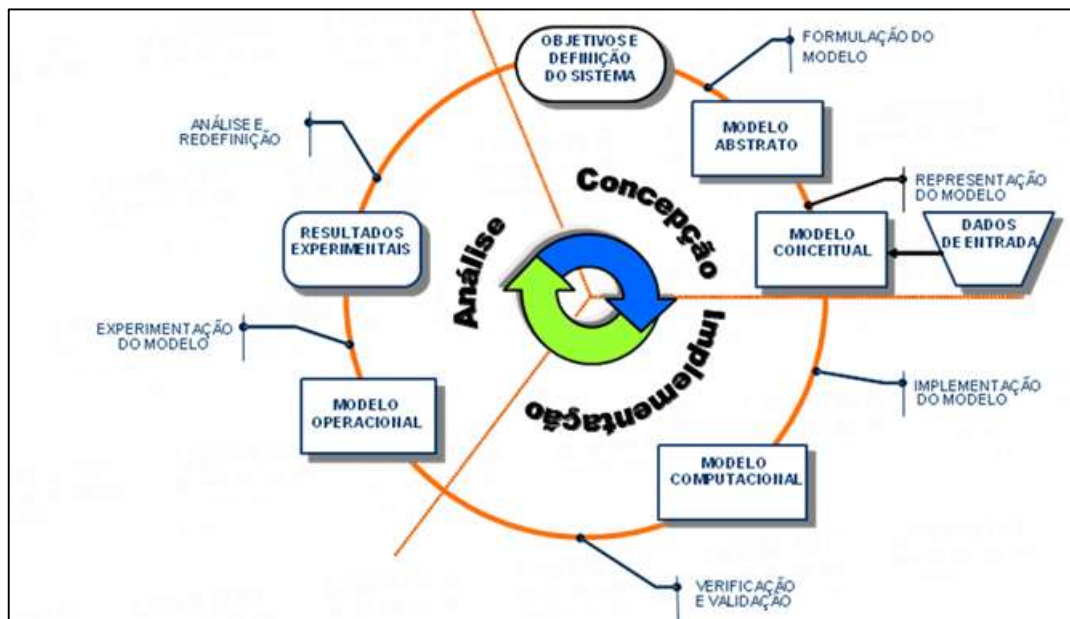
Figura 4- Fluxograma de Modelagem para tomada de decisão



Fonte: Autoria própria

Segundo Chiwf e Medina (2010) e Montevechi *et al.* (2010) a maioria dos métodos de pesquisa em simulação são divididos em três etapas: concepção; implementação e análise. A metodologia CIA, pode ser definida conforme as etapas representada na Figura 5.

Figura 5- Etapas da Modelagem e Simulação



Fonte: Metodologia de Simulação (CHWIF e MEDINA, 2007)

3.2 Lean Manufacturing

LM também conhecido como Sistema Toyota de Produção ou Produção Enxuta, foi aplicado primeiramente pela *Toyota Motor Company*, surgiu no Japão em meados da década de 1950 no período pós Segunda Guerra Mundial, pelo Engenheiro Taiichi Ohno (GREEF *et al.*, 2012). Ao longo das últimas décadas os sistemas convencionais de produção sofreram mudanças devido as novas abordagens focadas no aumento da concorrência global e da intensificação da competitividade entre empresas (FARHANNA; AMIR, 2009).

O conceito LM se disseminou internacionalmente por suas características e várias são as definições empregadas. Segundo Rago (2003), o LM apresenta exuberância de processos flexíveis, o que permite a produção ao menor custo, de modo a eliminar as perdas.

Já para Ohno (1997) visa também em atender as expectativas dos clientes no menor tempo possível e com extrema qualidade. A ideia básica é produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade requerida.

Para se alcançar um estado de produção enxuta, é necessário identificar as atividades envolvidas no processo produtivo classificando-as naquelas que agregam ou não valor, de modo a eliminar os desperdícios. Segundo Shingo (1996), todas as atividades que não agregam valor, são categorizadas como perdas.

George (2004) define o conceito LM como um conjunto de princípios, com o objetivo de aumentar a velocidade de todos os processos da empresa. O LM de forma sintetizada consiste na implementação de um conjunto de técnicas e ferramentas focadas na otimização de processos e na redução de desperdícios.

Segundo Shah e Ward (2003), o LM é um modelo organizacional divulgado na literatura de forma bastante ampla, como um modelo que traz inúmeros benefícios para as empresas que o implementam, através da redução dos custos pela eliminação dos desperdícios.

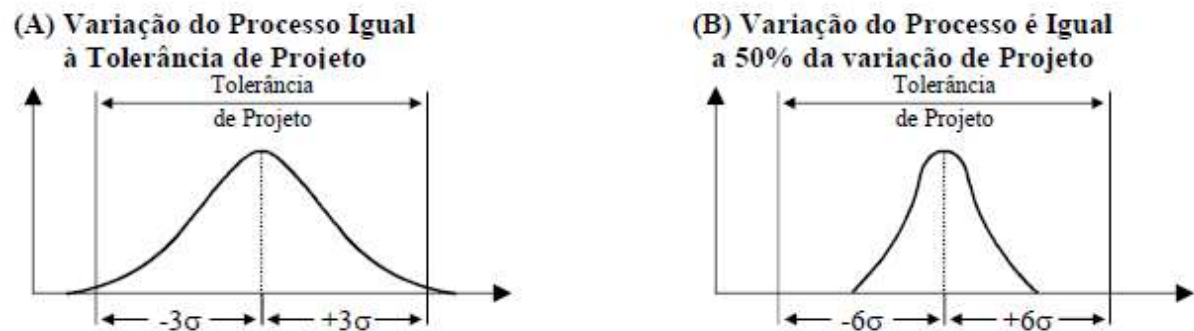
3.3 Seis Sigma

No Brasil, o Seis Sigma foi disseminado a partir de 1997, quando o Grupo Brasmotor introduziu o programa em suas atividades (WERKEMA, 2012). SS é uma filosofia de qualidade com base em objetivos de curto prazo com empenho para atingir metas em longo prazo, por meio da medição e foco no cliente para orientar projetos de melhoria contínua em todos os níveis da organização (PEPPER; SPEDDING, 2010).

Esta metodologia, segue uma abordagem estatística e é alcançado minimizando as variabilidades no processo produtivo e fornecendo serviços de qualidade ou produtos sem defeitos. Reduzindo tais deficiências, menos materiais são desperdiçados e, portanto, uma quantidade ideal de matéria-prima e os materiais são totalmente utilizados. Como o SS busca aprimorar as capacidades da organização e satisfazer o consumidor em constante mudança, utiliza-se de dados para oferecer melhores soluções e estatisticamente falando, atingir o sexto sigma, que significa que os produtos ou resultados alcançados quase não possuem defeitos. Esses são o tipo de resultados, que qualquer organização gostaria de alcançar.

As metas de longo prazo estabelecidas são desenvolvidas e implantadas nos processos industriais com o intuito de torná-los mais robustos, buscando um nível de desempenho com uma taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (MERCADO, 2014). Um processo é definido como SS, quando estiver com média da população centrada no valor nominal da especificação, e os limites de especificação estiverem distantes seis desvios padrões da média da população. No SS, tem-se 99,9999998% de produtos perfeitos, isto é, dois defeitos por bilhão de unidades produzidas num processo centrado. Na Figura 6, está ilustrado um comparativo entre a variação do processo e projeto, para atendimento da meta SS.

Figura 6- A métrica do SS



Fonte: DAVIS; AQUILANO; CHASE (2001, p. 202)

De acordo com Werkema (2012), o sucesso de programas de qualidade como o Seis Sigma está sujeito a existência de pessoas com o perfil adequado e que serão transformados em especialistas no método e nas ferramentas do Seis Sigma. Para concretizar o programa Seis Sigma nas organizações, além de especialistas treinados é necessária a adoção de uma metodologia consistente, que auxilie na implantação do programa e nos processos de melhoria contínua. O Quadro 4, correlaciona o nível sigma do processo com o índice Cpk.

Quadro 4- Correlação do nível sigma do processo com índice Cpk

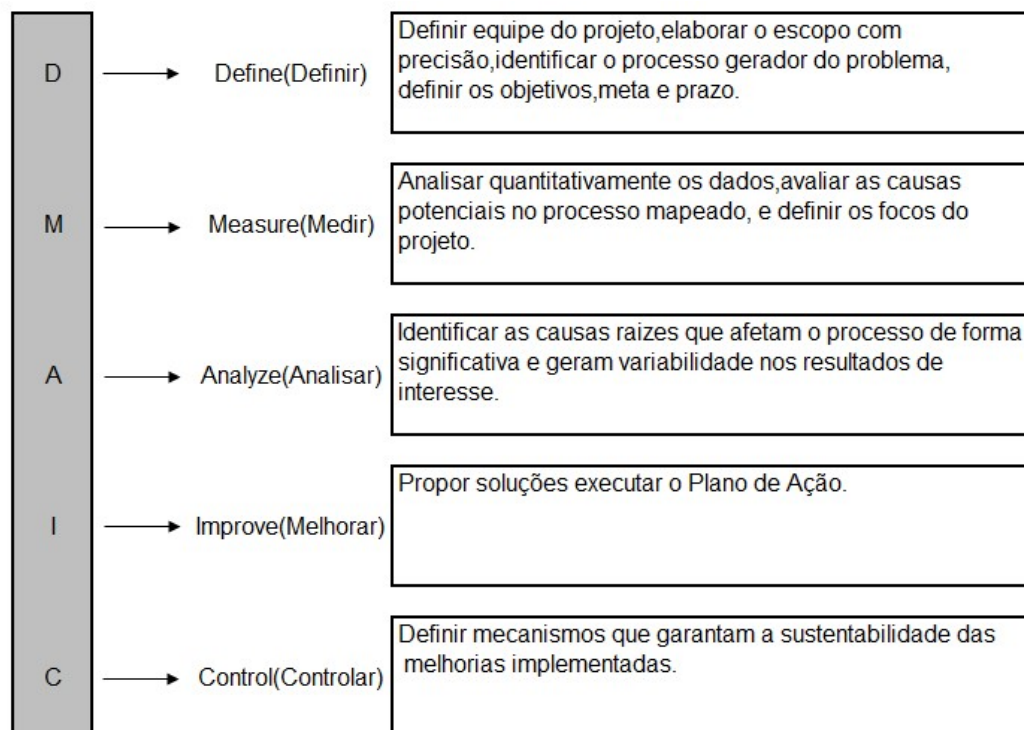
Nível Sigma	Curto prazo sem desvio de $1,5\sigma$ em relação a média		Longo prazo com desvio de $1,5\sigma$ em relação a média		Índice Cpk
	Taxa de defeito DPMO	%	Taxa de defeito DPMO	%	
1 σ	317.311	68,26%	697.672	30,90%	0,33
2 σ	45.500	95,44%	308.770	69,10%	0,67
3 σ	2.700	99,73%	67	93,30%	1,00
4 σ	63,37	99,9937%	6,21	99,40%	1,33
5 σ	0,574	99,999943%	233	99,98%	1,67
6 σ	0,002	99,999998%	3,4	99,9997%	2,00

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

3.4 Metodologia Seis Sigma

A metodologia SS não requer ter uma compreensão profunda das estatísticas que explica-se por meio de uma medida estatística, determinando a eficiência ou a qualidade de um produto ou serviço. SS é normalmente denotado por uma letra grega “ σ ” que indica sigma. Esta letra denota o desvio padrão do processo estudado. Nas estatísticas, o desvio padrão dá uma indicação de quão longe os dados parâmetros estão longe da média amostral. Um baixo desvio padrão implica que os valores dos dados estão mais próximos da média e um maior desvio padrão significa que os valores dos dados tendem a estar distantes da média. Isso dá uma ideia da variação que existe entre os parâmetros de dados. Segundo Pande *et al.* (2001) a estratégia SS apresenta um importante ciclo de melhoria conhecido como DMAIC, um método baseado na resolução de problemas e para melhoria dos processos. De acordo com Werkema (2002), o DMAIC é dividido em cinco etapas que são descritos na Figura 7.

Figura 7- Etapas da Metodologia DMAIC



Fonte: Adaptado de Werkema (2002)

3.5 Integração Lean Seis Sigma

A integração entre LM e SS é natural e não possui conflitos, pois ambas estão voltadas para a promoção da melhoria contínua na organização. A melhor forma de integrá-los é aplicando os pontos fortes de cada uma das metodologias (WERKEMA, 2011).

Segundo Pannell, (2006) as duas metodologias juntas são uma poderosa ferramenta que se completam e não competem entre si. O fato não está em usar uma metodologia ou outra, mas usar ambas as técnicas em conjunto, podendo ser essencial para uma completa estratégia de melhoria de desempenho, no período de longo prazo.

As empresas devem aproveitar os pontos fortes de cada metodologia. Por exemplo, o LM não possui um método estruturado e sistemático para solução de problemas, não consegue colocar um processo em controle estatístico, de modo diminuir a variabilidade, características que constituem a metodologia Seis Sigma. Já o SS não consegue imprimir velocidade nos processos, reduzir o lead time, características que complementam o LM (WERKEMA, 2011). De acordo com Werkema (2011) os pontos fortes do LM e SS, são ilustrados no Quadro 5.

Quadro 5- Os pontos fortes do Seis Sigma e do *Lean Manufacturing*

Seis Sigma	Lean Manufacturing
1-Utilização, para a análise de dados, de ferramentas estatísticas, que auxiliam na solução de problemas complexos.	1-Tendência para ação imediata no caso da solução de problemas de escopo restrito e de baixa complexidade Kaizen.
2-Busca da redução da variabilidade.	2-Utilização de Técnicas simples para análise de dados durante os eventos Kaizen.
3-Ênfase na redução de custos e defeitos definidos pelos clientes.	3-Busca da redução do lead time e do trabalho em processo.
4-Seleção de projetos associados às metas estratégicas da empresa.	4-Ênfase na maximização da velocidade dos processos.
5-Mensuração direta do retorno financeiro gerado pelo programa.	5-Seleção de projetos estratégicos identificados pelo Mapeamento do Fluxo de Valor e também de projetos de interesse exclusivo para alguma área da empresa.
6-Elevada dedicação dos especialistas.	
7-Envolvimento de todas as pessoas da empresa, diferentes níveis de aprofundamento do programa(Black Belts, Green Belts e Yellow Belts), como responsáveis por conhecer e implementar seus conceitos e sua metodologia.	

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

3.6 Sistema de manufatura enxuta

A manufatura enxuta pode ser melhor definida como o descarte de resíduos em um sistema de produção, sendo considerado como desperdício, tudo aquilo que não agrega valor ao produto final. A manufatura enxuta visa criar um produto que é exatamente o que o cliente deseja, minimizando todos os itens sem valor agregado nas operações de produção. O fluxo de valor é descrito apenas como o que o cliente está disposto a pagar.

3.7 Técnicas e ferramentas do Lean Seis Sigma

A Figura 8 a seguir, ilustra a integração entre o LM e SS, onde destaca-se os objetivos centrais de cada metodologia.

Figura 8- Sistema integrado LSS



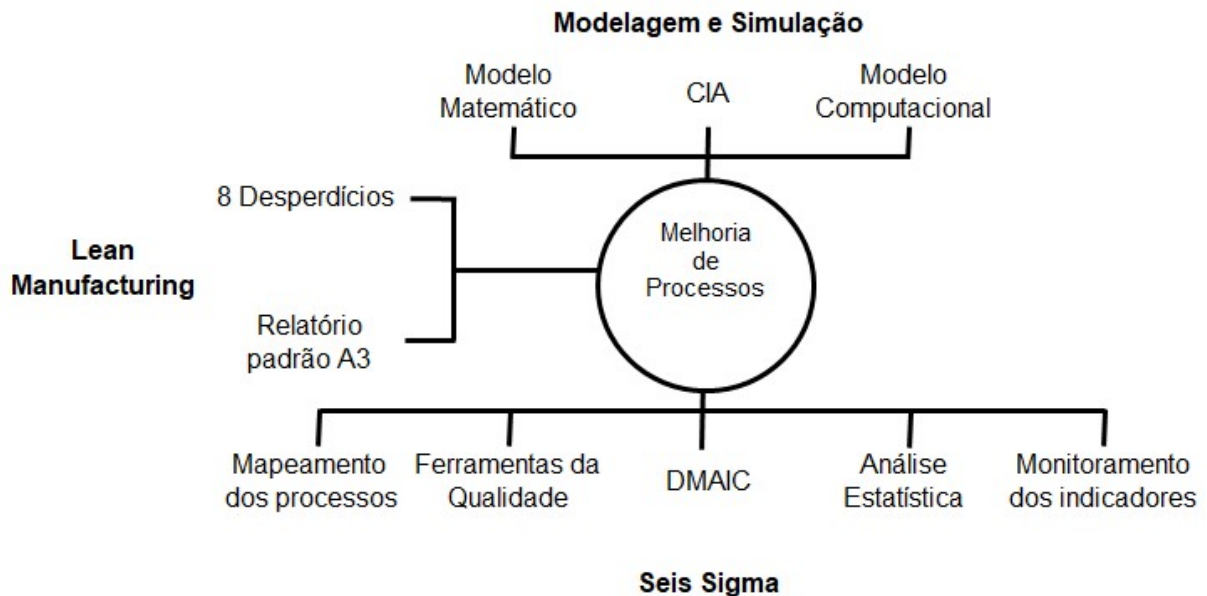
Fonte: Autoria própria

- Lean possui enfoque na eliminação de desperdícios com a racionalização industrial, redução de gargalos e sistema puxado de produção;
- SS possui enfoque fortemente estatístico e na redução da variabilidade do processo, com a redução de defeitos com a resolução dos problemas;
- LSS possui enfoque na solução de problemas com a melhoria dos processos.

3.8 Melhoria de Processos

Num cenário cada vez mais competitivo e com o mercado cada vez mais exigente, indústrias são direcionadas a cada vez mais se habituarem às altas exigências de qualidade, inovação em prazos mais curtos, tempo de entrega menores e todos esses fatores aliados ao menor custo possível (DOMBROWSKI *et al.*, 2016). A colaboração e o aperfeiçoamento em grupo, junto a outras medidas que visam eliminar desperdícios e reduzir os custos, são fatores fundamentais que garantem o sucesso na produtividade e na qualidade do produto ofertado. A Figura 9, ilustra os fatores dentre as metodologias Lean, Seis Sigma, Modelagem e Simulação consideradas nesta dissertação.

Figura 9- Metodologias combinadas para Melhoria dos Processos



Fonte: Autoria própria

3.9 Os 8 Desperdícios do Lean Manufacturing

O fundamento básico do LM é a maximização dos lucros através da redução dos custos e desperdícios (GUTERRES, 2017). E para identificar esses desperdícios, é de suma importância o entendimento de cada etapa do processo e a definição dos objetivos que devem ser alcançados com exatidão, para que seja possível ter foco e visão clara dos resultados obtidos (GOUVEIA *et al.*, 2017). Segundo Moraes (2011), a Toyota identificou os oito principais desperdícios frequentemente encontrados em processos produtivos, é considerado como objetivos do Lean a eliminação destes oito desperdícios, através da melhoria contínua. São eles:

3.9.1 Superprodução

Esse desperdício remete a produção antecipada ou excessiva (acima da demanda). Gera excesso de pessoal, excesso de estoque e transporte desnecessário.

- Características: Estoque alto dentro do processo, áreas ocupadas, grande movimento de peças e pessoas, aumento de pessoal e custos com energia.

- Causas Principais: Operações desbalanceadas, falta de comunicação, alto tempo de parada de equipamento.

3.9.2 Movimentação de material

O transporte em si, não agrega valor ao produto, portanto, o movimento de estoque por longas distâncias ou transporte ineficiente é um desperdício. Para minimizá-lo é preciso escolher bem os locais de armazenagem e o percurso a ser percorrido.

Gera desnecessários movimentos de trabalho por meio de transporte, empilhadeiras, carrinhos ou paleteiros, ao qual não agrega valor ao produto.

- Características: Percursos extras, uso excessivo da força, manuseio excessivo e layouts ruins e mal definidos.
- Causas principais: Local de trabalho mal estabelecido ou sequência de trabalho padronizado não adequadamente planejada ou seguida.

3.9.3 Estoque

É o armazenamento excessivo de insumos, matéria-prima e produto intermediário ou acabado. Significa dinheiro parado, que ainda pode gerar custo excessivo e não esperado, baixo desempenho do serviço prestado ao cliente, longo lead time, produtos danificados e atrasos. Oculta problemas como desbalanceamento de produção, defeitos no produto ou em equipamentos e longo tempo de setup.

- Características: Docas com grandes recebimentos, contêineres extras, racks e empilhadeiras.
- Causas principais: Programação desbalanceada, sem sistema puxado, muitas áreas com armazenamento de material.

3.9.4 Movimentação de pessoas

Se trata de movimentos desnecessários que o colaborador tem que realizar durante o processo.

- Características: Está relacionado à desorganização do ambiente, que gera perda de tempo e pode ser eliminado através do estudo de tempos e métodos, com a identificação de movimentos ou modificação de layout.
- Causas principais: Localização dos recursos necessários para desenvolvimento das atividades rotineiras mal estabelecidas e layout mal definido.

3.9.5 Processamento

São etapas de um processo, produtivo ou não, que não agregam valor ao produto final, é fazer algo que o cliente não perceba como valor agregado ao produto.

Causa movimentos desnecessários, perdas de tempo e esforço e ainda pode impactar em produtos com defeitos. Um produto com qualidade superior à esperada pelo cliente também é considerado como desperdício.

- Características: Clicar uma chave de torque duas vezes quando, somente uma vez é suficiente para os padrões de qualidade, aplicar uma camada de tinta demasiadamente obtendo uma espessura de camada superior ao especificado pelo cliente.
- Causas Principais: Falta de padrões, procedimentos não existentes ou ineficientes.

3.9.6 Espera

Inoperância de pessoas, aguardo por informação, matéria-prima ou produto semiacabado. Pode ser em função de um processo atrasado em andamento, espera por falta de matéria-prima ou ferramenta, que pode gerar um lead time maior.

Ao permanecer em um lugar ao fazer algo diferente do que está relacionado à tarefa em mãos, que se trata de um uso improdutivo do tempo em que não agrega valor ao processo.

Características: Espera do trabalhador por uma máquina ou por outro trabalhador, espera por pessoas, informações ou reuniões para iniciar “no tempo” é um desperdício.

Causas Principais: Operações desbalanceadas ou paradas do equipamento por quebra.

3.9.7 Defeitos

Pode haver problemas de qualidade ou produção em série, que geram retrabalhos e descarte no produto. Esta ação demanda gasto de tempo e dinheiro desnecessário para aquele processo, podendo até mesmo afetar a relação com o cliente, caso haja devolução do produto.

- **Definição:** Todas as atividades de reparo, são oportunidades para eliminar o desperdício.
- **Características:** Recursos adicionais requeridos para reparar e organização reativa.
- **Causas Principais:** Treinamento deficiente, ferramentas inadequadas e estoque alto.

Dentre os desperdícios do Lean, mais tarde, na década de 1990 foi introduzido o oitavo desperdício ou “Habilidades”, quando o Sistema Toyota de Produção foi adotado no mundo ocidental (SANDER, 2019).

3.9.8 Intelectual

É o desperdício do não aproveitamento do conhecimento intelectual dos colaboradores nas empresas, o qual pode não ser aproveitado e assim causar um desperdício de melhoria para o processo. O colaborador é o que exerce a função, ou seja, entende bem do processo e pode colaborar com grandes ideias quando motivado a apresentá-las.

3.10 O padrão de relatório A3

O relatório A3 é uma das ferramentas do LM difundida mundialmente. O A3 pode ser definido como uma ferramenta que busca reconhecer e propor resolução de problemas, com muito potencial de utilidade para as organizações, desde sua etapa de análise, até a proposta de soluções, de forma clara e sucinta. Quanto a sua implementação de forma apropriada, sua abordagem pode auxiliar a empresa, em direção a uma visão sistêmica da melhoria dos seus processos ao invés de otimização. Por meio dele, é possível identificarmos a causa raiz, sua natureza e a gama de contramedidas possíveis, para seleção e observar se o problema foi efetivamente solucionado. Sendo muito utilizado na indústria, como gestão visual, o A3 é composto das seguintes partes básicas, ilustrado na Figura 10.

Figura 10- Modelo de relatório A3

RELATÓRIO A3	
TÍTULO DO PROJETO	
NOME DO PROCESSO	META
1. Background:	5. Análise de causa:
2. Condição atual:	6. Implementação do Plano de ação:
3. Estratificar o problema:	7. Follow-Up:
4. Estabelecer a meta:	
DATA INICIAL	PRAZO
MEMBROS TIME	

Fonte: Autoria própria

3.10.1 Campos básicos de composição do relatório A3:

- Título do Projeto: Breve descrição do projeto quanto ao seu objetivo principal;
 - Nome do Processo: Definição do processo, setor ou área, ao qual, será desenvolvido o trabalho de melhoria;
1. Background: Plano do negócio, descrição do problema ou extensão do problema. Neste campo do relatório A3 se define o escopo e premissas principais do trabalho de melhoria. É definido, quais os problemas que precisam ser resolvidos e assim, identificar suas possíveis soluções. Ferramentas aplicáveis: Brainstorming de ideias, Matriz de prioridade, podemos citar a GUT, que pode ser considerada uma ferramenta que auxilia na priorização para uma seleção de projetos, temas ou resoluções de problemas para melhoria do processo.

FEPCSC(Fornecedor, Entrada, Processo, Saída e Cliente) em inglês SIPOC(*Supplier, Input, Process, Output and Customer*). Se trata de uma ferramenta muito usual para mapeamento do processo.

- Fornecedor: qual tipo de matéria-prima ou produção que trará a sustentabilidade do processo.
 - Entrada: itens que serão utilizados por meio do fornecimento inicial, atividades do processo chave, quantidade de energia utilizada, mão-de-obra, equipamentos ou máquinas etc.
 - Processo: a produção em si que transformará a matéria-prima e os itens de entrada em seu fim, ou seja, o produto final.
 - Saída: o processo finalizado e testado, pronto para a etapa posterior ou final.
 - Cliente: a experiência do cliente com o produto, suas sugestões e críticas sobre ele, relacionamento visando a busca de requisitos gerais.
2. Situação ou condição atual: Fase de mapeamento (Gemba walk) do processo estudado. Neste campo, cabe levantar a situação atual, coletar dados do processo, identificar as fontes causadoras dos problemas e levantar o

processo gargalo. Ferramentas aplicáveis: Folha de verificação, Análises gráficas (podemos citar o Gráfico de barras, Gráficos de Linhas, Gráficos de Dispersão e/ou Gráfico de Pareto).

3. Análise inicial da situação: Fase da estratificação do problema e entender a causa real do problema. Neste campo, cabe uma análise dos dados coletados no processo com objetivo de encontrar as causas principais.

Ferramentas aplicáveis: Análise de Pareto, Estatística Descritiva, Mapa de Processos, FMEA e Teste de Hipóteses.

- Análise de Pareto: é uma das principais ferramentas da qualidade. Ele é conhecido pela regra 80-20, onde 20% das causas são responsáveis por 80% dos problemas de uma empresa. Assim, se conseguirmos solucionar esses 20%, conseguiremos acabar com boa parte dos problemas.
 - Estatística Descritiva: é a etapa inicial de análise de dados, ao qual, é utilizada para avaliar e compreender as informações do processo.
 - Mapa de Processos: é uma representação gráfica, que pode ser elaborada por meio de um fluxograma, que represente todas as atividades que compõe um determinado processo da empresa. Todas as relações devem ser deixadas claras, mostrando quem é responsável por cada atividade desde a entrada até as saídas.
 - FMEA: conhecido em inglês como Failure Mode and Effect Analysis, é conhecido como uma ferramenta que busca detectar falhas antes que se produza uma peça ou produto. Ela pode auxiliar no aumento da confiabilidade do processo.
 - Teste de hipóteses: é uma regra que define se podemos ou não aceitar ou rejeitar uma informação sobre uma determinada população, de acordo com os dados fornecidos através de uma amostra de dados.
4. Meta: Definição de um valor mensurável para evidenciar se os resultados foram ou não alcançados;

5. **Análise de causa:** Fase de entendimento da causa raiz do problema. Diagrama de Ishikawa: é uma ferramenta de gestão da qualidade que pode nos auxiliar a encontrar as possíveis causas potenciais de algum problema. Também é conhecido como Diagrama de causa e efeito, espinha de peixe ou diagrama 6M.
 - **Folha de Verificação:** A Folha de verificação são tabelas ou planilhas usadas para facilitar, a análise e pontuar se as causas potenciais são somente potenciais ou se elas são causas reais.
 - **5 Porquês:** é uma ferramenta utilizada para identificar a causa raiz de algum problema. Perguntando 5 vezes (não precisa ser necessariamente ser cinco vezes), dependendo da complexidade, conseguimos descobrir a causa com menos respostas e dependendo precisamos de mais de cinco respostas, para descobrir o porquê de um problema ou defeito ocorrido.
6. **Implementação do Plano de ação:** Fase de definição e implementação do Plano de ação. Neste campo, se define as ações necessárias para garantir que os problemas identificados sejam resolvidos e a melhoria no processo seja garantida para atendimento das métricas previamente estabelecidas.

Ferramentas aplicáveis: 5W2H

- **5W2H:** A ferramenta 5W2H, em inglês What (O que?), Why (Por quê?), When (Quando?) Where (Onde?), Who (Quem?), How (Como?) e How much (Quanto custa?), pode ser utilizada para auxiliar e nos orientar, na organização e planejamento das atividades, que serão definidas para resolução dos problemas e para a melhoria do processo. Deve-se lembrar, que todas as atividades implementadas devem ser monitoradas para acompanhar a evolução do processo.

Dessa forma, essa ferramenta permite facilitar a interpretação objetiva e transparente do problema e do ambiente pelo qual ela está inserida.

7. Follow-up: Fase de controle e padronização, após o implemento das ações definidas para resolução dos problemas e consecutivamente prover a melhoria do processo. Neste campo, deve ser monitorado, por um período de tempo definido pelo time envolvido, após a implementação das contramedidas e ações, cabe a verificação se os resultados permanecem e estão garantidos e de acordo com as metas previamente estabelecidas.

Ferramentas aplicáveis: Gráfico de Barras ou Gráfico de Linha.

Nesta dissertação, o relatório A3 é aplicado como ferramenta de suporte, monitoramento das fases e para a visualização, dos trabalhos aplicados a melhoria de processos.

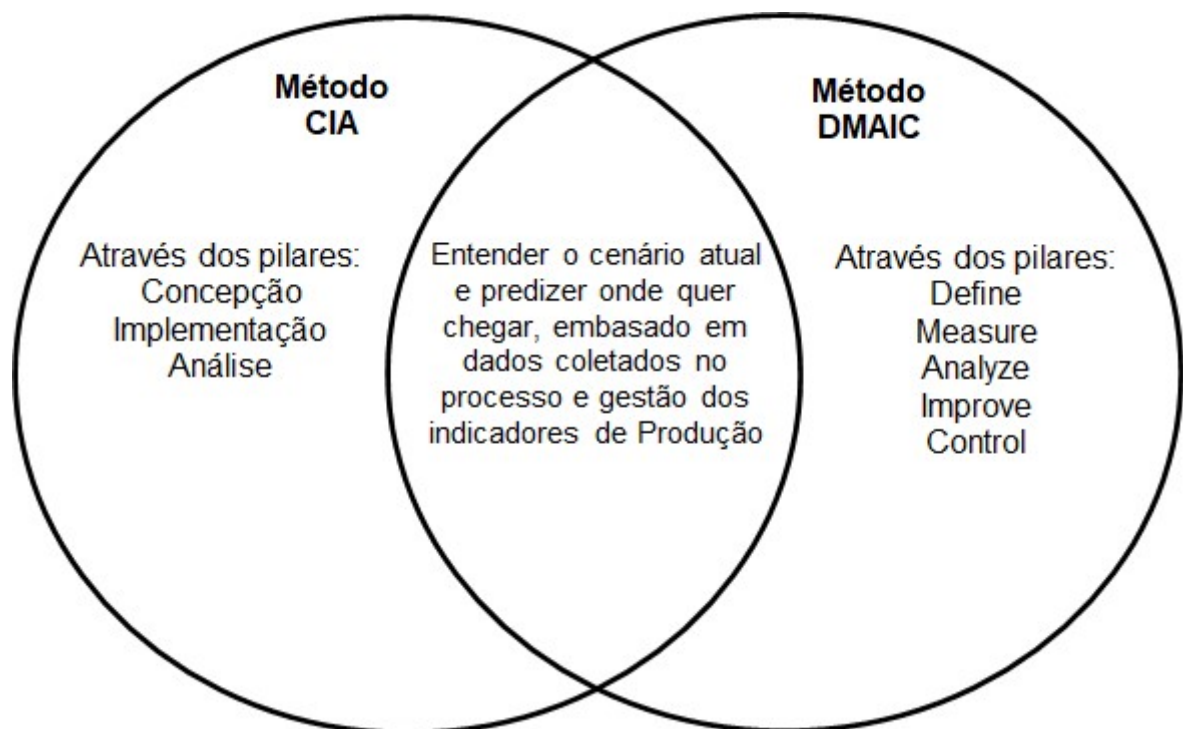
Um relatório A3, com a situação atual completamente identificada, com uma boa análise dos fatos e identificado as fontes causadoras das variações dos problemas, certamente as contramedidas são mais efetivas. Caso os resultados atendam as métricas estabelecidas, o trabalho é concluído e em caso de não serem satisfatórios, o modelo pode ser modificado, e o ciclo é reiniciado. Deve ser traçado um plano de reação para identificar a causa de uma possível falha nos passos anteriores.

4. O MÉTODO M&SLSS APLICADO À MELHORIA DE PROCESSOS

Neste capítulo, é proposto um framework, com uso das boas práticas, combinando o LSS, com M&S, como ferramenta de suporte no método M&SLSS. Apresentar a concepção de um modelo matemático, que se obtém como variáveis de resposta os resultados e o monitoramento dos principais indicadores operacionais da produção, comparando um cenário real, com um cenário futuro desejado, com a predição dos resultados. Em seguida, se apresenta uma proposta metodológica para implementação do método M&SLSS, através de um roteiro simples, de fácil compreensão, porém original, constituído de 5 Etapas e 12 Passos construtivos.

O método *Modelling and Simulation Lean Six Sigma* (M&SLSS), combina as metodologias de Modelagem e Simulação, com LSS, com a utilização das técnicas e ferramentas, disponibilizadas como benefícios e vantagens, aplicadas a melhoria de processos conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11- Esquemática CIA dentro da Metodologia DMAIC



Fonte: Elaborado pelo Autor

Etapa 1: Concepção, composta pelas fases de definição, medição e análise:

Os passos para realizar um estudo de simulação CIA combinado com o método DMAIC incluem: planejar o estudo, definir o sistema, construir o modelo, realizar experimentos, analisar as saídas (outputs) e apresentar os resultados. Como previamente visto nos capítulos anteriores, a metodologia DMAIC, é composta por 5 etapas: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. Além disso, por se tratar de uma ferramenta de análise, ela também pode orientar no desenvolvimento de melhorias nos processos.

A tarefa de modelagem envolve certa habilidade para abstrair as características essenciais de um problema, para selecionar e modificar as suposições que caracterizam o sistema, e para destacar os resultados de interesse. Deve-se começar com um modelo simples, e então, a partir deste, chegar a modelos mais complexos. É aconselhável envolver o usuário na concepção do modelo matemático. Isto aumenta a qualidade do modelo resultante e a confiança deste usuário na aplicação do modelo (MIYAGI,2006).

Passo 1: Definição do Sistema

Neste passo, é onde se pode determinar as principais necessidades da empresa, onde são definidos, o tema, os objetivos, a meta e o prazo para o desenvolvimento do trabalho de melhoria.

Passo 2: Formulação do Modelo

Neste passo, é definido o problema, a sua causa raiz, um plano de ação para resolução da causa raiz e o escopo do modelo, com objetivo, de melhorar o processo em análise.

Passo 3: Modelo Abstrato

Os modelos podem ser classificados como modelos físicos, modelos abstratos ou modelos simbólicos. Sendo estes, essenciais para auxílio na tomada de decisão, que envolve o uso de dados coletados em processo, para análise e sua interpretação.

Passo 4: Representação do Modelo

Neste passo, identifica-se as variáveis relevantes e importantes para descrever o modelo, formalização das equações do modelo e como essas variáveis se relacionam em expressões matemáticas. Na fase de concepção, também acontecem a coleta e o tratamento dos dados de entrada, onde se mede o processo e se avalia seu desempenho.

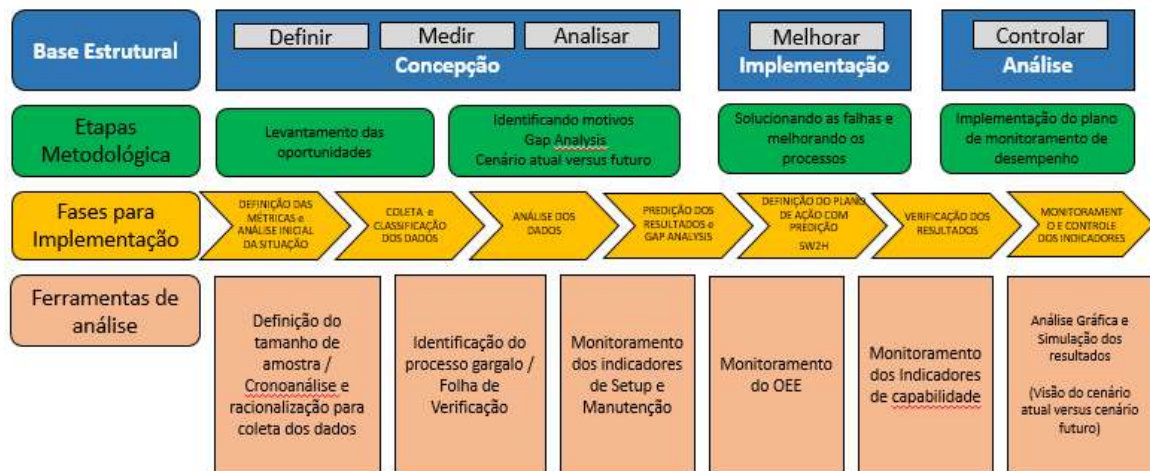
Há uma relação entre a concepção do modelo e os dados de entrada necessários. Ao variar a complexidade do modelo, os dados necessários também podem mudar. Como a coleta de dados pode envolver muito tempo, é recomendável iniciar esta fase o quanto antes, geralmente junto com as etapas iniciais da construção do modelo. Os objetivos do estudo definem os tipos de dados a serem coletados (MIYAGI,2006).

Com a análise dos dados coletados nos passos anteriores, se torna possível identificar as causas de um problema e indicar melhorias que possa agregar valor ao processo.

Passo 5: Modelo Conceitual

Conjunto de conceitos e princípios que representam, de modo abstrato e simplificado, um objeto, uma ideia, um conceito ou uma teoria. Onde se mostra, de forma sequencial e lógica o processo/sistema proposto. O roteiro proposto é constituído por uma Base estrutural, Etapa metodológica, Fases para implementação e composto por Ferramentas de análise, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12- Estrutura lógica para aplicação do M&SLSS



Fonte: Autoria própria

Etapa 2: Implementação, composta pela fase de Melhoramento

Passo 6: Implementação do Modelo

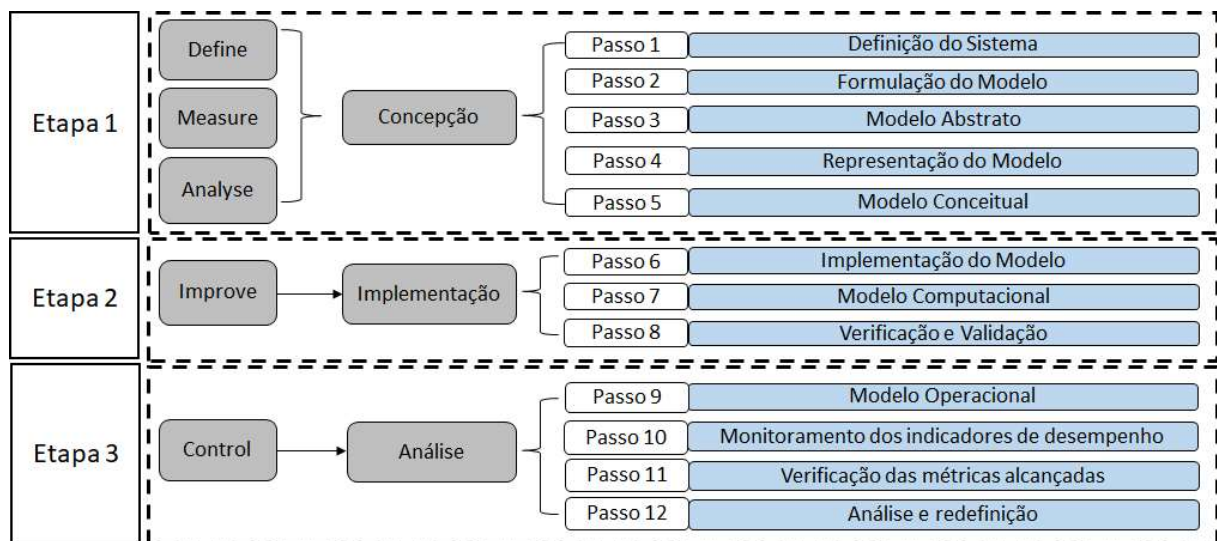
O sucesso da fase de implementação depende de como foram conduzidos os passos anteriores. Se o usuário esteve envolvido durante o processo de edição do modelo e entende a natureza do modelo e suas saídas, este pode contribuir efetivamente para a fase de implementação (MIYAGI,2006). Assim sendo, propor soluções, que corrijam e previnam que os erros aconteçam novamente para implementar melhorias.

Neste passo, o modelo é programado em alguma linguagem genérica ou de modelagem.

Passo 7: Modelo Computacional

O Modelo Computacional proposto, foi subdividido em 3 etapas principais, tendo como base o método CIA dentro do DMAIC, com 12 passos detalhados, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13- Roteiro para aplicação do M&SLSS



Fonte: Autoria própria

Passo 8: Verificação e Validação

Neste passo, o modelo computacional é comparado com o modelo conceitual e alguns testes devem ser realizados para verificar se o modelo se aproxima do real ou do esperado para validação, são realizados experimentos com o modelo computacional realizando várias rodadas, dando origem ao modelo operacional. Após validação, é definido um plano de ação, para resolução das variáveis e causas, que impactam diretamente ao não atendimento das métricas.

A verificação em geral faz parte do processo de edição do modelo e programação do computador preparando-o para a simulação. Deve-se verificar se o programa de computador executa o modelo conforme o esperado. Modelos complexos, envolvem maiores riscos na sua tradução para o computador e por isso deve-se ter maior cuidado nestes casos (MIYAGI,2006).

Validação é a confirmação de que um modelo é uma representação adequada do sistema real. Validação é geralmente resultante da calibração do modelo, isto é, um processo iterativo de comparar dados do modelo com o comportamento do sistema real, usando as discrepâncias entre os dois para melhorar o modelo. Este processo é repetido até que o modelo seja julgado aceitável (MIYAGI,2006).

Etapa 3: Análise final, composta pela fase de Controle

Nesta etapa, se realiza o acompanhamento e monitoramento dos resultados, validar a eficácia das ações que foram aplicadas. Deve-se criar formas de garantir os resultados de forma sistêmica e visando eventuais novas melhorias.

Passo 9: Modelo Operacional

O conhecimento e otimização do processo produtivo é fundamental para aumentar a eficiência e manter a empresa competitiva no mercado. Em ambientes de produção modelos matemáticos são utilizados para uma análise rigorosa dos processos e tomada de decisão. As decisões são tomadas nos níveis, estratégico, tático e operacional e significa escolher uma opção entre alternativas de solução viável para a situação. Um Modelo Matemático foi desenvolvido para suporte a Produção, melhoria de processos e para o auxílio na tomada de decisão, com predição e monitoramento dos resultados operacionais. Trata-se de um modelo de simulação, ao qual, conhecemos os fatores de entrada e o sistema modelado, obtendo como propósito principal, conhecer as variáveis de saída. Modelo de simulação quando executado, fornece as alternativas e flexibilidade, com relação à escolha do cenário mais apropriado. Desse modo, o modelo matemático do sistema proposto contempla vinte e seis variáveis de entrada, que serão gerados em função do banco de dados coletados no processo estudado, são eles:

- LIE: Limite inferior de especificação, é o menor extremo da classe;
- LSE: Limite superior de especificação, é o maior extremo da classe;
- *Mín value: Menor valor encontrado;*
- *Máx value:* Maior valor encontrado;
- *Mean:* Média amostral, que é calculada pela obtenção da soma, de todos os valores da amostra de dados e em seguida, dividindo pelo número de elementos contidos na amostra;
- *Std dev:* Desvio padrão amostral, consiste em uma medida do nível de dispersão, ou seja, ele indica quão uniforme está um conjunto de dados;
- *Moda:* Moda, é o valor com maior frequência absoluta em um conjunto de dados;
- *Med:* Mediana, é o valor que está posicionado no centro do conjunto de dados;
- *Received order date:* Data do recebimento da ordem de produção;

- *Date of order delivered*: Data de entrega do pedido;
- *Time Available for Production*: Tempo disponível de produção;
- *Scheduled downtime*: Tempo de paradas programadas;
- *Total setup time per day*: Tempo de setup por dia;
- *Number of setups per day*: Número de setup por dia;
- *Number of employees in the production line*: Número de colaboradores da linha de produção;
- *Operator cycle time 1*: Tempo de ciclo do operador 1;
- *Operator cycle time 2*: Tempo de ciclo do operador 2;
- *Operator cycle time 3*: Tempo de ciclo do operador 3;
- *Production (number of units)*: Número de peças da ordem de produção;
- *Scrap Number (unit)*: Número de peças defeituosas do lote;
- *Rework*: Retrabalho;
- *Total production time*: Tempo total de produção;
- *Theoretical time by units (pieces)*: Tempo teórico de produção;
- *Unscheduled downtime*: Tempo de paradas não programadas;
- *Maintenance time*: Tempo de parada por Manutenção;
- *Number of maintenance stops*: Número de paradas por Manutenção.

O modelo matemático contempla ainda dezoito variáveis de saída, são elas:

- *Cp*: Índice Cp;
- *Cpk*: Índice Cpk;
- *PPM*: Partes por milhão;
- *Sigma Level*: Nível Sigma do processo;
- *Number of pieces needed (Order Production)*: Número de peças requeridas na Ordem de Produção;
- *Lead Time*: pode ser definido como um ciclo de produção, é o tempo decorrido desde o recebimento do pedido do cliente até a entrega final;
- *Takt Time*: é o ritmo, no qual é necessário produzir para atender a demanda do cliente;
- *Cycle Time*: Tempo de ciclo é o tempo gasto para produção de um determinado item ou peça;
- *Std dev*: Desvio padrão amostral, consiste em uma medida do nível de dispersão, ou seja, ele indica quão uniforme está um conjunto de dados;
- *Efficiency Rate*: Taxa de Eficiência;
- *Quality Rate*: Taxa de Qualidade;
- *Availability Rate*: Taxa de Disponibilidade ou Utilização;
- *OEE*: Eficiência Global do equipamento;
- *MTBF*: Tempo médio entre falhas de um equipamento;
- *MTTR*: Tempo médio para reparar o equipamento;
- *Average setup time*: Tempo médio de setup;
- *%Scrap*: Percentual de sucata;

- **Production Bottle (GBO):** Gargalo de produção, que pode ser definido como o processo mais lento da linha produtiva, fazendo com que a produção trave e não fluam conforme o esperado.

Este Modelo de Simulação, visa correlacionar, além dos fatores operacionais da Produção, bem como, dos produtos, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14- Modelo matemático para apoio a Produção e auxílio na tomada de decisão

Inputs		Outputs
A	LIE	$Cp = (B-A)/(6*F)$ Cp
B	LSE	Cpk
C	Min value	$Cpk = \min((B-E)/(3*F)) ; ((E-A)/(3*F))$ PPM
D	Máx value	$PPM = (T/S)*1000000$ Sigma level
E	Mean	Number of pieces needed(OP)
F	Std dev	Lead Time $\text{Number of pieces needed(OP)} = S + (S*(1+U))$
G	Moda	Takt Time Lead Time=L-J
H	Med	Cycle Time Takt Time=K/S
I	Received order date	Std dev Cycle Time=(K-Z)/S
J	Date of order delivered	Efficiency Rate
K	Time Available for Production	Quality Rate
L	Scheduled downtime	Availability Rate $\text{Stddev} = ((B-E)/Cpk)/3 ; ((E-A)/Cpk)/3$
M	Total setup time per day	OEE Sigma Level=3*Cpk
N	Number of setups per day	MTBF Efficiency Rate=(X*S)/(K-Z)
O	Number of employees in the production line	MTTR Availability Rate=(K-Z/K)
P	Operator cycle time 1	Average setup time Worked time=(K-Z)
Q	Operator cycle time 2	%Scrap Quality Rate=(S-T)/S
R	Operator cycle time 3	Production Bottle(GBO) $OEE = (\text{Efficiency rate} \times \text{Availability rate} \times \text{Quality rate}) * 100$
S	Production(number of units)	
T	Scrap Number (unit)	
U	Rework	
V	Total production time	
X	Theoretical time by units (pieces)	$MTBF = (V-W)/Y$
Z	Unscheduled downtime	$MTTR = (W/Y)$
W	Maintenance time	
Y	Number of maintenance stops	Average setup time =M/N % Scrap=T/S Production Bottle=Máx value(P ; Q ; R)

Fonte: Autoria própria

Na etapa de concepção do modelo, foi pensado na subdivisão do mesmo em quatro blocos principais, para um melhor entendimento do sistema, como segue:

1. Bloco dos Indicadores de Capabilidade de Processo
2. Bloco dos Indicadores de Produção
3. Bloco dos Indicadores de Manutenção
4. Bloco dos Indicadores de PPCP

- Bloco 1: Capabilidade de processo, contém seis variáveis de entrada e seis variáveis de saída como ilustrado na Figura 15.

Figura 15- Modelo matemático do bloco de Capabilidade

Inputs		Outputs	
A	LIE	$Cp = (B-A)/(6 \cdot F)$	Cp
B	LSE	$Cpk = \min((B-E)/(3 \cdot F)) ; ((E-A)/(3 \cdot F))$	Cpk
E	Mean	$PPM = (T/S) \cdot 1000000$	PPM
F	Std dev	$Stddev = ((B-E)/Cpk)/3 ; ((E-A)/Cpk)/3$	Sigma level
S	Production(number of units)	$Sigma\ Level = 3 \cdot Cpk$	Std dev
T	Scrap Number (unit)	$\% \text{ Scrap} = T/S$	%Scrap

Fonte: Autoria própria

Para calcular o índice Cp, que mede a dispersão do processo estudado à partir de um conjunto de dados, utiliza-se a equação (1):

$$Cp = \frac{LSE(B) - LIE(A)}{6 \times Std\ dev(F)} \quad (1)$$

Em que:

Cp = índice Cp

A = LIE (limite inferior de especificação)

B = LSE (limite superior de especificação)

F = Std dev (desvio padrão)

Para o cálculo do índice Cpk, que mede a centralização do processo, utiliza-se a equação (2):

$$Cpk = \min \left[\frac{LSE(B) - Mean(E)}{3 \times Std\ dev(F)} ; \frac{Mean(E) - LIE(A)}{3 \times Std\ dev(F)} \right] \quad (2)$$

Em que:

Cpk = índice Cpk

A = LIE (limite inferior de especificação)

B = LSE (limite superior de especificação)

E = *Mean* (Média)

F = *Std dev* (desvio padrão)

Uma métrica importante é a medida da Proporção Defeituosa, PPM, calculada de acordo com a equação (3). Dada a expressão para o cálculo do PPM, como segue na equação (3):

$$PPM = \left(\frac{\text{Scrap number}(T)}{\text{Production}(S)} \right) \times 1000000 \quad (3)$$

Em que:

PPM = Partes por milhão de unidades

T = *Scrap number* (Nº de sucata gerada no processo)

S = Produção (nº de peças produzidas)

Para o cálculo do *Std dev* do processo, dado sua equação, ilustrado na figura (4):

$$\text{Std dev} = \text{Máx} \left(\frac{\frac{LSE(B) - Mean(E)}{Cpk}}{3} ; \frac{\frac{Mean(E) - LIE(A)}{Cpk}}{3} \right) \quad (4)$$

Em que:

Std dev = desvio padrão amostral em milímetros

A = LIE (limite inferior de especificação) em milímetros

B = LSE (limite superior de especificação) em milímetros

E = *Mean* (Média) em milímetros

Cpk = índice Cpk

Para o cálculo do nível Sigma do processo, basta multiplicar o valor conhecido do índice Cpk por 3, como segue demonstrado na equação (5):

$$\text{Sigma Level} = 3 * \text{Cpk} \quad (5)$$

Em que:

Sigma level = nível sigma do processo estudado

Cpk = índice Cpk

E por fim, completando o embasamento matemático do bloco 1, para o cálculo do indicador do % de sucata, utiliza-se a equação (6):

$$\% \text{ Scrap} = \frac{\text{Scrap number (T)}}{\text{Production (S)}} \quad (6)$$

Em que:

% *Scrap* = índice de sucata gerada no processo ou lote

T = *Scrap number* = nº de unidades ou peças rejeitadas no processo

S = *Production* = nº de unidades ou peças produzidas no lote

- Bloco 2: Indicadores Operacionais, contém onze variáveis de entrada e seis variáveis de saída, conforme ilustrado na Figura 16 a seguir:

Figura 16- Modelo matemático dos Indicadores Operacionais

Inputs		Outputs	
K	Time Available for Production	Efficiency Rate=(X*S)/(K-Z)	Efficiency Rate
M	Total setup time per day	Availability Rate=(K-Z/K)	Quality Rate
N	Number of setups per day	Worked time=(K-Z)	Availability Rate
O	Number of employees in the production line	Quality Rate=(S-T)/S	OEE
P	Operator cycle time 1	Average setup time =M/N	Average setup time
Q	Operator cycle time 2	Production Bottle=Máx value(P ; Q ; R)	Production Bottle(GB0)
R	Operator cycle time 3	OEE = (Efficiency rate x Availability rate x Quality rate)*100	
S	Production(number of units)		
T	Scrap Number (unit)		
X	Theoretical time by units (pieces)		
Z	Unscheduled downtime		

Fonte: Autoria própria

Dada a equação para o cálculo do fator “ *Efficiency Rate* ”, que mensura a taxa da eficiência operacional, como segue na equação (7):

$$\text{Efficiency Rate} = \frac{\text{Theoretical time}(X) \times \text{Production}(S)}{\text{Time available for production}(K) - \text{Unscheduled downtime}(Z)} \quad (7)$$

Em que:

Efficiency Rate = Taxa de Eficiência operacional

X= *Theoretical time* (tempo teórico de produção(em horas)

S= *Production* (Produção em nº de peças ou unidades)

K= *Time available for production* (Tempo disponível de produção) em horas

Z= *Unscheduled downtime* (Tempo de paradas não programadas ou planejadas) em horas

Dada a equação (8) para o cálculo do fator de “Availability Rate”, que se trata da taxa de utilização e/ou disponibilidade do equipamento ou máquina.

$$\text{Availability Rate} = \frac{\text{Time Available for Production}(K) - \text{Unscheduled downtime}(Z)}{\text{Time available for production}(K)} \quad (8)$$

Em que:

Availability Rate = Taxa de disponibilidade ou utilização do equipamento

K= *Time available for production* (Tempo disponível de produção) em horas

Z= *Unscheduled downtime* (Tempo de paradas não programadas ou planejadas) em horas

Dada a equação (9) para o cálculo do fator de “Quality Rate”, que se trata da taxa de qualidade:

$$\text{Quality Rate} = \frac{\text{Produccion(S)} - \text{Scrap Number(T)}}{\text{Produccion(S)}} \quad (9)$$

Em que:

Quality Rate = Taxa de qualidade

S= *Production* (Produção em nº de peças ou unidades)

T= *Scrap number* (Nº de sucata e/ou refugo, gerado no processo)

Dada a equação (10) para o cálculo do OEE(Overall Equipment Effectiveness), ou seja, a Eficiência Global do equipamento:

$$\text{OEE} = (\text{Efficiency rate} \times \text{Availability rate} \times \text{Quality rate}) \times 100 \quad (10)$$

Em que:

OEE = Eficiência Global do equipamento(%)

Efficiency Rate = Taxa de Eficiência operacional

Availability Rate = Taxa de disponibilidade ou utilização do equipamento

Quality Rate = Taxa de qualidade

Para o cálculo do indicador de “Average setup time”, que se trata do tempo médio de setup, é expresso pela equação (11), como segue:

$$\text{Average setup time} = \frac{\text{Total setup time per day}(M)}{\text{Number of setups per day}(N)} \quad (11)$$

Em que:

Average setup time = Tempo médio de setup por dia(em minutos)

M = *Total setup time per day* (Tempo total de setup por dia em minutos)

N = *Number of setups per day* (Número de setups por dia)

Para conhecer o tempo “gargalo de produção”, que é o tempo mais lento, que demanda maior ciclo operacional entre os operadores da linha produtiva, é demonstrado através da equação (12) a seguir:

$$\text{Production Bottle} = \text{Máx value}(P; Q; R) \quad (12)$$

Em que:

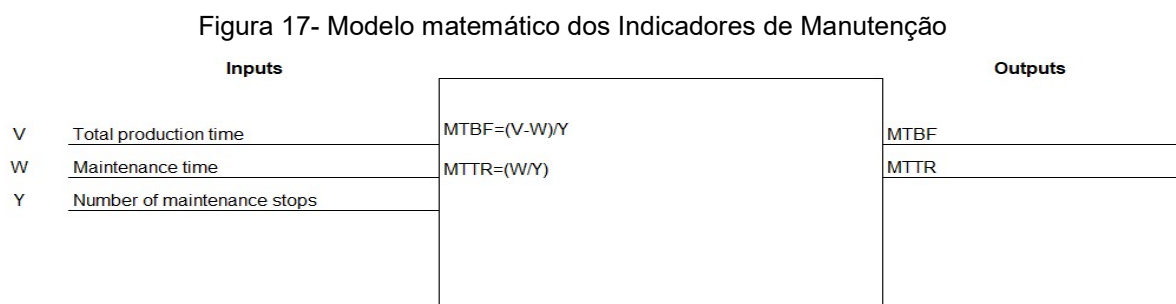
Production bottle = gargalo de produção (minutos)

P = *Operator cycle time 1*

Q = *Operator cycle time 2*

R = *Operator cycle time 3*

- Bloco 3: Indicadores de Manutenção, contém três variáveis de entrada e duas variáveis de saída conforme ilustrado na Figura 17.



Fonte: Autoria própria

Para o cálculo do indicador MTBF, utiliza-se a equação (13) a seguir:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de produção}(V) - \text{Tempo de Manutenção}(W)}{\text{Nº de paradas de manutenção}(Y)} \quad (13)$$

Em que:

MTBF = Tempo médio entre falhas (horas)

V = Tempo total de produção (horas)

W = Tempo de manutenção (horas)

Y = nº de paradas de manutenção (nº de ocorrências no intervalo)

Para o cálculo do indicador MTTR, aplica-se a equação (14):

$$MTTR = \frac{\text{Tempo de Manutenção}(W)}{\text{Nº de paradas de manutenção}(Y)} \quad (14)$$

Em que:

MTTR = Tempo médio para reparo (minutos)

W = Tempo de manutenção (horas)

Y = nº de paradas de manutenção (nº de ocorrências no intervalo)

- O Bloco 4, e último, serve para o monitoramento dos Indicadores de PPCP, contendo seis variáveis de entrada e quatro variáveis de saída, ilustrado na Figura 18.

Figura 18- Modelo matemático dos Indicadores de PPCP

Inputs		Outputs	
I	Received order date	Number of pieces needed(OP)=S+(S*(1+U))	Number of pieces needed(OP)
J	Date of order delivered	Lead Time=I-J	Lead Time
K	Time Available for Production	Takt Time=K/S	Takt Time
S	Production(number of units)	Cycle Time=(K-Z)/S	Cycle Time
U	Rework		
Z	Unscheduled downtime		

Fonte: Autoria própria

A ordem de produção deverá contemplar no número de peças à serem produzidas e/ou fabricadas, absorver possíveis sucatas, refugos e retrabalhos gerados no processo. A fim de contemplar este índice de sucata e retrabalho, utiliza-se a equação (15) a seguir:

$$\text{Número de peças de acordo com a Ordem de Produção(OP)} = n^{\circ} \text{ de unidades(S)} + (n^{\circ} \text{ de unidades(S)} \times (1 + n^{\circ} \text{ retrabalho(U)})) \quad (15)$$

Em que:

S = n° de unidades necessárias para produção (peças)

U = n° de retrabalhos (peças)

Para o cálculo do *lead time* utiliza-se a expressão: equação (16):

$$\text{Lead Time} = \text{Data do recebimento do pedido(I)} - \text{Data de entrega(J)} \quad (16)$$

Em que:

I = Data do recebimento do pedido do cliente

J = Data de entrega do pedido ao cliente

Para o cálculo do tempo *takt* é aplicado a equação (17) a seguir:

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo disponível para produção(K)}}{\text{Demanda(S)}} \quad (17)$$

Em que:

K = Tempo disponível (horas)

S = Demanda (peças)

E por fim, para o cálculo do tempo de Ciclo operacional, utiliza-se a equação (18) como segue:

$$\text{Cycle Time} = \frac{\text{Tempo disponível para produção}(K) - \text{Tempo de paradas não programadas}(Z)}{\text{Demanda}(S)} \quad (18)$$

Em que:

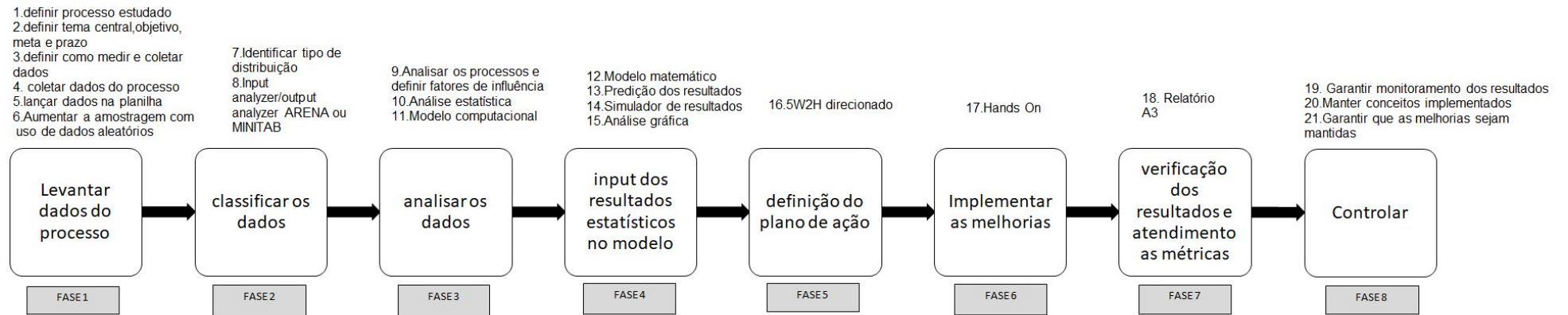
K = Tempo disponível para produção (em horas)

Z= Tempo de parada não programada (em horas)

S = Demanda (em nº de peças ou unidades)

Um fluxograma foi desenvolvido para facilitar o entendimento do gestor, e para demonstrar a sequência lógica de atividades, para aplicação do método M&SLSS, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19- Fluxograma das etapas para aplicação do M&SLSS



Fonte: Autoria própria

- Fase1: Levantar dados do processo:

É composta pelas atividades 1 a 6, como segue:

- 1) Definir processo estudado
- 2) Definir tema central, objetivo, meta e prazo
- 3) Definir como medir e coletar dados
- 4) Coletar dados do processo
- 5) Lançar dados na planilha
- 6) Simulação de Monte Carlo com dados aleatórios

- Fase 2: Classificar os dados:

É composta pelas atividades 7 a 8, como segue:

- 7) Identificar tipo de distribuição
- 8) Fazer uso do Input analyzer/output analyzer ARENA ou Summary Graph, no MINITAB, onde se torna possível identificar o p-value.

- Fase 3: Analisar os dados:

É composta pelas atividades 9 a 11, como segue:

- 9) Analisar os processos e definir fatores de influência
- 10) Análise estatística
- 11) Modelo computacional

- Fase 4: Realizar o input dos resultados estatísticos no modelo:

É composta pelas atividades 12 a 15, como segue:

- 12) Modelo matemático
- 13) Predição dos resultados
- 14) Simulador de resultados
- 15) Análise gráfica

- Fase 5: Definição do plano de Ação:

É composta pelas atividades 16, como segue:

16) 5W2H direcionado

- Fase 6: Implementar as Melhorias:

É composta pelas atividades 17, como segue:

17) *Hands On* (Mão na massa)

- Fase 7: Verificação dos Resultados e atendimento as métricas previamente estabelecidas:

É composta pelas atividades 18, como segue:

18) Utilização do Relatório A3

- Fase 8: Controlar:

É composta pelas atividades 19 a 21, como segue:

19) Garantir monitoramento dos resultados

20) Manter conceitos implementados

21) Garantir que as melhorias sejam mantidas

No Quadro 6, é relacionado as ferramentas que podem ser aplicadas em cada Metodologia de forma individual, onde é possível observar os benefícios e vantagens que o método M&SLSS traz ao gestor, em função de agregar maior uso e aplicabilidade de recursos, que a M&S pode disponibilizar quando combinado com LSS.

Quadro 6- Correlação de ferramentas aplicáveis por Metodologia

Metodologias Ferramentas ou Técnicas aplicáveis	Melhoria Contínua com Lean Manufacturing							Six Sigma com DMAIC					M&SLSS				
	Identificar as oportunidades	Analisar o processo	Desenvolver as soluções	Implementar as soluções	Avaliar os resultados	Padronizar as soluções implementadas	Definir próximas ações	Define	Measure	Analyze	Improve	Control	Concepção			Implementação	Análise
													Define	Measure	Analyze	Improve	Control
Voz do cliente(VOC)	X							X					X				
Definição do Sistema													X				
Formulação do Modelo													X				
Modelo Abstrato														X			
Representação do Modelo														X			
Modelo Conceitual														X			
Dados de Entrada															X		
Implementação do Modelo																X	
Modelo Computacional																X	
Verificação e validação																X	
Modelo Operacional																	X
Resultados Experimentais																	X
Brainstorming de idéias	X																
Mapa de raciocínio	X							X					X				
SIPOC								X					X				
Project Charter								X					X				
Análise do Sistema de Medição									X					X			
Diagrama de Ishikawa		X							X					X			
Cinco Porques		X							X					X			
Matriz de prioridades	X										X					X	
Mapa de Processos(Fluxo)							X		X					X			
Gráfico de Pareto		X							X					X			
Histograma		X							X					X			
Box Plot									X					X			
Estatística Descritiva		X							X					X			
FMEA							X			X					X		
Gráfico de Dispersão										X					X		
Regressão Linear										X					X		
Teste de hipóteses										X					X		
SMED											X					X	
Diagrama de árvore											X					X	
Kaizen											X					X	
5W2H			X								X					X	
Carta de Controle(CEP)												X					X
POP						X						X					X
Planos de Controle						X						X					X
Poka Yoke							X					X					X
Folha de verificação	X							X						X			
Gráficos de Monitoramento					X												X

Fonte: Autoria própria

Com base no Quadro 6, podemos comparar, quanto a quantidade de ferramentas passíveis de uso entre os métodos aplicados a melhoria de processos, ilustrando o uso do método M&SLSS, que pode trazer vantagens, quando comparado a metodologia LSS puro, com a possibilidade de alteração de cenários num sistema computacional, ao qual, com simulações, predizer resultados, reduzir o tempo de resposta e direcionar o gestor na tomada de decisão, com menor custo e sem alteração do cenário físico.

5 O PROCESSO DE PRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o processo de produção de molas lâminas.

5.1 Objeto do estudo

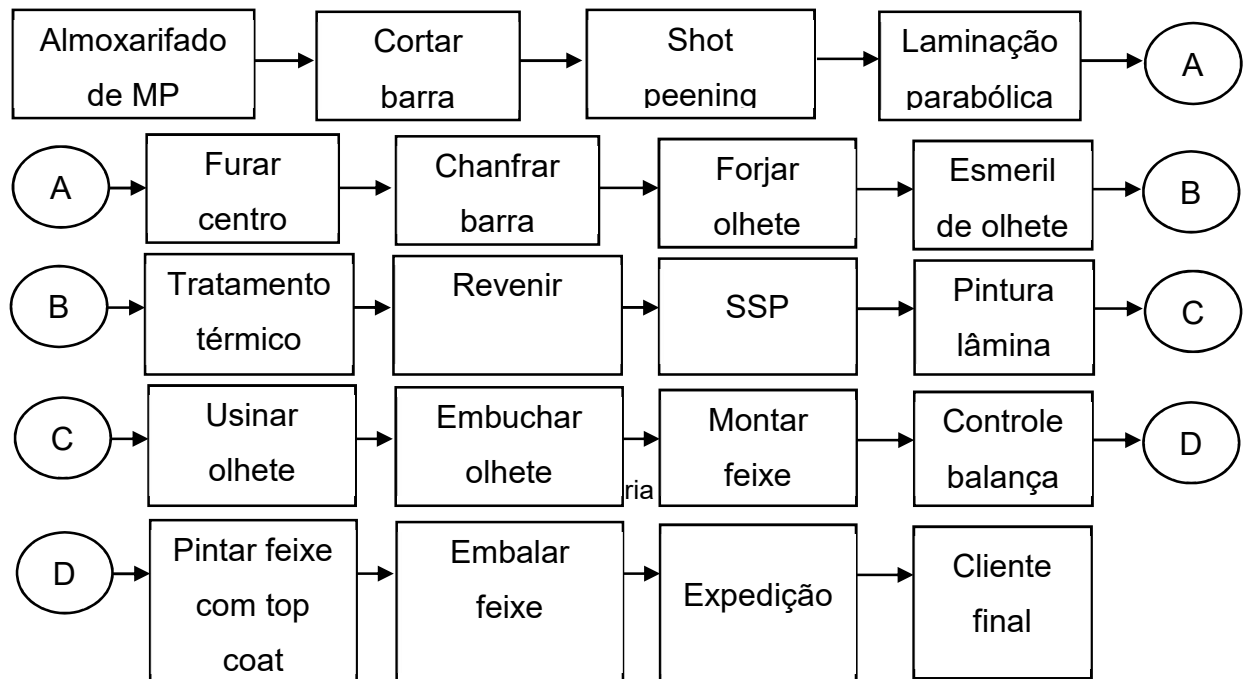
A empresa estudada fornece seus produtos para as principais montadoras de veículos automotores do país e trabalha com um alto volume produtivo anualmente. Na condução desta dissertação, durante meses, foi feito um trabalho de investigação e levantamento de dados, para que o objetivo proposto fosse alcançado. Os dados coletados in loco nos processos produtivos incluem principalmente os tempos de processamento das operações, os resultados provindos destes processos fabris, para identificação de oportunidades e lacunas e a fim de definir os objetivos e metas para implementar as melhorias de processo.

Sobre a medição dos tempos de processamento e mapeamento dos resultados, foram empregados os métodos de cronoanálise e racionalização industrial, monitoramento dos resultados através do sistema EGA, que gera os apontamentos de produção de forma automática nos equipamentos, a fim de exportar as informações e resultados gerados, para uma planilha eletrônica e realizar análises estatísticas e assim, evoluir dentre os pilares do método M&SLSS. Este banco de dados foi utilizado, para retroalimentar o sistema M&SLSS, já nas fases de Medição e análise do processo.

5.2 Mapeamento do processo de fabricação de molas lâminas

Explica-se o funcionamento do processo de fabricação de molas lâminas. Sendo este o produto estudado, se justifica quanto a sua escolha, em função do alto volume produtivo e pelo fato de ser considerado o “gargalo” do processo produtivo. A Figura 20, demonstra o fluxograma das etapas de fabricação do processo estudado nesta dissertação.

Figura 20- Fluxograma do processo de fabricação de Molas lâmina



O Quadro 7, ilustra o diagrama SIPOC do processo estudado, que descreve as etapas de fabricação, a fim de obter um melhor entendimento, quanto as suas respectivas entradas e saídas dos processos chaves.

Quadro 7- SIPOC do processo de fabricação de Molas lâmina

S	I	P	O	C
Almoxarifado de matéria-prima	Lote de aço em barra chata	Cortar barra	Barra chata cortada no comprimento	Jatear Shot peening
Cortar barra	Barra chata cortada no comprimento	Jatear Shot peening	Barra chata com jateamento de granalhas	Laminar
Jatear Shot peening	Barra chata com jateamento de granalhas	Laminar	Barra com perfil laminado	Furar centro
Laminar	Barra com perfil laminado	Furar centro	Barra com furo de centro	Chanfrar barra
Furar centro	Barra com furo de centro	Chanfrar barra	Barra com chanfro na extremidade	Forjar olhete
Chanfrar barra	Barra com chanfro na extremidade	Forjar olhete	Barra com olhete forjado	Esmerilhar olhete
Forjar olhete	Barra com olhete forjado	Esmerilhar olhete	Barra com olhete esmerilhado	Temperar
Esmerilhar olhete	Barra com olhete esmerilhado	Temperar	Mola temperada	Revenir
Temperar	Mola temperada	Revenir	Mola revenida	Jatear Stress shot peening
Revenir	Mola revenida	Jatear Stress shot peening	Mola com jateamento granalhas	Pintar lâmina
Jatear Stress shot peening	Mola com jateamento granalhas	Pintar lâmina	Mola lâmina pintada com fundo primer	Usinar olhete
Pintar lâmina	Mola lâmina pintada com fundo primer	Usinar olhete	Mola com diâmetro interno do olhete usinado	Embuchar olhete
Usinar olhete	Mola com diâmetro interno do olhete usinado	Embuchar olhete	Mola com bucha inserida no olhete	Montar feixes de mola
Embuchar olhete	Mola com olhete embuchado	Montar feixes de mola	Feixe de mola montado	Balança de controle
Montar feixes de mola	Feixe de mola montado	Balança de controle	Feixe de mola com pré-carga e carga controlada	Pintar feixe de mola(Top coat)
Balança de controle	Feixe de mola com pré-carga e carga controlada	Pintar feixe de mola(Top coat)	Feixe de mola com acabamento final	Expedição
Pintar feixe de mola(Top coat)	Feixe de mola com acabamento final	Expedição	Lotes de Feixes de mola embalados	Cliente final

Fonte: Autoria própria

O processo de produção sempre é iniciado, com a entrega da ordem de produção pelo departamento de PPCP ao líder ou supervisor de produção. Nesta ordem de produção, estão descritas as etapas do processo de fabricação, ou seja, assim como o roteiro produtivo, o número do produto, o número do lote de fabricação e também o número da ordem, para que haja rastreamento produtivo quando necessário e por fim, o número de peças que devem ser fabricadas. Em posse da ordem de produção, o

líder ou supervisor de produção, faz a requisição da matéria-prima ao operador de ponte rolante, sendo este, responsável pelo armazenamento dos lotes de matéria-prima em barras, que estão armazenadas em cavaletes e com seu respectivo endereçamento e assim, as linhas de corte são carregadas, por intermédio de uma ponte rolante, para o início do processo de fabricação.

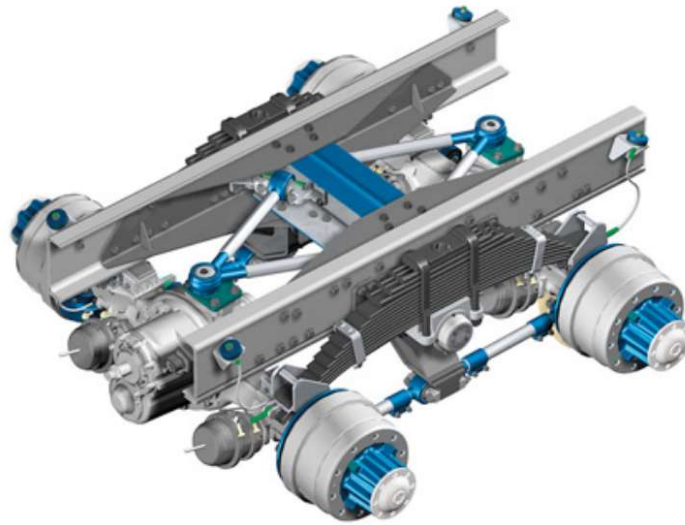
A produção é dividida em células de manufatura e tem como objetivo produzir dentro das especificações dos clientes. Para isto, utiliza-se de máquinas operatrizes, matéria-prima e colaboradores. Os colaboradores, por sua vez, são responsáveis pela qualidade dos produtos fabricados e utilizam toda documentação pertinente à fabricação dos produtos, como: ordem de produção, fichas de processo, métodos de inspeção, procedimentos operacionais e fluxogramas de processo. Também estão disponíveis os planos de controle, que definem, as características que devem ser controladas nas etapas produtivas, qual o respectivo instrumento de medição, a frequência dentro do lote, que deve ser realizada a medição, quem é responsável por determinada atividade e por fim, onde deve-se registrar as informações.

5.3 O Produto Feixe de mola

Os feixes de molas, conforme ilustrado na Figura 21, tem como característica atuar como elemento elástico e estrutural nas suspensões de eixo rígido, absorvendo os movimentos de baixa frequência e grande amplitude, proporcionando conforto e estabilidade. São constituídos basicamente de barras denominadas lâminas ou folhas, unidas por um parafuso central (espigão) em sua parte central, com exceção das mono-lâminas (monoleaf). Eles trabalham sob esforço de flexo-torção sendo o esforço de flexão predominante e acrescido de componentes de torção.

As principais aplicações são: automóveis, pick-ups, caminhões leves, caminhões pesados, jipes e ônibus.

Figura 21- Suspensão veicular e o componente Feixe de mola



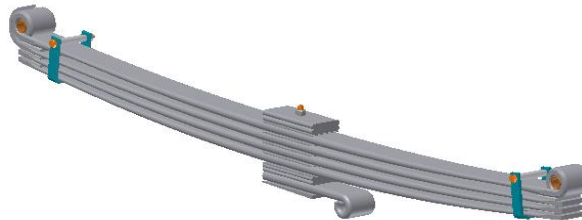
Fonte: Banco de dados UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

Os feixes de molas podem ser classificados quanto ao seu design como:

- Trapezoidal linear;
- Trapezoidal com lâminas auxiliares;
- Trapezoidal;
- Parabólico, considerado como objeto de estudo nesta dissertação, devido ao seu alto volume de demanda e tendência de mercado atual e futuro.

O feixe parabólico, conforme ilustrado na Figura 22, tem como principal característica a redução de atritos entre lâminas. A espessura de cada lâmina varia de acordo com o comprimento. São feixes que trabalham com altas tensões e possuem número menor de lâminas quando comparado aos feixes convencionais e consecutivamente reduz drasticamente seu peso.

Figura 22- Exemplo de um Feixe Parabólico



Fonte: Banco de dados UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.4 O Material da Mola

As molas podem ser produzidas com alguns tipos de aços, dependendo do seu *design*, mas todos com alto teor de carbono, entre $(0,50\% < C < 0,80\%)$. O carbono é o elemento de liga, responsável pela dureza ou a ductilidade dos aços. É o teor de carbono que permite afirmar se um determinado aço pode ser temperado ou não.

Além do carbono, estão presentes em todos os aços elementos residuais, que são o Manganês (Mn), o Fósforo (P) e o Enxofre (S).

No início da Revolução Industrial, praticamente só eram conhecidos os aços carbono e com a evolução tecnológica constante, foi introduzido o uso dos elementos de liga, que visam basicamente melhorar as propriedades do aço com o objetivo de obter maior vida útil em fadiga. Vale discorrer brevemente sobre os principais elementos de liga e seus efeitos majoritários sobre as propriedades do aço:

- Silício: visa o aumento da elasticidade.
- Cromo: visa o aumento da resistência à corrosão e diminuição da velocidade de resfriamento.
- Vanádio: visa a formação de carbonetos.
- Molibdênio: visa a formação de carbonetos.
- Níquel: objetiva o aumento da resistência ao choque e a temperaturas elevadas.

5.5 O Processo de Fabricação de Feixe de molas

O processo de fabricação de feixes de molas é subdividido em três principais processos: forjaria também conhecido como operações prévias, o tratamento térmico e revenimento e por fim, o acabamento final, tal como o processo de pintura e montagem, que serão detalhados a seguir.

5.5.1 O Processo de Forjaria

O processo de forjaria consiste em cortar as barras com seus devidos comprimentos e executar as operações nas pontas das lâminas. Nestas operações, de acordo com cada design, são realizados furos de ponta e centro, chanfros, dobras de ponta, canoa e canaletas e o forjamento dos olhetes das molas mestras. Estas operações são geralmente realizadas a quente, ou seja, é necessário aquecer o material para executar a operação desejada de acordo com a temperatura, que pode variar em torno de 750° a 1050° Celsius, não podendo ultrapassar 1100° Celsius.

5.5.2 O processo de recebimento da Matéria Prima

A matéria prima dos feixes de molas é constituída de barras chatas com comprimentos que podem variar entre 3,5 a 6 metros, com larguras entre 60 a 101,6 milímetros e espessuras que podem variar de 6 a 35 milímetros. O amarrado pode chegar a 4,0 toneladas. Os materiais são armazenados em cavaletes (Figura 23) e separados quanto a sua composição química.

Figura 23- Abastecimento de barras chatas



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

O abastecimento das máquinas é realizado através do uso, de ponte rolante com capacidade de 5 toneladas, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24- Abastecimento de barras chatas



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.5.3 A operação de cortar barras no comprimento total

A operação de corte é realizada à frio, com uso de uma prensa freio-fricção, com capacidades, que podem variar entre 80 até 200 toneladas. Esta etapa do processo utiliza-se de estampos de corte, composto por facas e matrizes de aço carbono, que têm a função de cortar o material. Esta operação tem como característica garantir o corte da barra sem rebarbas e manter o comprimento adequado para realização das etapas seguintes.

As barras são cortadas e armazenadas em *pallets*, aguardando a próxima operação, conforme ilustrado na Figura 25.

Figura 25-Operação de corte de barras



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.5.4 Operações de Forjar Olhete

Os feixes de molas geralmente exigem operações nas pontas das lâminas, que podem ser feitas a frio, ou seja, sem aquecer a ponta da mola, ou a quente, quando necessário para facilitar a sua confecção. A primeira lâmina é a mola mestre do feixe, que requer a operação de forjar olhete quando especificado em desenho, conforme ilustrado na Figura 26. É através do olhete, que é feito o embuchamento do feixe e, conseqüentemente o feixe poderá ser fixado no veículo por meio dela.

Esta operação tem características críticas para a montagem do feixe no veículo, sendo marcante o diâmetro interno do olhete, a distância entre os olhetes e o semi-comprimento, que é a medida do centro da mola até o centro do olhete no lado frontal.

Figura 26-Operação de forjar olhete



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.5.6 Operação de laminação Parabólica

A operação de laminação parabólica consiste de um processo de laminação, mais precisa, cujo a tolerância de espessura para cada ponto da lâmina é de 0,50 décimos de milímetro. Esta precisão das espessuras garante a conformidade com a carga e a constante elástica da mola ou seja, o rate.

A máquina utilizada neste processo, conforme ilustrada na Figura 27, necessita de exatidão, pois tem seu sistema de comando numérico, através de programas computadorizados para manter seu perfeito funcionamento.

Figura 27- Máquina de laminação parabólica



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.5.7 Operação de Furação de centro

A furação de centros, conforme ilustrada na Figura 28, é a operação realizada em todas as lâminas, é através do furo de centro que fazemos a inserção do parafuso central (espigão) para fazer a união das lâminas no processo de montagem.

Trata-se de furar o centro da lâmina, a quente, para molas com espessuras acima de 13 mm. Para realizar esta operação, aquece-se a região central da lâmina em aproximadamente entre 750° a 850° C, e por meio de uma ferramenta de furar, é realizado o furo de centro. A furação é uma característica significativa, pois é referência para a montagem do feixe de molas no veículo.

Figura 28-Operação de furar centro a quente na ferramenta auto-centrante



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.5.8 O Processo de tratamento térmico para Feixe de Molas

O tratamento térmico consiste em um processo de têmpera, seguido de um revenimento simples ou duplo, cujas condições são otimizadas para conceder ao aço a resistência mecânica, dureza e tenacidade necessárias. Os principais parâmetros

envolvidos são: taxa de aquecimento e resfriamento, temperatura e tempo de austenitização e ciclos térmicos de revenido (GOOCH, 1995).

As distinções entre os processos de têmpera e revenimento dos feixes de molas, estão basicamente no material, temperatura e ferramentas de conformação. A lâmina é aquecida através de fornos a gás natural e arqueada, utilizando-se ferramental que modela a curvatura da lâmina, conforme ilustrado na Figura 29, que em seguida, é imediatamente mergulhada em óleo. Logo após à saída do óleo, a lâmina entra no forno de revenimento, ganhando elasticidade, resistência e dureza, conforme especificações dos projetos.

Figura 29- Mola arqueada e mergulhada em óleo



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.5.9 Processos de Acabamento e Montagem

Após os processos de forjaria e tratamento térmico, as lâminas necessitam ser verificadas e acabadas antes da montagem. Acabamentos como alinhamento, jateamento, usinagem de olhetes, pintura são realizados antes da montagem. Nesta fase do processo, é fundamental que as operações anteriores tenham sido realizadas corretamente, pois qualquer não conformidade provocará retrabalho.

5.6 Processo de Jateamento das Lâminas

O processo de jateamento é realizado nas lâminas dos feixes de mola, porém este jateamento pode ser realizado de duas maneiras: a primeira mantendo a lâmina solta no jateamento conforme ilustrado na Figura 30, em processo chamado de *shot peening*, e a outra maneira é jatear a lâmina arqueada conforme ilustrado na Figura 31, em processo que tem o nome de *stress shot peening*. A diferença entre estes processos é a tensão residual de compressão na superfície de tração da mola. Para o processo de *stress shot peening*, a tensão de compressão é maior, e consequentemente, a vida da mola em condições de fadiga será maior.

Figura 30- Processo de *shot peening*



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

Num processo de jateamento de granalhas *Shot peening*, a lâmina é movida para esteira e posicionada no berço, onde recebe o jateamento na condição livre.

Figura 31- Processo de *Stress shot peening*



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

Num processo de jateamento de granalhas *Stress Shot peening* (Figura 31), a lâmina é alocada numa caixa de jateamento, sendo que a mesma, recebe uma pré-tensão na prensa, com o objetivo de obter um resultado de tensão residual mais elevado.

5.6.1 Processo de Usinagem e Embuchamento de Olhetes

A usinagem de olhetes, conforme ilustrada na Figura 32, é um processo fundamental, que garante a qualidade do embuchamento dos feixes de mola. O processo é caracterizado por garantir a tolerância especificada da dimensão do diâmetro interno dos olhetes e interferência com a bucha de forma garantir a carga de retirada especificada em projeto.

Figura 32- Processo de usinagem



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

No processo de usinagem do diâmetro interno de olhete, utiliza-se uma ferramenta de metal duro ou aço rápido, definido em função do sobre metal deixado na etapa de conformação, que mantém o acabamento, rugosidade e a medida necessária, que proporciona a interferência ideal entre bucha e lâmina.

O embuchamento, conforme ilustrado pela Figura 33, é um processo que utiliza a força hidráulica de uma máquina, que realiza a inserção da bucha no respectivo olhete usinado, um fator importante, é a interferência entre olhete e bucha cujo é a característica significativa do processo.

Figura 33- Processo de embuchamento



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

Através do perfeito atrito entre ambos, garante-se a carga mínima de retirada solicitada de acordo com especificado em desenho.

5.6.2 O Processo de Pintura e Emblemagem para Lâminas e Feixes de Molas

O processo de pintura para feixes de molas pode ser chamado de “top coat”, ou seja, a pintura para o acabamento final, antecedendo o envio ao cliente final. Vale lembrar que o acabamento da pintura nos feixes de molas tem como objetivo garantir a resistência da peça à corrosão.

A qualidade da pintura está relacionada a fatores importantes, tais como: tipo de tinta, viscosidade, diluição, espessura de camada, tempo de cura, temperatura de secagem e aplicação, que, por sua vez, é de responsabilidade dos colaboradores, que a fazem manualmente com uso de uma pistola de pintura pneumática.

As lâminas e feixes após a pintura, são emblemados, conforme ilustrado na Figura 34, com os seus respectivos números, de acordo com o desenho. Essa marcação serve para facilitar a identificação dos produtos, garantindo a rastreabilidade do produto ao envio para o cliente final.

Figura 34- Embletagem após pintura



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.6.3 Montagem do Feixe de Molas

Após a realização de todas as etapas de acabamento, é realizada a montagem do feixe de molas. Utiliza-se o desenho do produto como referência para verificar a posição e quantidade de lâminas e seus respectivos acessórios, tais como pastilhas, calços separadores, braçadeiras, espigão central e porca.

As lâminas são agrupadas utilizando-se uma prensa hidráulica, conforme ilustrado na Figura 35, e fixadas pelo espigão central e sua porca.

Figura 35- Fixação das lâminas



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

O aperto do espigão central é de fundamental importância neste processo, pois garantirá que a região central do feixe não trabalhe, pois, se ocorrer este fato, é possível haver quebra da lâmina por se tratar de um ponto de concentração de tensão. Este aperto é checado em 100% dos produtos, sendo esta inspeção conhecida, como verificação do torque do espigão, conforme ilustrado na Figura 36.

Figura 36- Controle de torque



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.6.4 Aplicação de pré-carga e verificação de Carga do Feixe de Mola

A aplicação de pré-carga consiste em ultrapassar o limite de elasticidade do feixe de molas garantindo, desta maneira, que o feixe não perderá altura quando atingir a carga máxima de trabalho solicitada no projeto. A medição de carga resume em verificar a relação entre a altura do feixe e sua respectiva carga em uma determinada altura de controle. Esta operação é executada através de uma prensa hidráulica, ilustrado na Figura 37, que utiliza células de carga devidamente aferidas para garantir a leitura da carga, do feixe de mola.

Figura 37- Prensa para controle sob carga no feixe de mola



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.6.5 Embalagem Final

A embalagem dos feixes de molas é feita através da utilização de pallets conforme ilustrado na Figura 38. Estes pallets garantem o transporte seguro até seu destino final, que são as montadoras de veículos e o mercado de reposição.

Figura 38- Exemplo de Embalagem de feixes de mola



Fonte: UNIMOLA RNA AUTOMOTIVE

5.6.6 Característica significativa de controle de distância entre Centros e Semi-comprimento

Depois de confeccionados os olhetes da primeira lâmina, é necessário garantir as características distância entre centros e semi-comprimento, que são determinantes para adequação à montagem do veículo. A variação destas características pode influenciar na sua dirigibilidade, sendo esta, a fonte geradora dos maiores índices de reprovação e impacto direto na taxa de qualidade.

Para realizar a verificação destas características é utilizado dispositivo especial, conforme ilustrado na Figura 39.

Figura 39- Dispositivo de medição de semi-comprimento reto e comprimento total reto



Fonte: UNIMOLA RA AUTOMOTIVE

Este dispositivo é aferido e calibrado regularmente para garantir a exata dimensão conforme especificação do cliente.

6 METODOLOGIA

Neste capítulo, é explicado a metodologia empregada na modelagem matemática e na implementação do método M&SLSS aplicado a melhoria de processos. Quanto à natureza desta pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada, dado que sua motivação tem o objetivo de gerar conhecimentos de aplicação prática no segmento industrial. Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória, dado que, em sua fase preliminar se deseja obter maior familiaridade com o assunto. Quanto à abordagem, se trata de uma pesquisa quali-quantitativa, ao qual, se utiliza de elementos na quantificação dos dados coletados no processo, tal como, se interpreta, e analisa-se, os fenômenos que não podem ser analisados quantitativamente. Quanto ao procedimento, se trata, de uma pesquisa-ação, cujo que, seu autor, participa ativamente com um grupo de especialistas no tema melhoria de processos a ser estudado e solucionado. Logo após, serão apresentados os resultados decorrentes de trabalhos de melhoria de processos, implementados numa indústria multinacional no segmento de autopeças, com aplicação do LSS puro e posteriormente com o método proposto M&SLSS, que foi validado através de um questionário de aplicabilidade, ao qual, foram selecionados especialistas em LM e SS, como respondentes, cujo seu objetivo foi identificar e comparar os possíveis ganhos, vantagens operacionais e seus benefícios.

A obtenção dos subsídios para esta pesquisa, embasou-se no método da pesquisa-ação como procedimento de coleta de dados e dado que sua motivação principal se caracteriza por um interesse prático, com a intenção de melhorar continuamente os processos produtivos com a aplicação do método proposto M&SLSS e obter como resultados, os principais indicadores produtivos, definidos como resposta no modelo matemático que foi desenvolvido.

A pesquisa utiliza uma abordagem combinada, utilizando elementos quali-quantitativos, que permite maior liberdade em utilizar métodos de pesquisa e coleta de dados, provendo evidências mais abrangentes para resolução de problemas e assim prover naturalmente a melhoria de processos.

Quanto aos objetivos, esta pesquisa pode ser definida como exploratória. Segundo Sellitz, Wrightsman e Cook (1975, p. 60) e Marconi e Lakatos (2005, p. 190), um estudo exploratório tem entre outras funções, a de aumentar o conhecimento do pesquisador acerca do fenômeno que deseja investigar e esclarecer conceitos.

A pesquisa exploratória tem a intenção de clarificar, se existe uma relação entre dois aspectos de determinado fenômeno, ainda pouco estudado (KUMAR, 2011), proporcionando maior familiaridade com o problema.

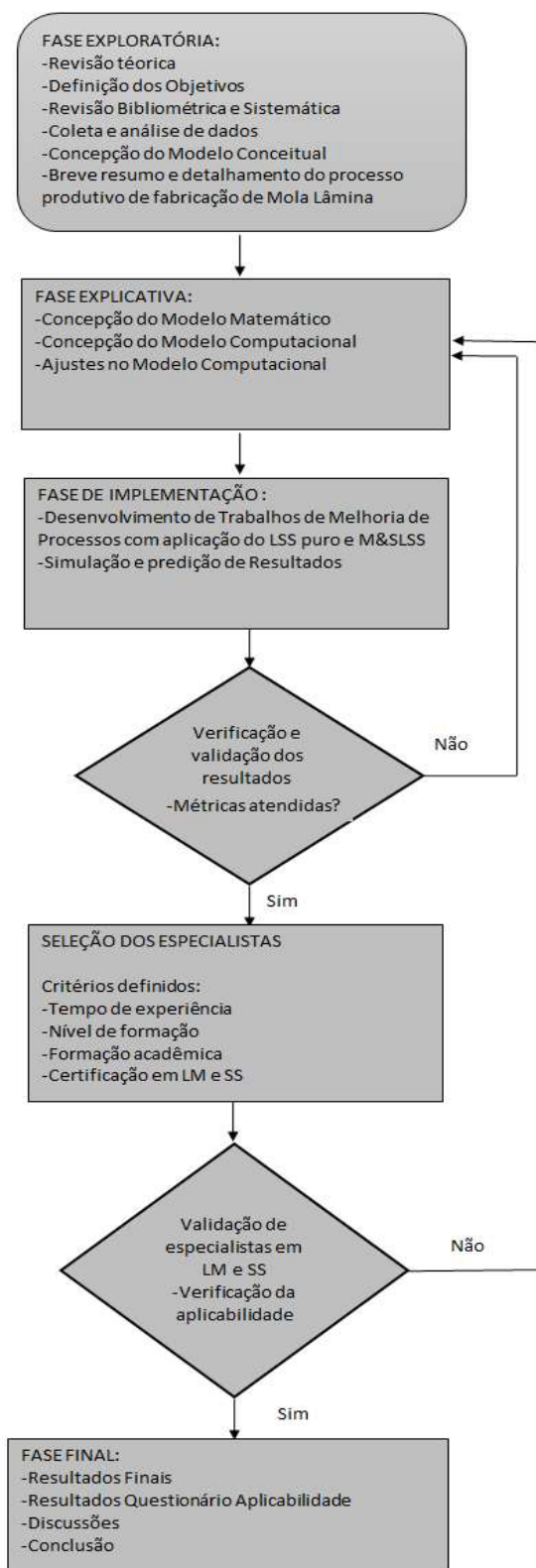
O estudo relatado neste trabalho foi planejado em três estágios. O primeiro estágio foi exploratório a fim de identificar, a partir da literatura disponível e de um questionário de verificação e validação para aplicabilidade do método, que foi aplicado, a respondentes especialistas de LM e SS, de modo explorar os possíveis fatores críticos de sucesso para implementação do método M&SLSS. O segundo estágio foi qualitativo, a fim de desenvolver um modelo matemático que permite monitorar os principais indicadores produtivos, comparando um cenário atual real fabril com um cenário futuro, com a predição dos resultados, que pode auxiliar o Gestor para tomada de decisão.

Num terceiro estágio, foi desenvolvido trabalhos de melhoria de processos, fazendo uso do LSS puro, a fim de comparar seus resultados operacionais, com os resultados provindos do método proposto M&SLSS, demonstrados através do relatório padrão A3.

Em seguida, uma breve discussão, demonstrando possíveis vantagens, benefícios e ganhos operacionais, quanto ao método M&SLSS, trouxe como diferencial, quando comparado com o LSS puro.

E após, foi descrito uma conclusão para fechamento desta fase. As etapas de pesquisa, estão ilustradas na Figura 40.

Figura 40- Etapas de pesquisa Metodológica



Fonte: Autoria própria

6.1 Fase exploratória:

➤ Revisão teórica

Para a montagem do referencial teórico, foi importante ler atentamente a todos os artigos considerados na revisão bibliométrica e sistemática, observando trechos descritos com relação ao tema de pesquisa. Após a leitura dos artigos, foi feito a seleção de parágrafos que compõem este trabalho.

➤ Definição dos Objetivos

Para a definição dos objetivos foi determinado, o que foi desejado atingir com a realização deste trabalho de pesquisa. Neste trabalho de pesquisa, os objetivos foram separados em Objetivo Geral e Específico.

Em relação ao Objetivo Geral, ele foi delineado para estabelecer uma relação direta com o tema de pesquisa e o problema central.

Para o Objetivo específico, constitui-se um desmembramento do Objetivo Geral, que gerarão capítulos dentre o contexto do trabalho de pesquisa.

➤ Revisão Bibliométrica e Sistemática

Para a pesquisa bibliométrica foi objetivado a coleta de informações e análise de forma sistemática, o que já foi escrito anteriormente sobre o tema de pesquisa proposto, fornecendo dados sobre principais veículos relacionados, principais autores, países, onde o tema é mais desenvolvido, assim como a evolução do tema ao longo do tempo, o que indica se o tema ainda pode ser explorado. Após realizada a pesquisa bibliométrica realizamos a análise sistemática da literatura encontrada, assim pudemos delimitar o tema, confirmar a existência e identificar gaps de pesquisa.

➤ Coleta e análise de dados

Nesta fase, é muito importante considerar, que os dados sejam confiáveis e devem ser coletados de forma robusta no processo, pois todo embasamento na etapa de análise se constitui após esta fase de mensuração.

Para a coleta de dados, a escolha adequada dos instrumentos de medição, é um fator importante a ser considerado para garantir que estes dados sejam coletados de forma robusta.

Após esta coleta, se fez necessário classificar estes dados, e entender, qual tipo de distribuição estatística os mesmos possam pertencer e posteriormente, possibilitar o melhor caminho a seguir nas etapas posteriores.

A fase de coleta de dados, pode ser considerada uma atividade, que demanda maior tempo dedicado e deve ser tratado como um fator importante na implementação de trabalhos relacionados à melhoria de processos.

- **Concepção do Modelo Conceitual**

Foi montado um modelo conceitual que mostra de forma sequencial e lógica o processo/sistema proposto.

- **Breve resumo e detalhamento do processo produtivo de fabricação de mola lâminas**

Afim de obter um melhor entendimento do processo produtivo estudado, ao qual, foi utilizado o método M&SLSS aplicado a melhoria contínua.

6.2 Fase explicativa:

- **Concepção do Modelo Matemático**

O objetivo é explicitar a concepção das variáveis de entrada, formulá-las matematicamente e obter as variáveis de saída, para monitoramento dos principais indicadores operacionais da Produção. Este modelo, relaciona em seu escopo:

Fase de implementação:

- **Elaboração do Modelo Matemático**

O modelo Matemático nasceu de forma mais simplificada, relacionando inicialmente somente fatores dos processos produtivos. Nas simulações computacionais, foi possível identificar que o mesmo deveria ser refinado, a fim de enriquecer de forma mais abrangente e contemplar outras variáveis, além de parâmetros de processos, permitir análise de resultados dos produtos. Este Modelo Matemático, estabelece consecutivamente, vinte e seis variáveis de entrada e dezoito variáveis de saída, conforme visto na Figura 9 do capítulo 3.

No bloco principal, este modelo matemático, consiste de um conjunto de equações que representam de forma quantitativa, as hipóteses ao qual foram embasadas, como premissas para responder os resultados do sistema real com predição.

➤ **Concepção do Modelo Computacional**

O modelo Computacional foi desenvolvido para representar de forma simplificada, a distribuição do método CIA da Modelagem e Simulação dentro do método DMAIC do LSS, separados em 3 etapas principais e 12 passos, a fim de clarificar os passos para desenvolvimento.

➤ **Ajustes no Modelo Computacional**

Posteriormente, após simulações por meio computacional, foi identificado a necessidade de ajustes no modelo, para que o mesmo pudesse entregar como resposta, os principais indicadores operacionais da produção, ao qual, sofreu evolução desde um modelo mais simples inicialmente e posteriormente, agregando mais variáveis de entrada e consecutivamente, obter suas variáveis de resposta como saída.

➤ **Desenvolvimento de Trabalhos de Melhoria de Processos com aplicação do LSS puro e M&SLSS**

Após o modelo matemático definido, são desenvolvidos, trabalhos de Melhoria de Processos fazendo uso da metodologia LSS puro e após com uso da metodologia proposta M&SLSS.

São adotadas mesmas premissas, tais como, tema, prazo, aplicação e com apenas uma única diferença, a aplicação do LSS puro no primeiro estágio e num segundo estágio a aplicação do M&SLSS.

➤ **Simulação e predição de Resultados**

Com incremento das variáveis resposta, deste modelo, foi elaborada uma IHM denominada “Simulador de resultados da Manufatura”, que gere os resultados operacionais da produção, permitindo comparar os resultados provindos do processo real com resultado futuro desejado.

Verificação e validação dos resultados:

➤ **Confirmação das métricas atendidas?**

Com o Simulador de resultados da manufatura, é possível verificar, com a predição dos resultados, de acordo com as métricas pré-estabelecidas, comparar o cenário atual e confirmar se os resultados atenderam a meta e caso sim, seguir para a etapa posterior e caso não, deve-se retornar nas fases anteriores de concepção, para

evidenciar possíveis gaps e ajustes no modelo, e rodar o mesmo novamente como um ciclo.

Questionário de aplicabilidade do método M&SLSS:

➤ Seleção dos Especialistas

Critérios definidos:

- Tempo de experiência

Foram selecionados especialistas com tempo de experiência maiores que dez anos.

- Nível de formação

Todos os especialistas selecionados, possuem além de formação técnica na área, graduação em áreas específicas voltadas para Qualidade e Produção.

- Formação acadêmica

Os especialistas possuem formação em Administração, Qualidade, bem como Engenharia, três deles com pós-graduação e um deles Mestrado.

- Certificação em LM e SS

Todos os especialistas selecionados, possuem formação em LM e SS, no entanto, desconheciam Modelagem e Simulação.

Validação de especialistas em LM e SS:

➤ Verificação da aplicabilidade

Foi elaborado um questionário para verificação e validação do M&SLSS, com questões relacionadas, quanto a aplicabilidade do método proposto.

6.3 Fase final:

➤ Resultados Finais

São apresentados os resultados provindos dos trabalhos de melhoria implementados no processo de produção, fazendo uso do LSS puro num primeiro estágio e num segundo estágio, com uso do M&SLSS.

Foi utilizado o padrão de relatório A3, para demonstrar os resultados. A escolha deste, em função da padronização que o mesmo corrobora, com simples visualização e permitindo enfatizar a comparação dos resultados provindos entre os métodos propostos.

➤ Resultados do Questionário de aplicabilidade

Será demonstrado os resultados em função das respostas dos especialistas no assunto, validando ou refutando a aplicabilidade do método proposto.

➤ Discussões

Neste capítulo, pretende-se comparar os resultados da ideia anterior ao começar a pesquisa, com as constatações que foi possível confirmar ou refutar.

➤ Conclusão

Neste capítulo, pretende-se informar as principais etapas do trabalho de pesquisa, os principais dados que foram encontrados em cada capítulo e concluir se a hipótese foi confirmada ou refutada.

➤ Questionário de aplicabilidade do método M&SLSS

Foram convidados como respondentes do questionário de aplicabilidade, dez profissionais, de uma empresa multinacional no segmento de autopeças, com vasta experiência na implementação de trabalhos de melhoria de processos, dentre estes, consultores especializados na metodologia de implementação de SS e LM.

Os critérios definidos para seleção dos especialistas foram tempo de experiência na função, nível de formação em Seis Sigma, formação acadêmica, formação em LM e se o respondente possui algum conhecimento em Modelagem e Simulação.

Dentre os respondentes, além da formação em SS, nove deles também possuem formação em LM. A Figura 41, ilustra a idade dos respondentes do questionário de aplicabilidade do método M&SLSS.

Figura 41- Idade dos Participantes



Fonte: Autoria própria

Pode-se concluir embasado na Figura 41, que a idade média dos respondentes do questionário de aplicabilidade do método M&SLSS é de 42 anos.

A Figura 42 ilustra, o tempo de experiência médio na função dos respondentes.

Figura 42- Tempo de Experiência na função

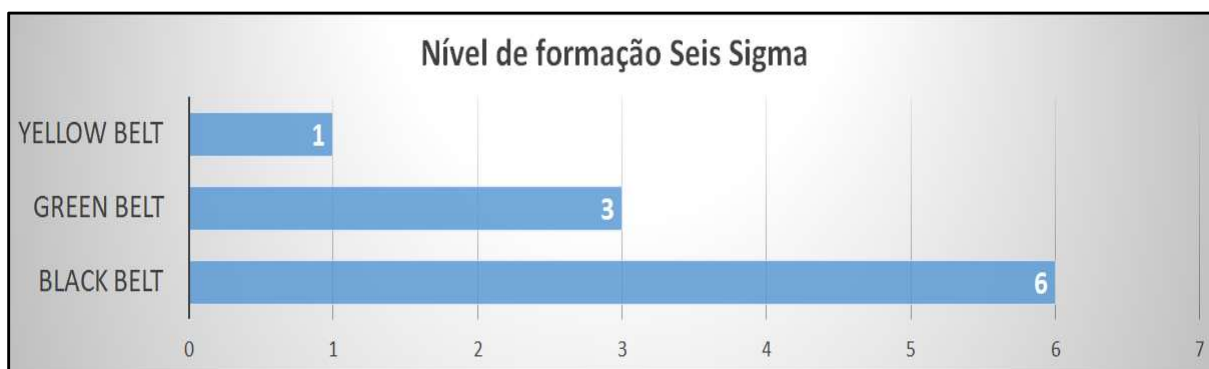


Fonte: Autoria própria

O resultado do tempo de experiência médio na função dos respondentes, é de 22 anos, a considerar que se trata de um time experiente.

A Figura 43 ilustra, o nível de formação na metodologia SS dos respondentes.

Figura 43- Nível de formação Seis Sigma

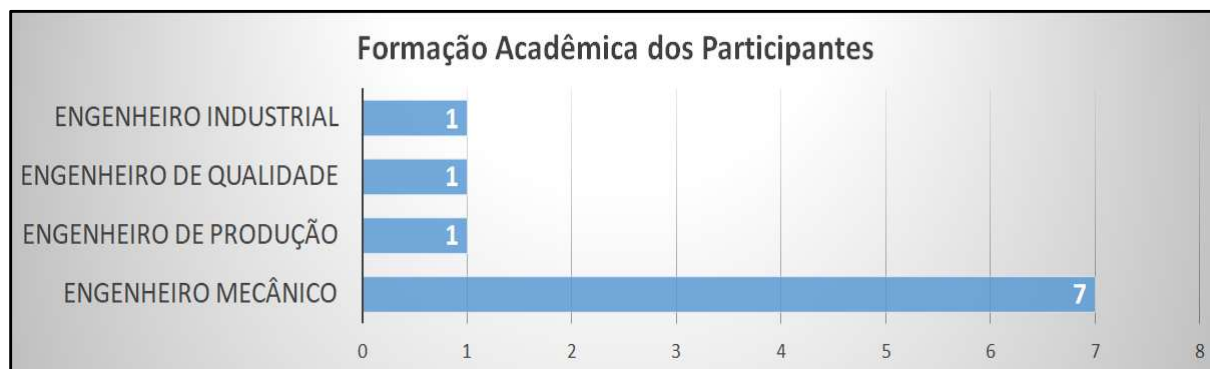


Fonte: Autoria própria

Quanto aos resultados, dentre os dez respondentes, seis deles, possuem a formação Black Belt, cujo, pode-se considerar que o profissional já adquiriu todo o conhecimento necessário quanto ao uso das ferramentas, processos e projetos e está apto para trabalhar nesta área de conhecimento.

Quanto a formação dos respondentes, destaca-se a formação em Engenharia, conforme ilustrado na Figura 44.

Figura 44- Formação Acadêmica



Fonte: Autoria própria

Quanto aos resultados, sete dos respondentes, possuem formação em Engenharia Mecânica.

7 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados, decorrentes de trabalhos de melhoria implementados numa indústria metalúrgica multinacional no segmento de autopeças e do Questionário de aplicabilidade do método M&SLSS. São adotados os mesmos critérios, tanto para aplicação do LSS puro, quanto para o método M&SLSS, com objetivo de comparar seus resultados operacionais e evidenciar na prática, possíveis benefícios, vantagens e ganhos operacionais, que o método M&SLSS pode oferecer aos gestores.

Os critérios adotados e aplicados de igual maneira, foram:

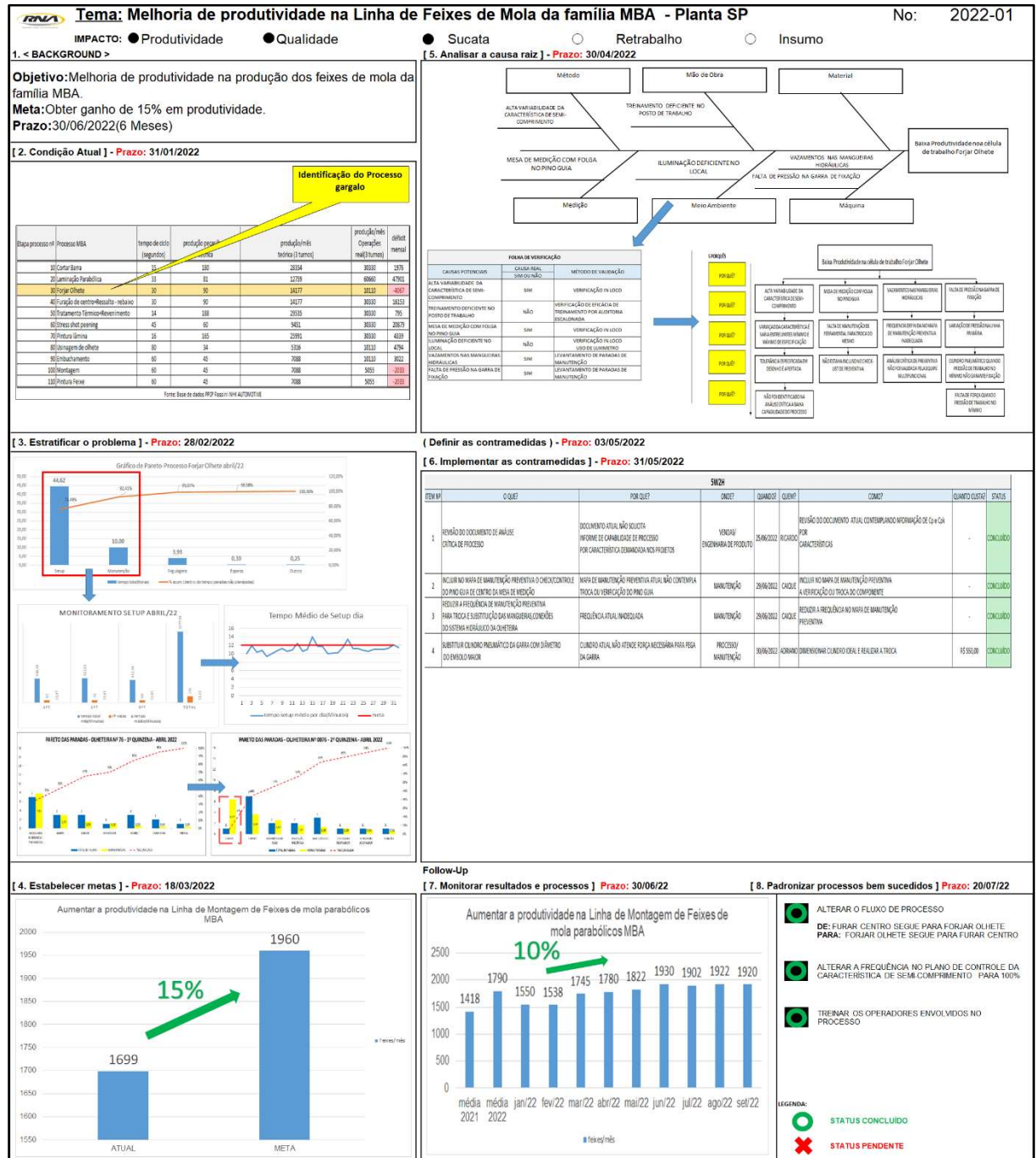
1. Tema do trabalho de melhoria de processo.
2. Objetivo, meta e prazo para desenvolvimento do trabalho, porém em períodos distintos dentro do mesmo ano.
3. Desenvolvimento nas mesmas células produtivas de manufatura ou setores, fazendo uso dos mesmos equipamentos e máquinas.
4. Mesma linha de produto em observação e acompanhamento in loco dos resultados.
5. Controle características principais do design no produto.
6. Mesma equipe multifuncional em ambas aplicações, composta pelos mesmos funcionários e/ou colaboradores.
7. Utilização do relatório A3 para apresentação dos resultados.

Na aplicação do método LSS puro foi utilizado o ciclo DMAIC, seguindo seus pilares, com uso das ferramentas da qualidade, já no método M&SLSS, foi aplicado o método CIA dentro do DMAIC, como ferramenta de análise, monitoramento dos indicadores e predição dos resultados.

Relatório A3 numa aplicação com a aplicação do LSS

Para o trabalho aplicado com LSS puro, o prazo definido pela alta direção de 6 meses, que ocorreu no primeiro semestre de 2022, com o desenvolvimento entre os meses de janeiro a junho, conforme ilustrado na Figura 45.

Figura 45- Relatório A3 numa aplicação com LSS puro



Fonte: Elaborado pelo Autor

O tema escolhido em função de uma estratégia gerencial e pelo processo em análise ser apontado como um gargalo no atual cenário na organização, foi a “Melhorar a produtividade na Linha de montagem de feixes parabólicos MBA”. Desta forma, foi

necessário realizar o levantamento inicial da situação e com objetivo de identificar e eliminar as fontes geradoras dos problemas. Para isto, foi elaborado uma folha de verificação, representado na Figura 46.

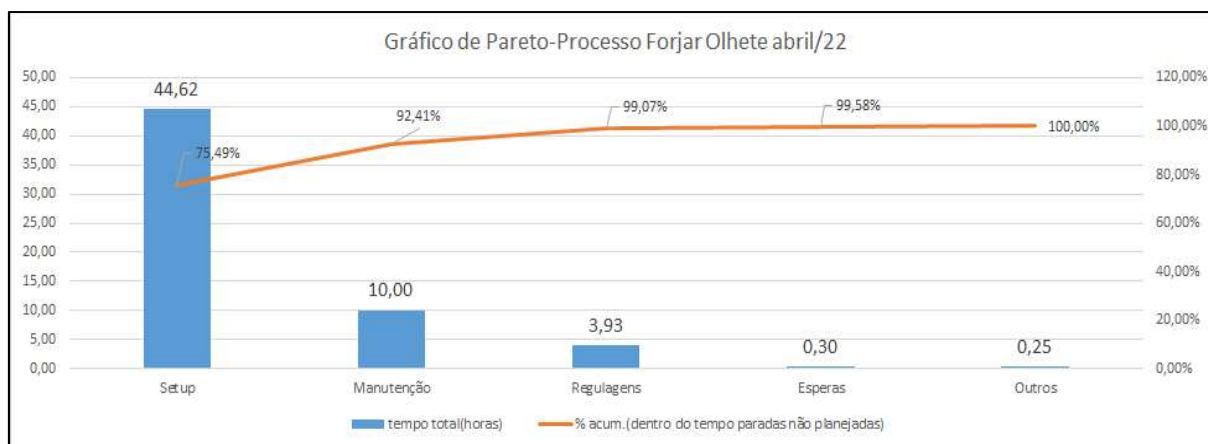
Figura 46- Folha de Verificação para análise inicial da situação

Etapa processo nº	Roteiro de Processos para produção dos Feixes Parabólicos MBA	Tempo de ciclo (segundos)	Produção peças/hora teórica(Meta OEE 75%)	Capacidade de produção/mês atual em Operações teórica (1 turno)	Demanda 2022	Produção/mês Operações real(1 turno)	Déficit mensal
10	Cortar Barra	15	180	28354	30000	30330	330
20	Laminação Parabólica	33	81	12759	13000	13580	580
30	Forjar Olhete	30	90	14177	14177	10110	-4067
40	Furação de centro+Ressalto - rebaixo	30	90	14177	14177	14238	61
50	Tratamento Térmico+Revenimento	14	188	29535	29535	29535	0
60	Stress shot peening	45	180	28354	28354	30330	1976
70	Pintura lâmina	12	225	35442	35442	36240	798
80	Usinagem de olhete	90	30	4726	4726	4800	74
90	Embuchamento	60	45	7088	7500	9100	1600
100	Montagem	60	45	7088	1959	1699	-260
110	Pintura Feixe	60	45	7088	1959	1699	-260

Fonte: Base de dados PPCP RASSINI NHK AUTOMOTIVE

Por intermédio desta folha de verificação, foi evidenciado que, dentre todos os processos, que fazem parte do fluxo do produto e processo em análise, foi identificado que o processo forjar olhete, é o gargalo, não fazendo a entrega da quantidade de produtos sob demanda mensalmente (-4067 operações) e desta forma os processos seguintes e finais de montagem, já recebem quantidade menor demandada que o necessário, isto para composição de estoque e demanda cliente. O cenário indica, que a puxada cliente tende a aumentar e desta forma, se faz necessário fazer a composição do estoque que estava defasado em (-260 peças). Para estratificar o problema, foi utilizado o gráfico de Pareto para obter um melhor entendimento do processo gargalo e evidenciou-se duas causas principais, tempo elevado de setup e paradas de máquina por manutenção. O tempo de setup representou 44,62 horas e o tempo de paradas não programadas por manutenção representou 10 horas no mês de abril conforme é demonstrado no Gráfico de Pareto ilustrado na Figura 47, a seguir.

Figura 47- Gráfico de Pareto das principais causas de paradas Processo Forjar Olhete



Fonte: Autoria própria

Pelo gráfico de Pareto representado pela Figura 47, foi possível identificar, que o tempo de setup de 44,62 horas representa 75,49%, que este, somado ao tempo de parada por manutenção, de 10,00 horas representam 92,41% das causas das principais paradas do equipamento.

Análise do tempo elevado de setup mensal:

A fim de refinar o estudo do setup, foi realizado um acompanhamento nos turnos produtivos, a fim de identificar possíveis diferenças na sua execução, conforme ilustrado no Quadro 8.

Quadro 8- Tempo de setup médio ref. Abril/22

Turno	tempo total mês(Minutos)	nº vezes	tempo médio(Minutos)
1ºT	908,00	82	11,07
2ºT	917,00	79	11,61
3ºT	852,00	80	10,65
total	2677,00	241	11,11

Fonte: Autoria própria

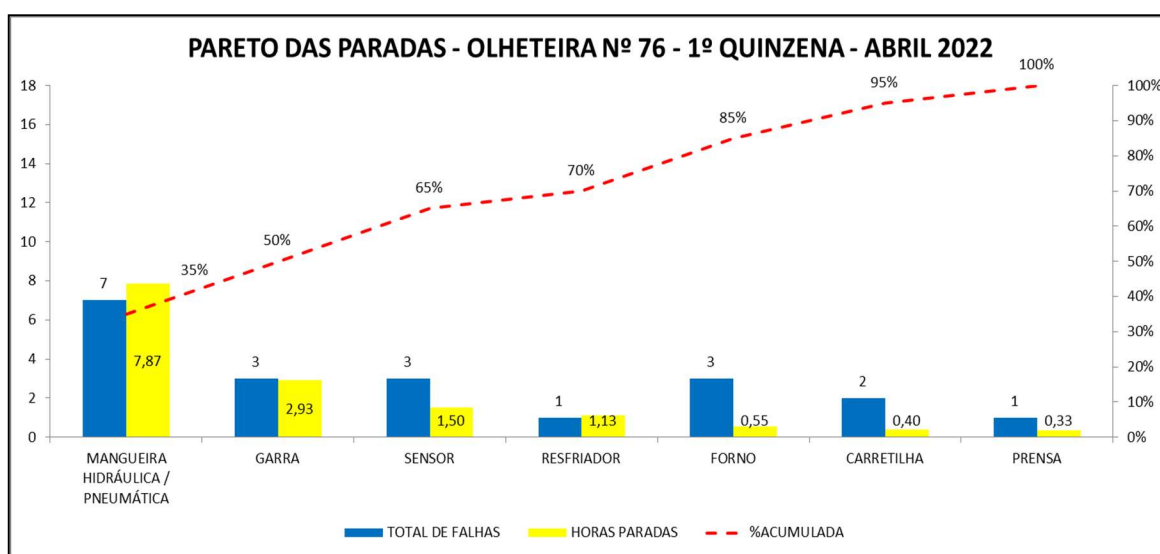
Pode-se concluir que as quebras dos lotes produtivos é um fator potencial como fonte geradora dos altos índices de tempo e setup. A possibilidade de unificar Ordens de

produção, de um mesmo produto, não é descartada e passará a ser considerada pelo setor de programação PPCP, como ação para atender o objetivo de reduzir esta frequência.

Análise do tempo elevado por Manutenção:

Quando se fala em Manutenção, foi levado em conta dois indicadores principais, são eles o MTBF e MTTR. A princípio, foram utilizados os gráficos de Pareto, representados nas figuras à seguir, afim de identificar as principais causas de paradas no equipamento, separados entre a primeira e segunda quinzena do mês de abril/2022. E posteriormente foi elaborado o pareto do pareto, da principal fonte causadora de parada na máquina de conformação de olhete, denominada Olheteira. Afim de refinar a análise e para identificar os principais componentes de máquina, geradores das principais paradas.

Figura 48- Pareto de máquina Olheteira 76 1º Quinzena Abril/2022

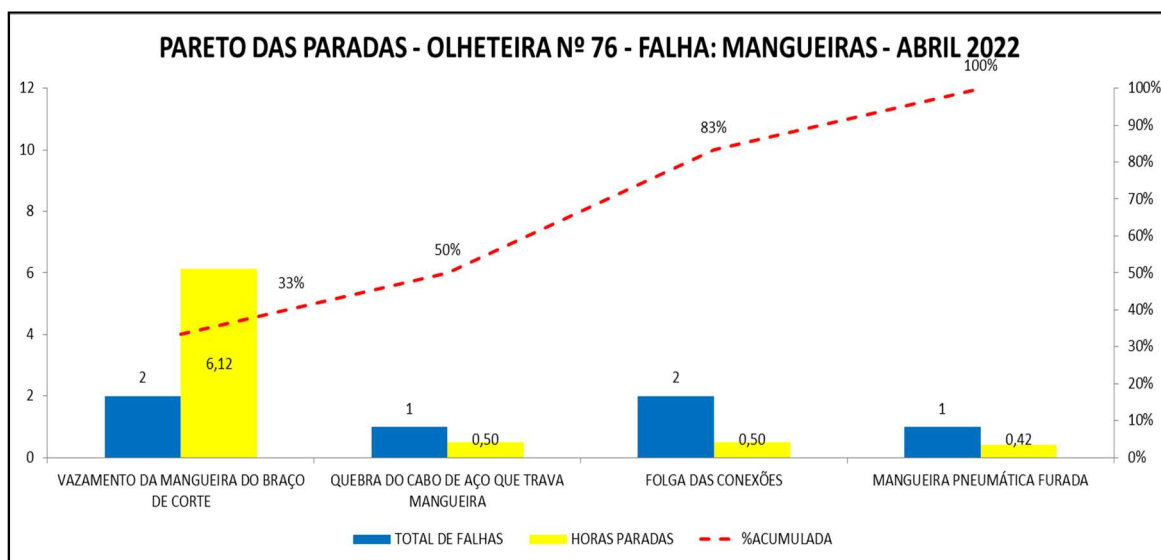


Fonte: Autoria própria

A Figura 48, ilustra, que os vazamentos decorrentes da mangueira da faca de corte e falhas nos conjuntos da garra foram os maiores vilões.

Na Figura 49, está ilustrado, a causa principal, decorrente das paradas em função do problema com mangueira.

Figura 49- Pareto da falha decorrente das Mangueiras 1º Quinzena Abril/2022

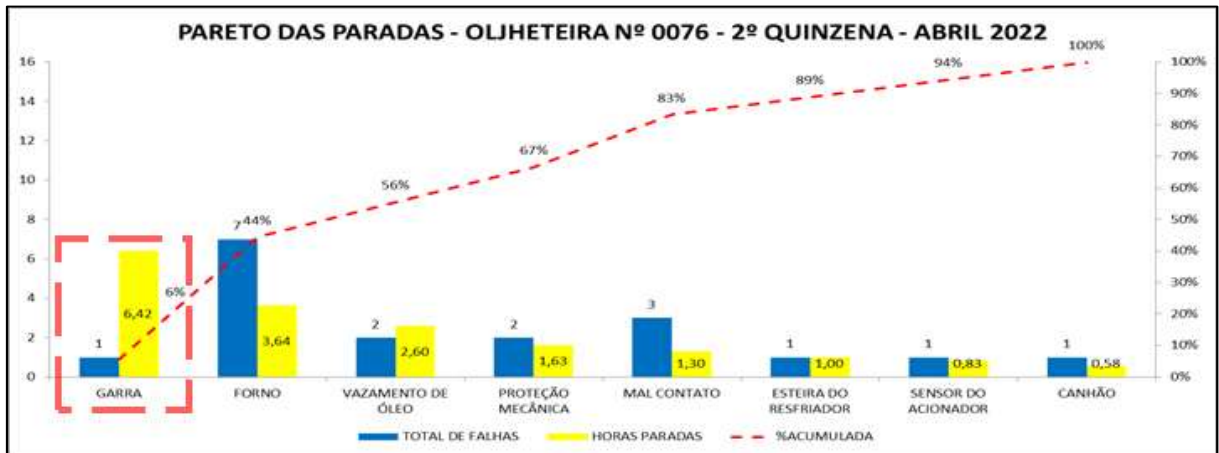


Fonte: Autoria própria

Sendo este identificado pontualmente no braço da faca de corte, sendo este o responsável em cortar o excedente de material antes de realizar o processo de conformação do olhete.

Na Figura 50, está ilustrado a principal causa de parada na olheteira na segunda quinzena de abril/22.

Figura 50- Pareto de máquina Olheteira 76 2º Quinzena Abril/2022

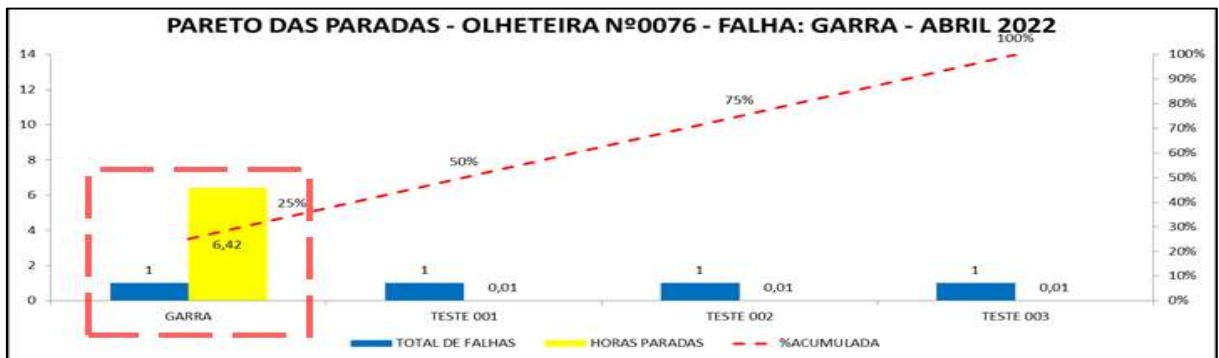


Fonte: Autoria própria

A causa principal de paradas no equipamento ilustrada na Figura 50, é a Garra seguido por problemas do forno.

Na Figura 51, está ilustrado, a causa principal, decorrente das paradas em função da garra.

Figura 51- Pareto da falha decorrente da Garra 2º Quinzena Abril/2022

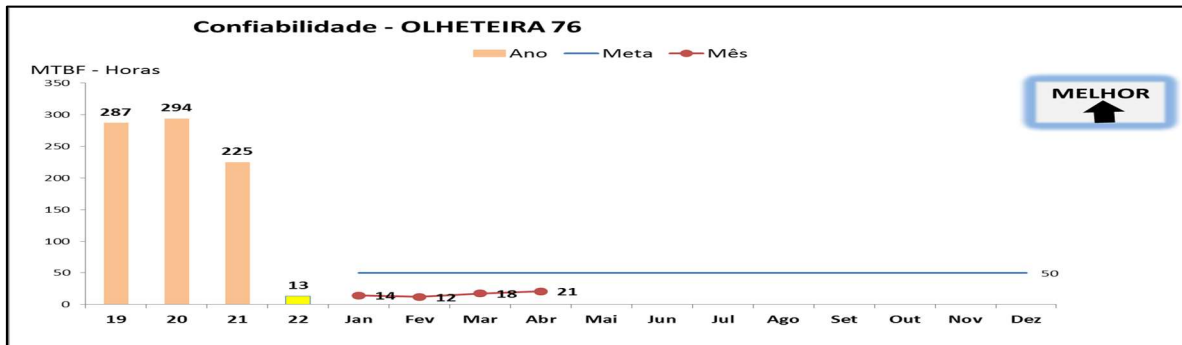


Fonte: Autoria própria

Este identifica pontualmente que a causa está na garra de pega da barra (matéria-prima).

Nas figuras 52; 53; 54 e 55, são ilustrados os resultados dos indicadores MTBF e MTTR, entre a primeira e segunda quinzena de abril/22.

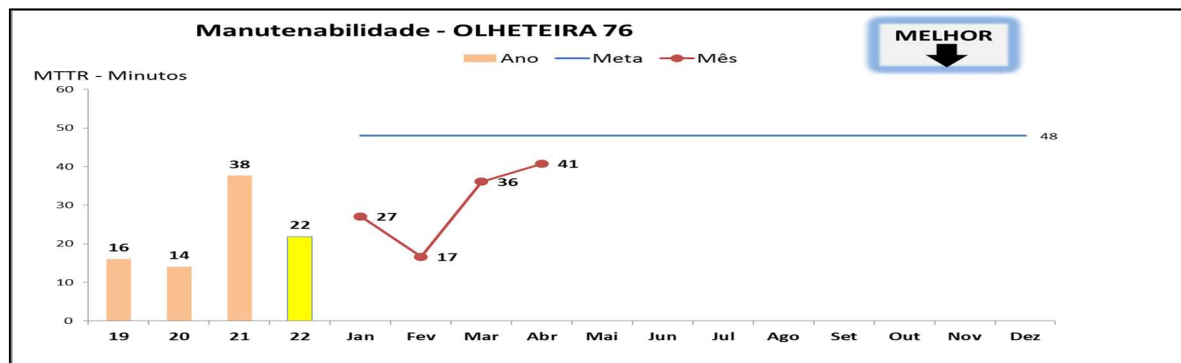
Figura 52-MTBF da Olheteira 1º Quinzena Abril/22



Fonte: Autoria própria

Na Figura 52, está ilustrado o resultado do MTBF da primeira quinzena de Abril/22. Na figura 53, está ilustrado o resultado do MTTR no mesmo período.

Figura 53- MTTR da Olheteira 1º Quinzena Abril/22

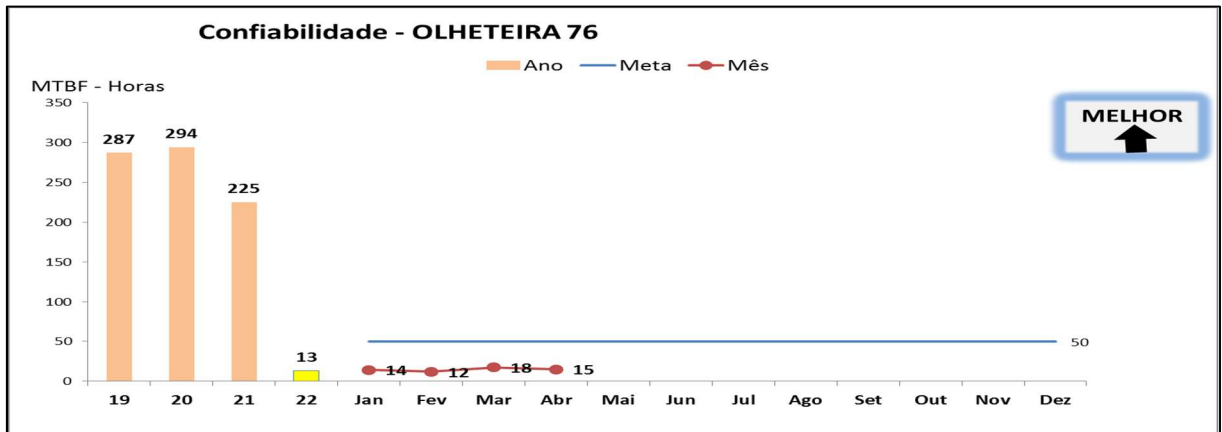


Fonte: Autoria própria

Na primeira quinzena, o MTBF indicou 21 horas e o MTTR 41 minutos.

Na Figura 54, está ilustrado o resultado do MTBF e na Figura 55, o resultado do MTTR, pertinentes a segunda quinzena do mês de Abril/22.

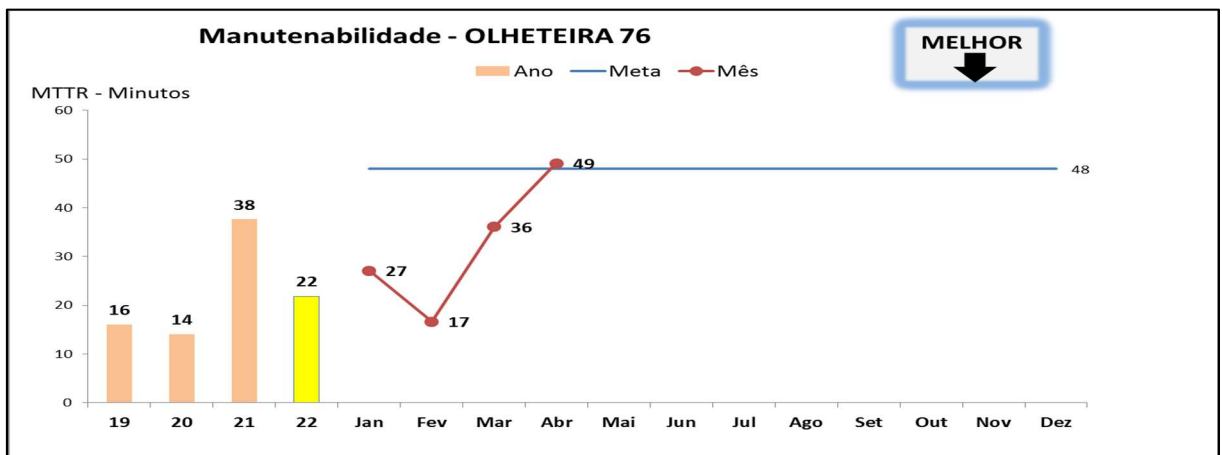
Figura 54- MTBF da Olheteira 2º Quinzena Abril/22



Fonte: Autoria própria

Na segunda quinzena do mesmo mês, o MTBF indicou 15 horas.

Figura 55- MTTR da Olheteira 2º Quinzena Abril/22

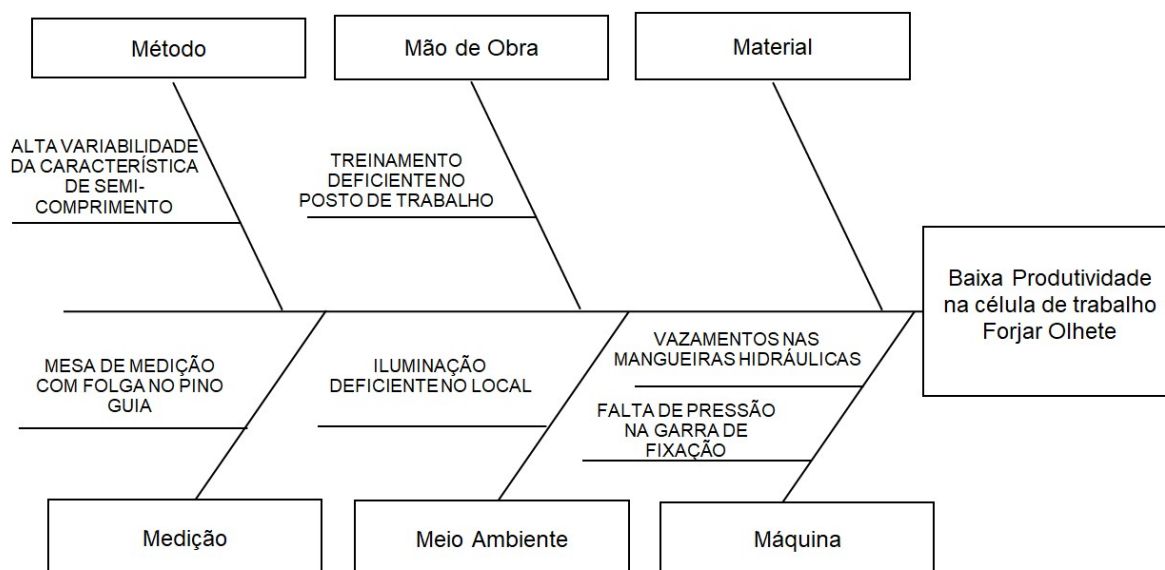


Fonte: Autoria própria

O resultado do MTTR indicou 49 minutos.

Para analisar as demais causas potenciais da baixa produtividade na célula de manufatura de conformação do olhete, foi elaborado um diagrama de Ishikawa, representado na Figura 56, como segue.

Figura 56- Diagrama de Ishikawa “Baixa produtividade na Olheteira”



Fonte: Autoria própria

A Figura 56, ilustra as causas potenciais, dentro dos 6M's e posteriormente, utilizamos uma folha de verificação, para confirmação das causas, afim de confirmar, ou refutar as mesmas, se são somente potenciais, ou se são reais, conforme Quadro 9 à seguir.

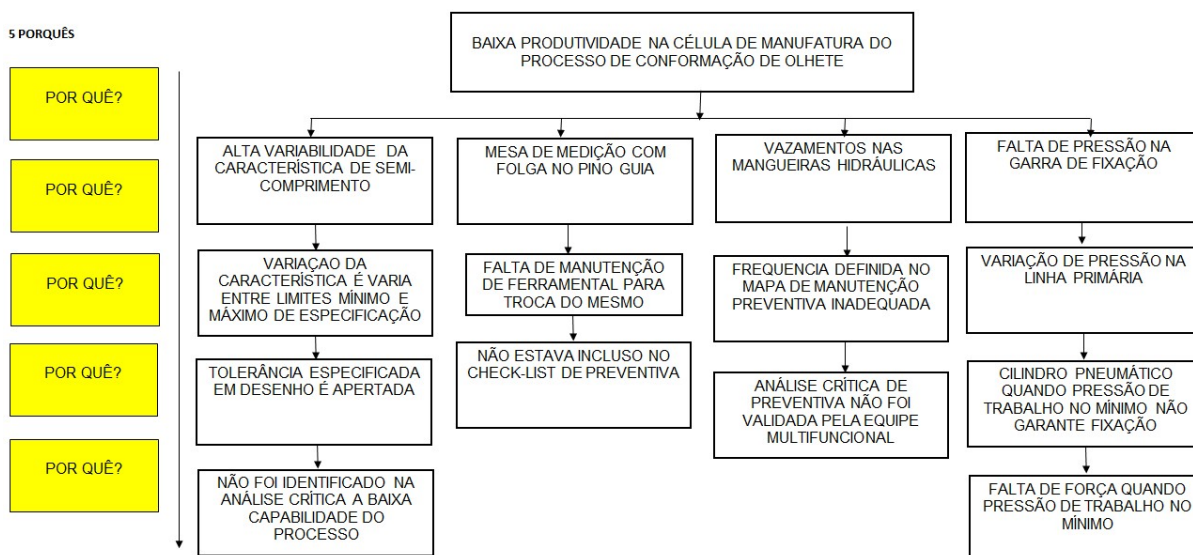
Quadro 9- Folha de Verificação para confirmação das causas potenciais versus reais

FOLHA DE VERIFICAÇÃO		
CAUSAS POTENCIAIS	CAUSA REAL	MÉTODO DE VALIDAÇÃO
	SIM OU NÃO	
ALTA VARIABILIDADE DA CARACTERÍSTICA DE SEMI-COMPIMENTO	SIM	VERIFICAÇÃO IN LOCO
TREINAMENTO DEFICIENTE NO POSTO DE TRABALHO	NÃO	VERIFICAÇÃO DE EFICÁCIA DE TREINAMENTO POR AUDITORIA ESCALONADA
MESA DE MEDIÇÃO COM FOLGA NO PINO GUIA	SIM	VERIFICAÇÃO IN LOCO
ILUMINAÇÃO DEFICIENTE NO LOCAL	NÃO	VERIFICAÇÃO IN LOCO USO DE LUXIMETRO
VAZAMENTOS NAS MANGUEIRAS HIDRÁULICAS	SIM	LEVANTAMENTO DE PARADAS DE MANUTENÇÃO
FALTA DE PRESSÃO NA GARRA DE FIXAÇÃO	SIM	LEVANTAMENTO DE PARADAS DE MANUTENÇÃO

Fonte: Autoria própria

Após validação das causas reais, utilizamos como ferramenta o 5 Porquês, ilustrado na Figura 57, afim de evidenciar a causa raiz dos problemas.

Figura 57-5 Porquês das causas reais



Fonte: Autoria própria

Embasado, nos 5 Porquês, foi verificado, que além de problemas de paradas não programadas no equipamento, por manutenção, setup, foi identificado baixa capacidade para atendimento da especificação de design, para a característica de semi-comprimento da mola lâmina.

Em seguida, foi definido um plano de ação, com uso da ferramenta 5W2H, Figura 58, para resolução dos problemas e consequentemente obter a melhoria do processo.

Figura 58-Plano de ação para melhoria da produtividade na fabricação de Feixes de mola da família MBA

5W2H							
ITEM Nº	O QUE?	POR QUE?	ONDE?	QUANDO?	QUEM?	COMO?	STATUS
1	REVISÃO DO DOCUMENTO DE ANÁLISE CRÍTICA DE PROCESSO	DOCUMENTO ATUAL NÃO SOLICITA INFORME DE CAPABILIDADE DE PROCESSO POR CARACTERÍSTICA DEMANDADA NOS PROJETOS	VENDAS/ ENGENHARIA DE PRODUTO	25/06/2022	RICARDO	REVISÃO DO DOCUMENTO ATUAL CONTEMPLANDO INFORMAÇÃO DE Cp e Cpk POR CARACTERÍSTICAS	CONCLUÍDO
2	INCLUIR NO MAPA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA O CHECK/CONTROLE DO PINO GUIA DE CENTRO DA MESA DE MEDIÇÃO	MAPA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA ATUAL NÃO CONTEMPLA TROCA OU VERIFICAÇÃO DO PINO GUIA	MANUTENÇÃO	29/06/2022	CAIQUE	INCLUIR NO MAPA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA A VERIFICAÇÃO OU TROCA DO COMPONENTE	CONCLUÍDO
3	REDUZIR A FREQUÊNCIA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA TROCA E SUBSTITUIÇÃO DAS MANGUEIRAS, CONEXÕES DO SISTEMA HIDRÁULICO DA OLHETEIRA	FREQUÊNCIA ATUAL INADEQUADA	MANUTENÇÃO	29/06/2022	CAIQUE	REDUZIR A FREQUÊNCIA NO MAPA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	CONCLUÍDO
4	SUBSTITUIR CILINDRO PNEUMÁTICO DA GARRA COM DIÂMETRO DO EMBOLO MAIOR	CILINDRO ATUAL NÃO ATENDE FORÇA NECESSÁRIA PARA PEGA DA GARRA	PROCESSO/ MANUTENÇÃO	30/06/2022	ADRIANO	DIMENSIONAR CILINDRO IDEAL E REALIZAR A TROCA	CONCLUÍDO

Fonte: Autoria própria

Após implementação das melhorias definidas no 5W2H, foi iniciado o plano de monitoramento dos resultados, afim de evidenciar os possíveis ganhos e os resultados obtidos.

Quadro 10- Monitoramento dos resultados após implementação do LSS puro

FEIXES DE MOLA PARABÓLICOS MBA				
	Entrega	Demanda	%Atend.	Diferença
média 2021	1578	1700	92,82%	-122
média 2022	1790	1959	91,37%	-169
jan/22	1550	1959	79,12%	-409
fev/22	1538	1959	78,51%	-421
mar/22	1745	1959	89,08%	-214
abr/22	1780	1959	90,86%	-179
mai/22	1822	1959	93,01%	-137
jun/22	1930	1959	98,52%	-29
jul/22	1902	1959	97,09%	-57
ago/22	1922	1959	98,11%	-37
set/22	1920	1959	98,01%	-39

Fonte: Autoria própria

O Quadro 10 mostra, que o ganho obtido com a implementação do trabalho de melhoria, fazendo uso das técnicas e ferramentas da qualidade do LSS puro foi de 10%, tomando como base de referência, o resultado de entrega médio entre o mês

de janeiro à junho/22 e comparando com o resultado médio entre julho à setembro/22, que saiu de 1727 feixes/mês, para 1914 feixes/mês.

Apesar de ser obtido um bom resultado inicial, em função da meta pré-estabelecida pela alta direção de 15%, a mesma não foi atendida, sendo assim, pela oportunidade oferecida em função dos resultados apresentados, foi dado continuidade neste tema de trabalho de melhoria, no entanto, seguindo com a aplicação do método proposto M&SLSS.

Relatório A3 numa aplicação com a aplicação do método M&SLSS

Para a aplicação do método M&SLSS, ilustrado na Figura 59, o prazo definido pela alta direção de 6 meses, que ocorreu no segundo semestre, entre os meses de junho a dezembro de 2022, com acompanhamento e monitoramento dos resultados nos 3 meses seguintes.

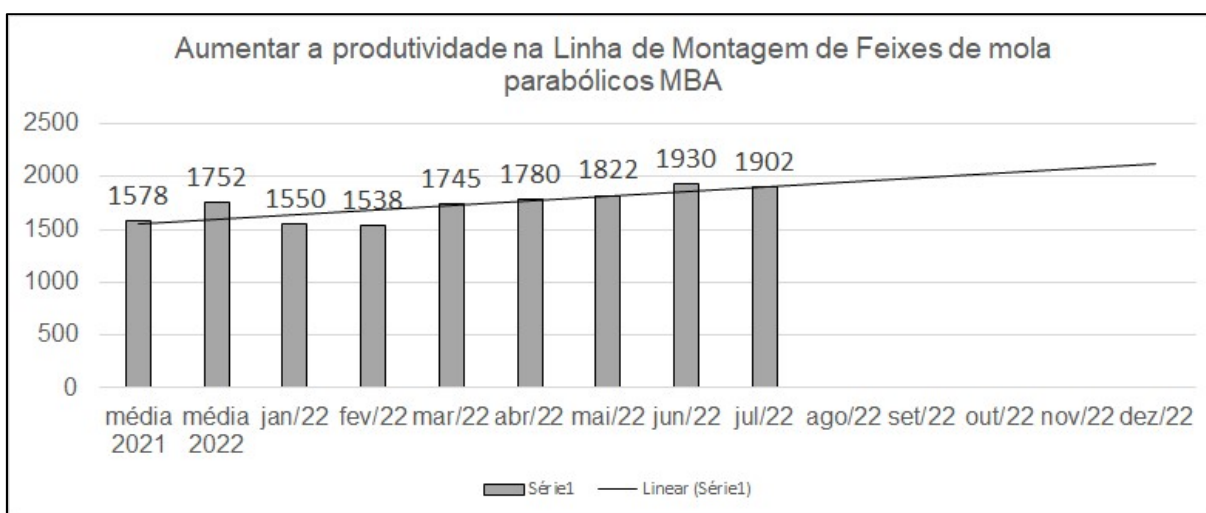
Nesta aplicação do M&SLSS, que serve para a validação do modelo, além dos fatores de perdas de disponibilidade, também foram considerados fatores direcionados a capacidade, ao qual pelo modelo matemático, foi possível identificar as causas reais

de perdas da capacidade, prejudicando o resultado operacional, e que não foram levados em consideração no trabalho anterior com aplicação do LSS puro. Este pode ser um fator potencial pelo não atendimento das métricas pré-estabelecidas no escopo inicial e que foi tratado como diferencial pelo método proposto M&SLSS para complemento das análises de causa.

Na etapa 1, para a análise da situação atual, embasada no modelo, se destaca quanto a sua forma de avaliação e predição de resultados, para suporte a produção e auxílio a tomada de decisão.

Primeiramente foi levantado o resultado de entrega mensal, para entendimento das entregas, conforme ilustrado na Figura 60.

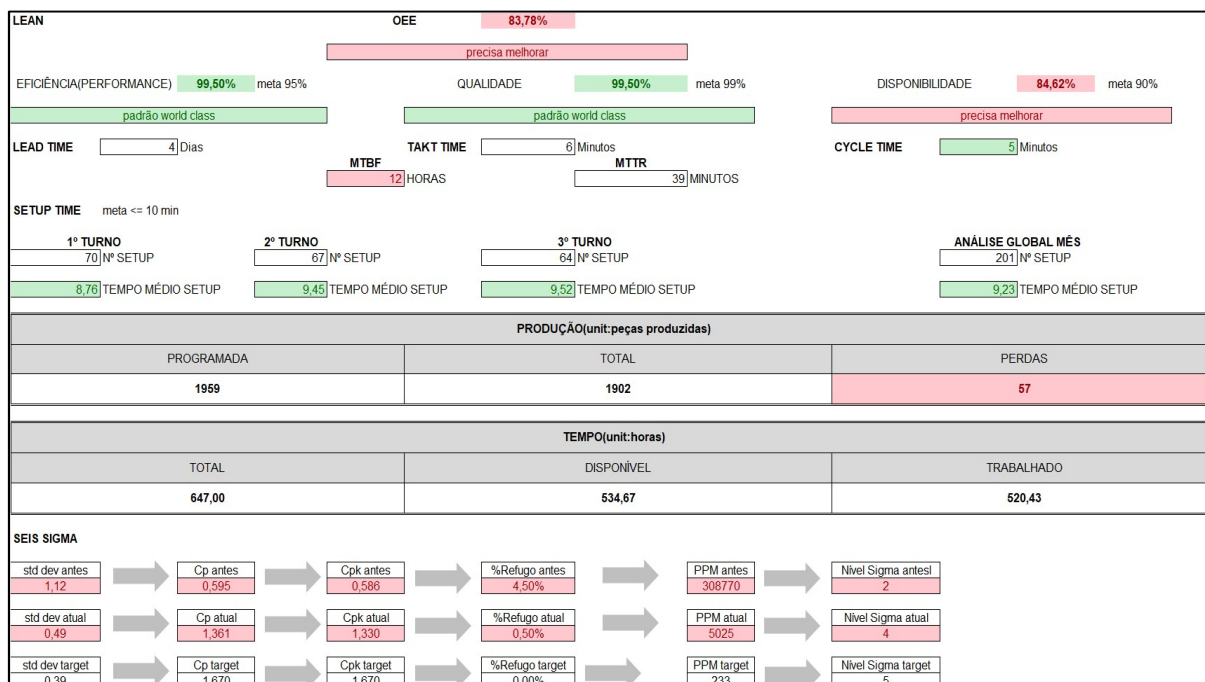
Figura 60-Gráfico de Barras Análise da Situação inicial Ref. Julho/22



Fonte: Autoria própria

Embasado no modelo matemático, em função do Simulador de resultados operacionais, foi possível entender através dos indicadores, as principais causas geradoras das perdas de produtividade, demonstrado na Figura 61, no Simulador de resultados operacionais.

Figura 61- Simulador de resultados operacionais ref. Julho/22



Fonte: Elaborado pelo autor

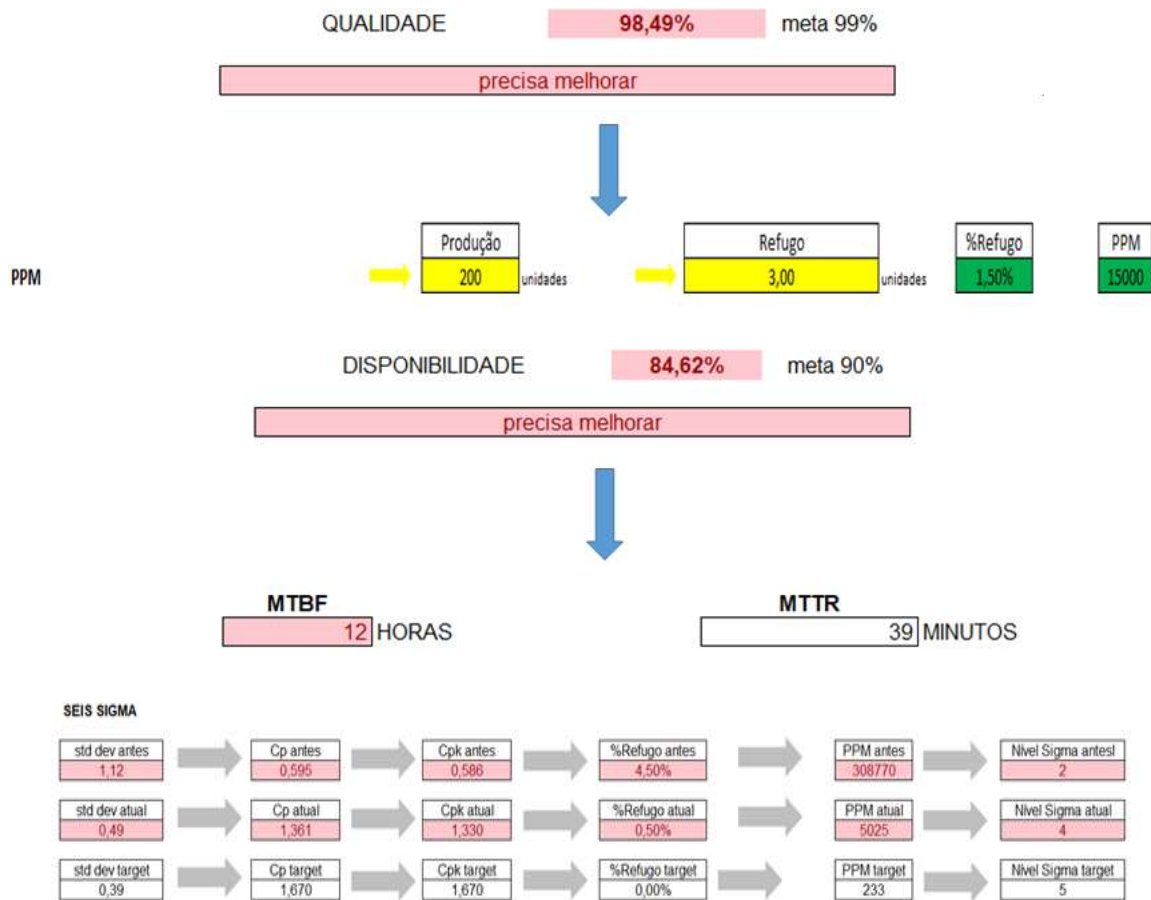
Pelo indicador OEE, foi possível identificar através do simulador, além das perdas de qualidade e disponibilidade, foi identificado perdas de capacidade, pelo não atendimento da especificação do semi-comprimento no produto em análise.

Também foi possível identificar, que o tempo de setup se mantém dentro da meta, sendo este um fator positivo, porém o MTBF obteve piora, quando comparado com o resultado do primeiro semestre, saindo de 39 horas e passando para 12 horas, sendo que, para esta métrica, quanto maior melhor.

Na etapa 2 de estratificação do problema, se destaca quanto ao seu direcionamento ao qual o modelo propiciou, dando enfoque, nos indicadores fora das metas definidas, ilustrados na Figura 62. São eles:

- Taxa de Qualidade
- Taxa de Disponibilidade
- MTBF
- Perdas de capacidade, demonstradas através dos resultados do desvio padrão, índices de Cp e Cpk, % de refugo e nível sigma do processo atual.

Figura 62- Indicadores fora da meta demonstrados no Simulador ref. Julho/22



Fonte: Autoria própria

Na etapa 4, foi estabelecido uma meta primária e por consequência uma meta secundária. A meta primária, pretende-se elevar o nível sigma do processo forjar olhete de atual, 2 sigmas para 5 sigmas, pois se entende, caso não haja a evolução no nível sigma do processo, não será possível atender a meta secundária, que é a obtenção no ganho em produtividade de 15% na Linha de Montagem, devido aos refugos gerados pela falta de capacidade no processo.

Com a utilização do M&SLSS, na etapa 5, análise da causa raiz, destaca-se quanto ao uso das ferramentas que a modelagem computacional corrobora, e devido à redução no tempo necessário para coleta de dados, quanto a possibilidade no aumento da amostragem dos dados, considerando uma margem de erro de 5%.

➤ Análise de capacidade:

De acordo com o tamanho da amostra de 2000 peças, com margem de erro de 5%, estatisticamente se faz necessário mensurar 333 peças. O Quadro 11, mostra a correlação do tamanho da população com a margem de erro desejada.

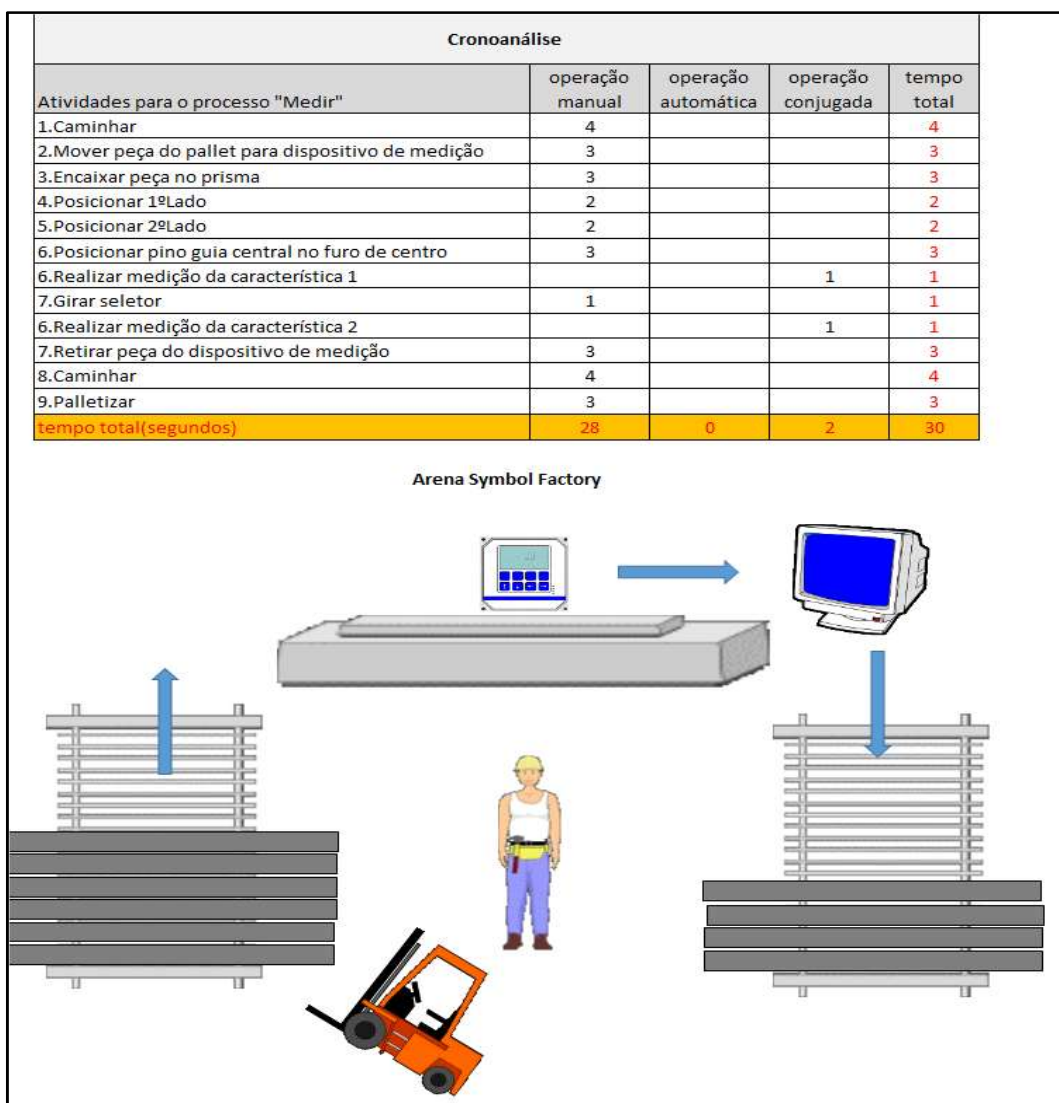
Quadro 11- Correlação do tamanho da população com margem de erro desejada

Tamanho da população	Margem de erro desejada					
	1%	2%	3%	4%	5%	10%
<1000					222	83
1.000				385	286	91
1.500			638	441	316	94
2.000			714	476	333	95
2.500		1.250	769	500	345	96
3.000		1.364	811	517	353	97
3.500		1.458	843	530	359	97
4.000		1.538	870	541	364	98
4.500		1.607	891	549	367	98
5.000		1.667	909	566	370	98
6.000		1.765	938	574	375	98
7.000		1.842	949	579	378	99
8.000		1.905	976	584	381	99
9.000		1.957	989	592	383	99
10.000	5.000	2.000	1.000	600	383	99
15.000	6.000	2.143	1.034	606	390	99
20.000	6.667	2.222	1.053	606	392	100
25.000	7.143	2.273	1.064	610	394	100
50.000	8.333	2.381	1.087	617	397	100
100.000	9.091	2.439	1.099	621	398	100
>100000	10.000	2.500	1.111	625	400	100

Fonte: H.Arkin e R.Colton, Tables for Statisticians(Editora Barnes and Noble, 1976)

Posteriormente, foi realizado uma cronoanálise, (Figura 63), para identificação das atividades necessárias para execução de um processo de medição das peças, tal como, a característica de semi-comprimento de um feixe de mola.

Figura 63- Cronoanálise das atividades para medição e controle da característica de semi-comprimento



Fonte: Autoria própria

Por meio da cronoanálise, após sistematização das atividades de execução do processo de medição e controle da característica de semi-comprimento, o tempo de ciclo é de 30 segundos, para sua execução.

Desta forma, com objetivo de identificar e potencializar os benefícios, foi realizado uma simulação deste processo, representado na Figura 64.

Figura 64- Resultados da Simulação de demanda de tempo real versus computacional

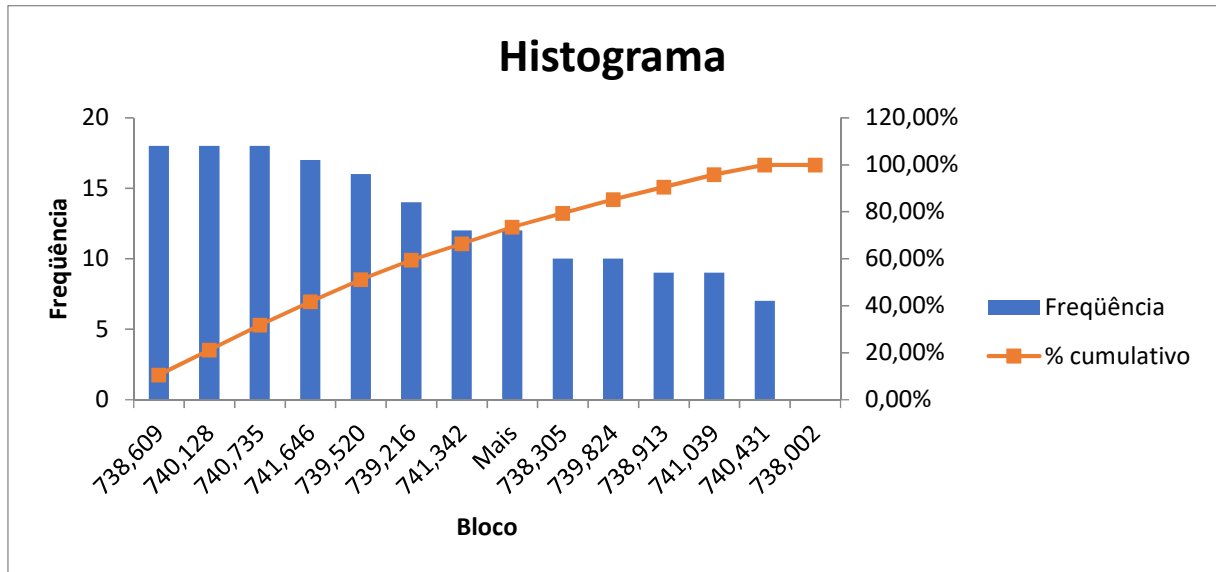
Simulação real em Processo lote amostral:		
Ordem de Produção:	1000	peças
Tempo de ciclo/medição:	30	segundos
Tempo total medição lote inteiro:	8,3	horas
Simulação por Monte Carlo aumentando a amostragem dos dados		
Ordem de Produção:	2000	peças
Tempo de ciclo/medição:	30	segundos
Tempo total medição lote inteiro:	16,7	horas
Amostragem com erro 5%	333	peças
Tempo de ciclo/medição:	30	segundos
Tempo total medição lote inteiro:	2,8	horas
Tempo decorrido para simular 2000 dados	2	minutos
Tempo total com dados aleatórios aumentando amostragem	2,808	horas
Redução no tempo dedicado para coleta + análise dos dados	83,2%	

Fonte: Autoria própria

Para a simulação, foi utilizado o Arena e o Excel, como softwares de suporte, e foi demonstrado através dos seus resultados, que o tempo necessário no processo físico para realizar as devidas medições de uma população de 2000 peças, demanda 16,7 horas e para uma amostragem com a margem de erro 5%, ou seja, 333 peças, fisicamente, demanda 2,8 horas para significância estatística. Para realizar esta simulação, num modelo computacional aumentando a amostragem, são dedicados apenas 2 minutos, uma redução de 83,2% em sua execução, ao qual pode-se destacar como benefício e vantagem operacional, quando comparado ao método de coleta de dados praticados no LSS puro.

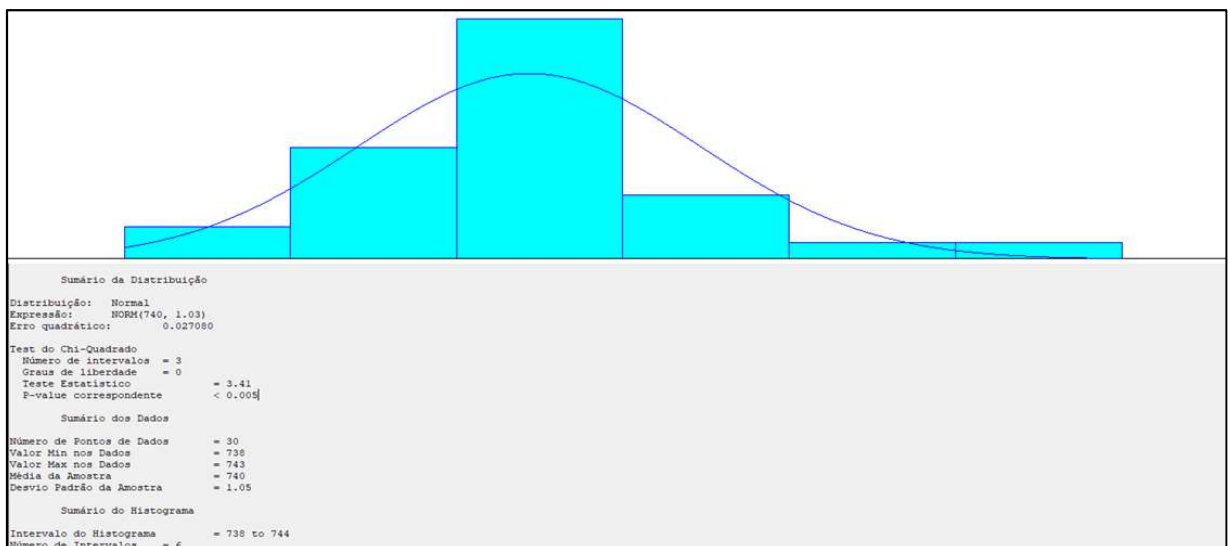
Posteriormente, após a coleta de dados e análise, foi elaborado um histograma para representação gráfica, deste conjunto de dados, como segue ilustrado na Figura 65.

Figura 65- Representação gráfica resultados de semi-comprimento ref. Julho/22



Fonte: Autoria própria

Logo após, foi realizada uma análise, para classificação dos dados e identificar qual o tipo de distribuição, ao qual, estes dados pertencem, com uso do *Input Analyzer* do Arena Software, ilustrado na Figura 66.

Figura 66- Classificação dos dados com *Input Analyzer* ref. Julho/22

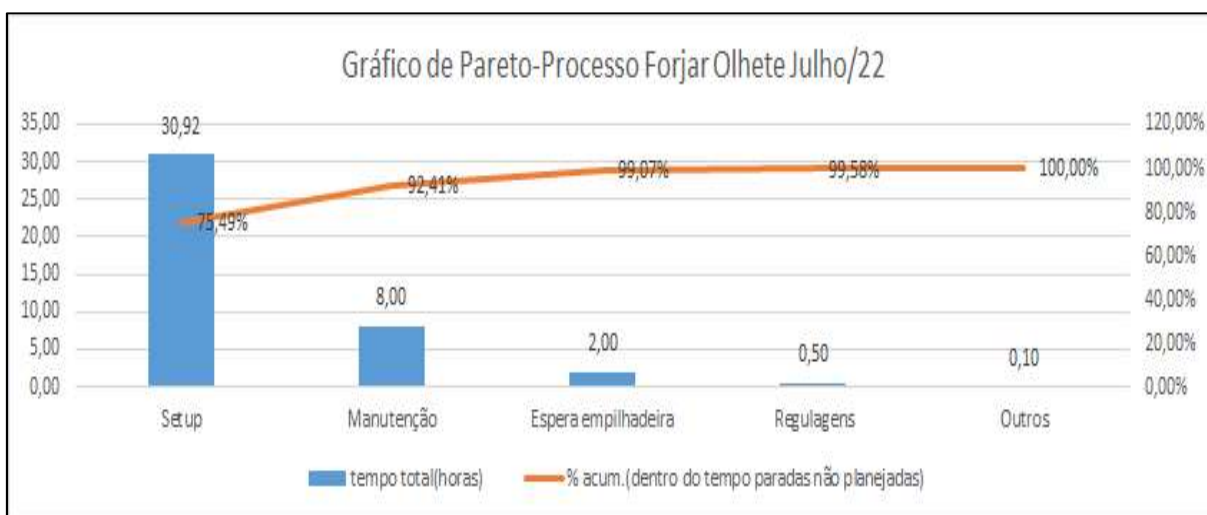
Fonte: Autoria própria

O sumário da distribuição no histograma, indica que estes dados pertencem a distribuição normal.

Análise de disponibilidade:

Novamente o gráfico de Pareto, (Figura 67), foi utilizado com objetivo de identificar e priorizar as fontes causadoras da baixa produtividade na célula de forjar olhete.

Figura 67- Pareto das causas da baixa produtividade célula Forjar Olhete ref. Julho/22



Fonte: Autoria própria

O gráfico de Pareto indicou que as principais paradas de máquina desta célula produtiva, são por tempo de setup e manutenção, os quais somados, representam 92,41% das paradas.

➤ Análise do Setup:

Foi realizado um mapeamento do tempo de setup, com objetivo de identificar as causas, que pudessem justificar 30,92 horas dedicadas para este fim. O Quadro 12 abaixo, demonstram os resultados.

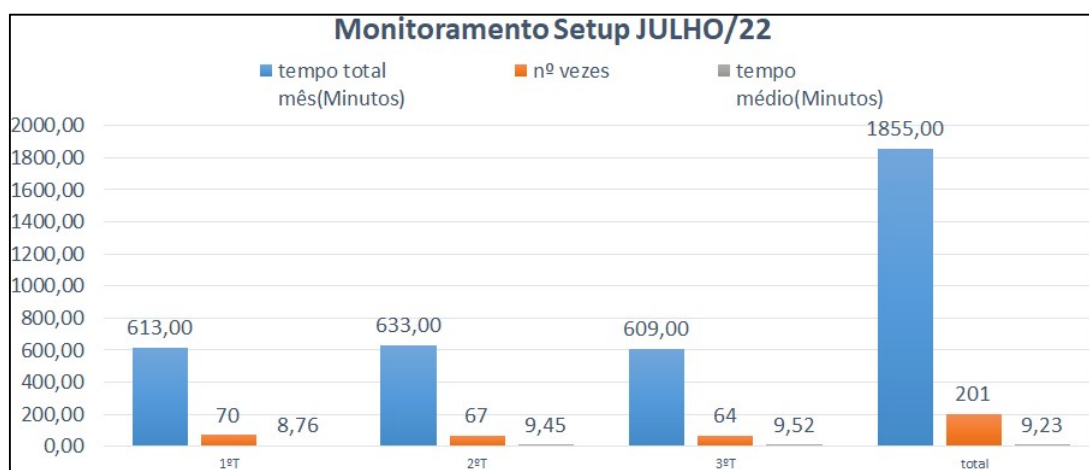
Quadro 12- Mapeamento do tempo e setup ref. Julho/22

Turno	tempo total mês(Minutos)	nº vezes	tempo médio(Minutos)
1ºT	613,00	70	8,76
2ºT	633,00	67	9,45
3ºT	609,00	64	9,52
total	1855,00	201	9,23

Fonte: Autoria própria

Para uma análise gráfica, foi elaborado um gráfico de barras, ilustrado na Figura 68, para se obter uma melhor visualização dos resultados e comparação entre os turnos.

Figura 68- Gráfico de colunas do tempo e setup ref. Julho/22

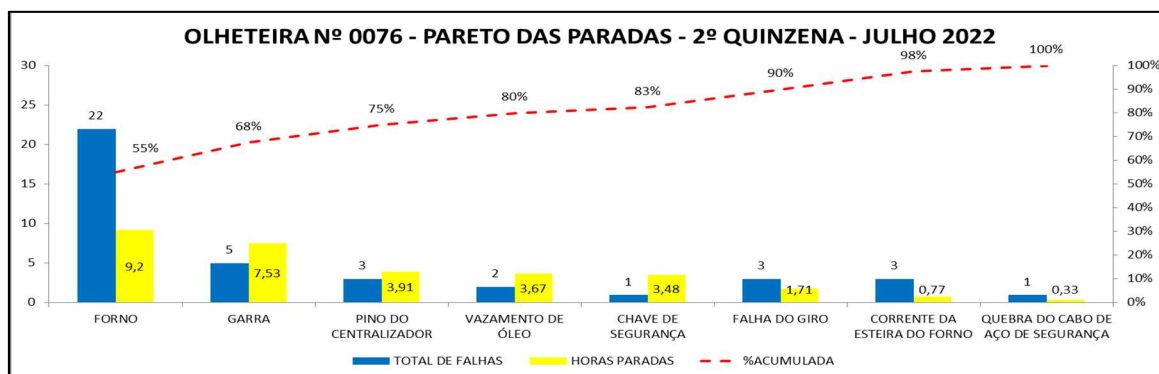


Fonte: Autoria própria

Em função dos resultados, refuta-se o tempo de setup como principal causador da perda de disponibilidade no mês de julho/22, isto se justifica pelo fato, do mesmo, estar atendendo a meta definida de 10 minutos, devendo este monitoramento ser continuado nos demais meses. A melhoria implementada com a padronização das atividades setup, a disponibilização em painel, das ferramentas necessárias para sua execução e o desenvolvimento das atividades do setup externo “SMED”, são fatores fundamentais para obtenção desse ganho operacional.

Para a análise das paradas por Manutenção, foi utilizado o gráfico de Pareto ilustrado na Figura 69.

Figura 69- Pareto de máquina Olheteira 76 Julho/2022-2º quinzena

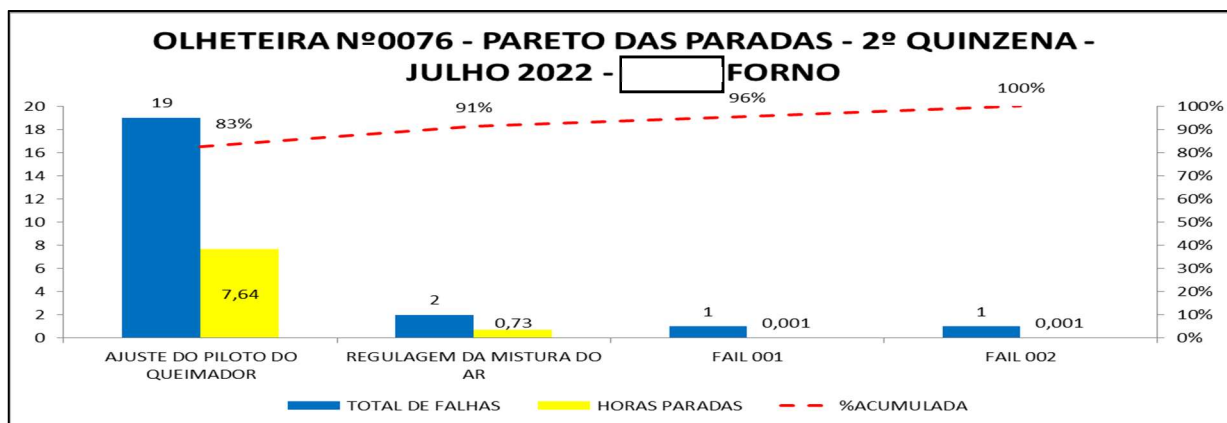


Fonte: Autoria própria

O gráfico de Pareto indica que o principal problema ocorre no Forno de aquecimento com 22 falhas e 9,2 horas paradas, representando 55% das paradas.

Na Figura 70, foi possível ilustrar, a principais fontes de paradas por manutenção no Forno de aquecimento da célula de manufatura do processo de conformação de olhete.

Figura 70- Pareto do forno da Olheteira 76 ref. Julho/2022-2º quinzena

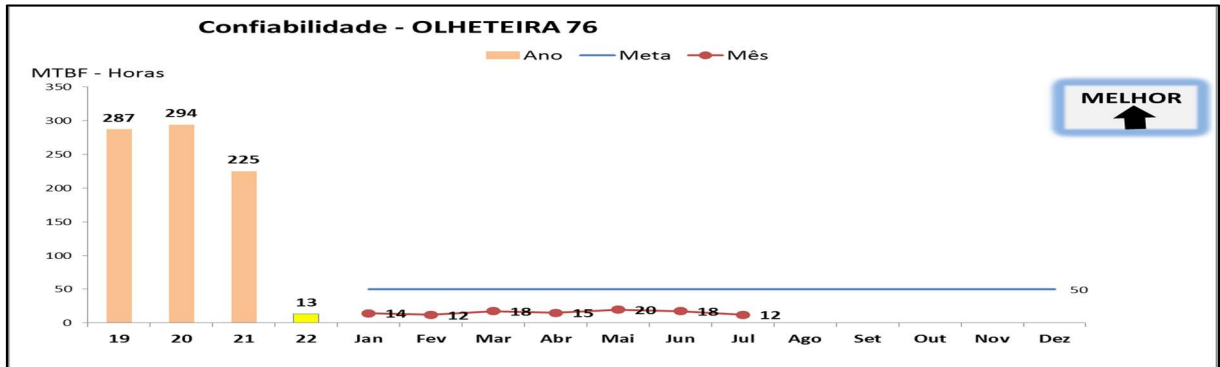


Fonte: Autoria própria

Foi evidenciado que os queimadores e ajustes de piloto, foram os maiores vilões.

O resultado de MTBF ilustrado na Figura 71, indica um resultado de 12 horas, mostrando que em função dos problemas, o resultado da célula de trabalho piorou.

Figura 71- MTBF Confiabilidade ref. Julho/2022-2º quinzena

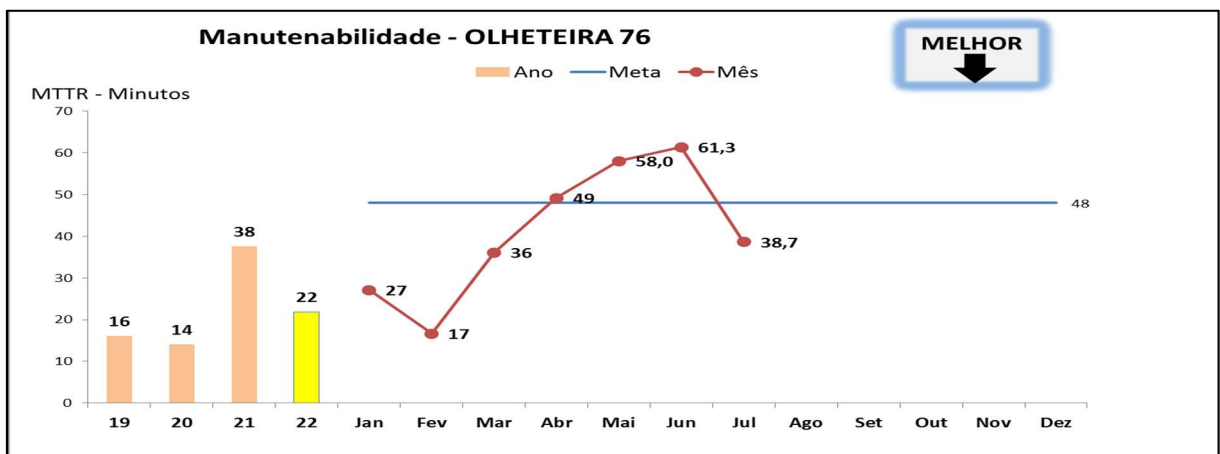


Fonte: Autoria própria

O resultado de confiabilidade MTBF, indicou 12 horas, mostrando que em função dos problemas, o equipamento piorou. No entanto, se comprova(Figura 69), que o problema apresentado de parada por manutenção, se deu em função de outro equipamento da célula, o forno.

O resultado do MTTR, ilustrado na Figura 72, indicou aproximadamente 39 minutos, que demonstra, que as ações de correção, estão melhorando.

Figura 72- MTTR Manutenibilidade ref. Julho/22

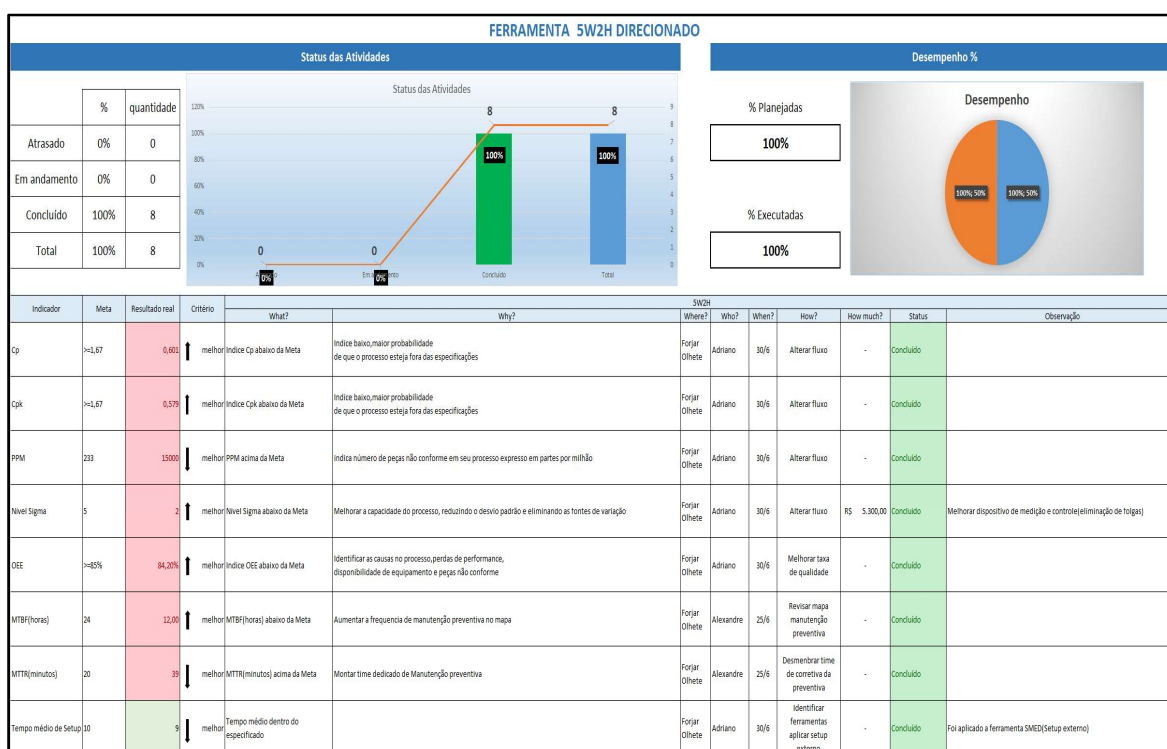


Fonte: Autoria própria

Na etapa 5, foram definidas pela equipe multifuncional (composta por representantes das áreas de qualidade, produção, manutenção, ferramentaria e engenharia), ações sistêmicas, com objetivo de garantir a robustez das ações e garantir que os problemas não possam retornar e assim manter a melhoria do processo, quanto as metas estabelecidas.

O Plano de Ação 5W2H (*What, Where, When, Who, Why, How and How much,*) direcionado, ilustrado na Figura 73, foi elaborado com este objetivo.

Figura 73- 5W2H Direcionado ref. Outubro/22



Fonte: Autoria própria

As ações definidas no 5W2H direcionado, foram implementadas no processo e em seguida, foi iniciado o plano de monitoramento dos resultados nos meses seguintes a última data de implementação definida.

Para o monitoramento do tempo de setup, Figura 74, sendo este um vilão para a taxa de disponibilidade, com o acompanhamento diário, sendo o mesmo gerado

automaticamente no modelo matemático, foi possível observar sua tendência, em função dos resultados obtidos.

Figura 74- Monitoramento do tempo médio de Setup mês

período	SETUP(minutos / troca)			
	1ºT	2ºT	3ºT	média
média 2021	12,33	12,58	13,01	12,64
média 2022	10,43	10,99	11,28	10,90
janeiro-22	11,38	12,01	12,05	11,81
fevereiro-22	10,70	11,45	12,13	11,43
março-22	11,22	11,55	12,18	11,65
abril-22	11,07	11,61	10,65	11,11
maio-22	11,22	11,78	11,95	11,65
junho-22	10,50	12,18	13,05	11,91
julho-22	8,90	9,28	9,50	9,23
agosto-22	10,32	11,05	11,90	11,09
setembro-22	11,22	11,35	12,12	11,56
outubro-22	11,58	12,18	12,22	11,99
novembro-22	9,45	9,78	9,57	9,60
dezembro-22	9,22	9,15	9,78	9,38
janeiro-23	8,76	9,45	9,52	9,24
Média	10,72	11,25	11,58	11,18
Erro padrão	0,25	0,26	0,30	0,26
Mediana	11,07	11,48	12,05	11,56
Modo	11,22	12,18	12,12	11,65
Desvio padrão	0,96	1,02	1,16	1,00
Variância da amostra	0,92	1,04	1,34	1,01
Curtose	0,18	0,28	-0,38	0,21
Assimetria	-0,70	-1,06	-0,87	-1,03
Intervalo	3,57	3,43	3,53	3,40
Mínimo	8,76	9,15	9,52	9,24
Máximo	12,33	12,58	13,05	12,64
Soma	160,85	168,75	173,73	167,77
Contagem	15,00	15,00	15,00	15,00

Fonte: Autoria própria

No mês de outubro/22, foi implementado a técnica SMED (*Setup* externo), e assim, logo nos meses seguintes a sua implementação, foi observado uma melhora com a

redução do tempo médio de 11,34 minutos (média entre janeiro à outubro/22) para 9,41 minutos (média entre novembro/22 à janeiro/23), um ganho de 20% .

De tal forma, foi aplicada a mesma análise, porém, para o tempo de paradas por Manutenção, Figura 75, que também impacta diretamente na taxa de disponibilidade e consecutivamente no OEE.

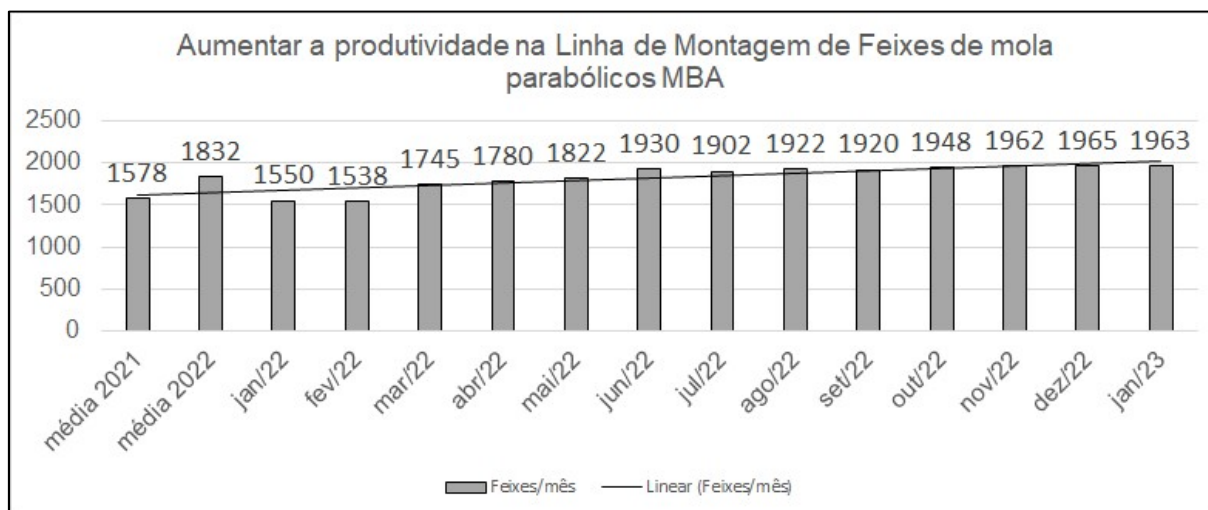
Figura 75- Monitoramento do tempo de parada por Manutenção

PERÍODO	Equipamento: OL0076	
	MTTR (HORAS)	MTBF (HORAS)
média 2021	39,08	22,01
média 2022	39,08	23,66
janeiro-22	24,84	11,57
fevereiro-22	37,18	20,92
março-22	27,92	19,43
abril-22	49,06	15,05
maio-22	37,97	25,90
junho-22	33,96	18,13
julho-22	43,12	39,23
agosto-22	54,28	17,00
setembro-22	55,03	19,43
outubro-22	52,04	23,65
novembro-22	42,53	34,00
dezembro-22	33,08	18,13
janeiro-23	38,01	45,09

Fonte: Autoria própria

Na etapa 7, para monitoramento do indicador de feixes/mês, foi utilizado o gráfico de barras para obter uma melhor visualização do cenário, conforme ilustrado na Figura 76.

Figura 76- Gráfico de Barras dos resultados em feixes/mês



Fonte: Autoria própria

O gráfico ilustra uma tendência positiva nos índices de produtividade e consecutivamente entrega.

No Quadro 13, são demonstrados os resultados mensais e os percentuais de atendimento, nos meses, após implementação das melhorias implementadas.

Quadro 13-Resultados mensais de produção na *Montagem*

FEIXES DE MOLA PARABÓLICOS MBA					
	Entrega	Demanda	%Atend.	Diferença	
média 2021	1578	1700	92,82%	-122	
média 2022	1832	1959	93,52%	-127	
jan/22	1550	1959	79,12%	-409	
fev/22	1538	1959	78,51%	-421	
mar/22	1745	1959	89,08%	-214	
abr/22	1780	1959	90,86%	-179	
mai/22	1822	1959	93,01%	-137	
jun/22	1930	1959	98,52%	-29	
jul/22	1902	1959	97,09%	-57	
ago/22	1922	1959	98,11%	-37	
set/22	1920	1959	98,01%	-39	
out/22	1948	1959	99,44%	-11	
nov/22	1962	1959	100,15%	3	
dez/22	1965	1959	100,31%	6	
jan/23	1963	1959	100,20%	4	

Fonte: Autoria própria

Foi possível evidenciar, que até o mês de Outubro/22, foi obtido um percentual de atendimento de 99,44% e já nos meses sucedentes, com atendimento da meta.

O Quadro 14 a seguir, demonstra de forma comparativa, os resultados operacionais decorrentes das implementações entre os métodos LSS puro e M&SLSS após sua finalização.

Quadro 14- Comparação dos resultados em função dos métodos aplicados

Método	Tempo demandado (Meses)	Lead Time (dias)	Takt Time (segundos)	Cycle Time (segundos)	OEE (%)	Tempo médio Setup (minutos)	Indicadores de Capabilidade e índices de Qualidade					Indicadores de Manutenção		% Ganho em produtividade
							Desvio padrão	Cp	Cpk	PPM	Nível Sigma	MTBF (horas)	MTTR (minutos)	
LSS puro	6	6,1	90	60	70,17%	11,1	1,03	0,64	0,61	15000	2	39	43	10%
M&SLSS	6	4	90	40	85,40%	9,2	0,4	2,0	1,69	233	5	45	38	12%
Ganhos	0,0%	34,4%	0,0%	33,3%	17,8%	17,1%	61,2%	213,0%	177,0%	98,4%	150,0%	15,4%	11,6%	16,7%

Fonte: Autoria própria

É importante ressaltar ganhos significativos decorrentes da produção, monitoradas pelos indicadores operacionais definidos como proposta desta dissertação.

- *Lead time:*

O *lead time* saiu de 6,1 dias para 4,0 dias, em decorrência da melhoria de controle das características que impactavam na baixa taxa de qualidade e consecutivamente gerava um alto índice de retrabalhos.

- *Cycle time:*

O *cycle time* na etapa da montagem, obteve melhora significativa em decorrência do ganho em qualidade do produto recebido das etapas anteriores e não ser mais necessário realizar pré-montagem de conjuntos, que saiu de 60 segundos/feixe para 40 segundos/feixe.

- *OEE:*

Um padrão de classe mundial, define resultados de OEE 100% como perfeito, 85% como standard, 60% típico e igual ou abaixo de 40% baixo.

Os resultados demonstraram um ganho de 17,8% como resultado do método proposto M&SLSS com 85,40% quando comparado com o LSS puro que resultou em 70,17%, saindo de um estado típico para um estado próximo do perfeito.

- *Setup time:*

Os resultados demonstraram um ganho de 17,1%, quando comparado o tempo médio obtido em decorrência do trabalho implementado com LSS puro de 11,1 minutos, em comparação, com o resultado obtido pelo trabalho de M&SLSS de 9,20 minutos.

- Indicadores de Manutenção:

- MTBF (Confiabilidade)

O monitoramento em período distintos, indicou uma melhora no resultado, saindo de 39 horas para 45 horas, com um aumento no tempo 15,4%, sendo o critério para este indicador, quanto maior melhor.

- MTTR (Manutenabilidade)

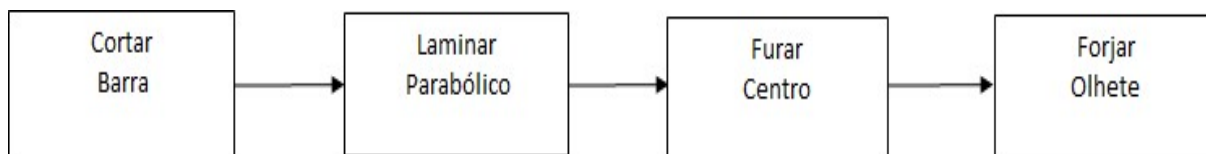
Os resultados demonstraram um ganho de 11,6%, quando comparado o tempo de intervenção obtido em decorrência do trabalho implementado com LSS puro de 43 minutos em comparação, com o resultado obtido pelo trabalho de M&SLSS de 38 minutos.

- Índices de Capacidade:

- Cp e Cpk, PPM e Nível Sigma.

Com objetivo de melhorar o desvio padrão no processo, foi alterado seu fluxo, como segue demonstrado na Figura 77.

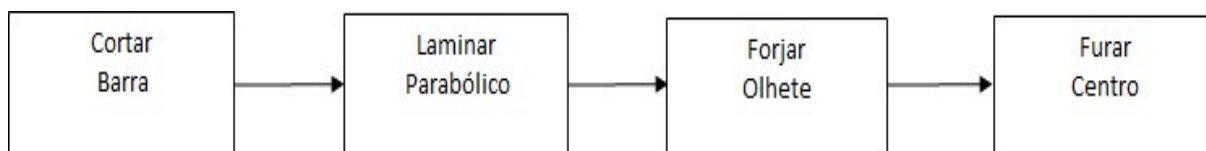
Figura 77- Fluxograma antes do Processo Forjar Olhete



Fonte: Autoria própria

Com o fluxograma de processo proposto anteriormente, o Desvio padrão calculado era 1,03 mm, e consecutivamente os índices $C_p = 0,64$ e $C_{pk} = 0,61$, que resulta em um $PPM = 15.000$ e Nível Sigma do processo = 2.

Figura 78- Fluxograma depois do processo Forjar Olhete



Fonte: Autoria própria

A grande vantagem na alteração do fluxo proposto (Figura 78), foi a eliminação da variabilidade da característica de semi-comprimento decorrente do spring-back em função do aquecimento na região do olhete da mola. Com o fluxograma atual, o Desvio padrão do lote analisado calculado é 0,40 mm, e consecutivamente os índices $C_p = 2,0$ e $C_{pk} = 1,69$, que resultam num $PPM = 233$ e Nível Sigma do processo = 5. Este processo entrega entre 10% a 15% de defeitos.

- Produtividade:

Na aplicação com LSS puro foi obtido um ganho de 10% quando comparado a média em feixes/mês, entregues antes da implementação do trabalho e em comparação com o M&SLSS, cujo o ganho obtido foi de 12%, conforme ilustrado no Quadro 14, ou seja, 16,7% à mais.

- Resultados do Questionário de aplicabilidade do método M&SLSS

O questionário de aplicabilidade do método M&SLSS, teve como objetivo, levantar e analisar a opinião dos especialistas acerca do assunto, para verificação da aplicabilidade. São adotados como critérios, a idade, tempo de experiência na função, nível de formação SS e LM e formação acadêmica dos participantes.

As questões do relatório para análise de viabilidade foram:

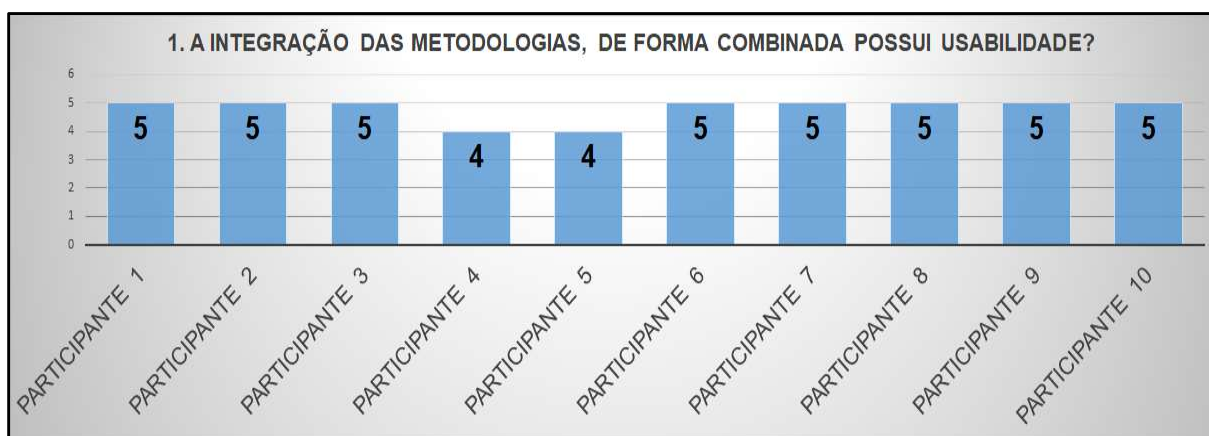
1. A integração das metodologias de forma combinada, possui usabilidade?
2. O fluxograma integrado, é de fácil aplicação?
3. Qual seu nível de aceitação em relação a estrutura proposta?
4. Qual o seu grau de concordância em aplicar e utilizar o Framework proposto como método de resolução de problemas e melhoria de processos?
5. Você recomenda o método proposto, como estrutura base, para resolução de problemas e melhoria de processos na sua empresa?

Os critérios definidos para pontuação, das questões, foram:

5 CONCORDO PLENAMENTE; 4 CONCORDO; 3 INDIFERENTE; 2 DISCORDO;
1 DISCORDO TOTALMENTE

A Figura 79, ilustra o resultado em função das respostas dos especialistas, quanto a usabilidade dos métodos de forma combinada.

Figura 79- Resultado em função das respostas quanto a usabilidade do método



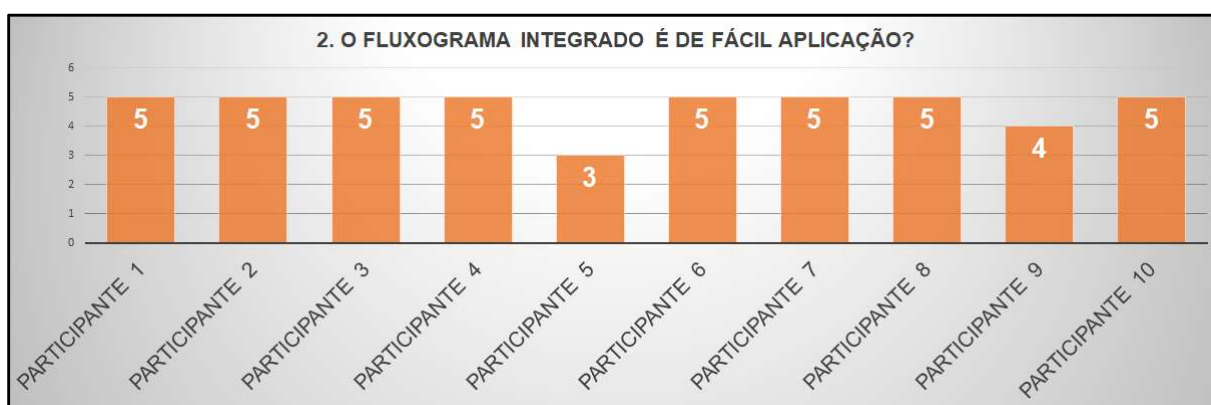
Fonte: Autoria própria

1. A integração das metodologias, de forma combinada, possui usabilidade?

O resultado médio em função das respostas dos especialistas, decorrente da questão 1 foi de 4,80 pontos. Apesar da obtenção de uma boa pontuação, dois dos participantes não atribuíram a nota 5, em decorrência, de ambos não usarem em suas rotinas a prática das ferramentas que a metodologia pode oferecer e pelo fato de não conhecerem de forma aprofundada algumas ferramentas de análise que o M&SLSS em relação a predição dos resultados.

A Figura 80, ilustra o resultado em função das respostas dos especialistas, quanto a facilidade na aplicação.

Figura 80- Resultado em função das respostas quanto a facilidade na aplicação do método



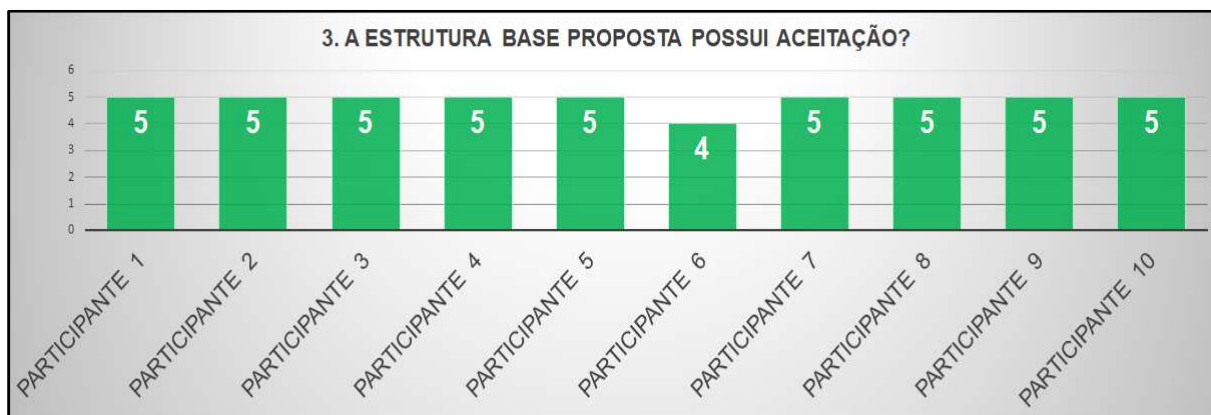
Fonte: Autoria própria

2. O fluxograma integrado, é de fácil aplicação?

O resultado médio em função das respostas dos especialistas, decorrente da questão 2 foi de 4,70 pontos. O participante 5, pontuou com nota 3, pelo fato do mesmo entender que a aplicação do método M&SLSS não é simples e defende que requer especialistas com expertise no assunto, do mesmo modo o participante 9.

A Figura 81, ilustra o resultado em função das respostas dos especialistas, quanto a facilidade na aceitação.

Figura 81- Resultado em função das respostas quanto a aceitação do método



Fonte: Autoria própria

3. A estrutura base proposta, possui aceitação?

O resultado médio em função das respostas dos especialistas, decorrente da questão 3 foi de 4,90 pontos. No entanto, o participante 6, atribuiu nota 4, pois de acordo com o entendimento do mesmo, pelas barreiras e dificuldades enfrentadas para manutenção das ações e disciplina dos colaboradores quanto ao uso das atividades descritas nas instruções de trabalho e procedimento operacional.

A Figura 82, ilustra o resultado em função das respostas dos especialistas, quanto a utilização da estrutura base proposta pelo método.

Figura 82- Resultado quanto a concordância para utilização do framework proposto como método de resolução de problemas e consecutivamente melhorar os processos



Fonte: Autoria própria

4. Qual o seu grau de concordância em aplicar e utilizar o Framework proposto como método de resolução de problemas e melhoria de processos?

O resultado médio em função das respostas dos especialistas, decorrente da questão 4 foi de 4,80 pontos.

A Figura 83, ilustra o resultado em função das respostas dos especialistas, quanto a recomendação.

Figura 83- Resultado em função das respostas quanto a recomendação dos especialistas



Fonte: Autoria própria

5. Você recomenda o método proposto, como estrutura base, para resolução de problemas e melhoria de processos na sua empresa?

O resultado médio em função das respostas dos especialistas, decorrente da questão 5 foi de 4,90 pontos.

Após análise das respostas dos especialistas, foi obtido como resultado final médio 4,82 pontos. Sendo assim, por ser considerado um resultado muito satisfatório, o método M&SLSS foi classificado como validado, dado as questões consideradas e respostas dos especialistas, com propósito de explorar os possíveis fatores críticos de sucesso para implementação do método M&SLSS.

Na etapa 8, para padronizar os processos bem-sucedidos, foram necessários a criação de Instruções de Trabalhos, Planos de Controle, procedimentos operacionais e realizar o treinamento dos colaboradores dos processos de conformação de olhete e acabamento e Montagem final.

Os ganhos financeiros provindos como benefícios, estão ilustrados no Quadro 15 e Quadro 16, como segue.

Quadro 15- Composição do custo do feixe de mola

Elementos	Denominação	Total	Custos	Variável	Moeda
1	Matéria-prima	426,15	-	426,15	BRL
2	Mão de obra	251,38	57,30	194,08	BRL
3	Máquina	50,60	8,02	42,58	BRL
4	Gastos Gerais	183,27	44,20	139,07	BRL
5	Componentes	94,05	-	94,05	BRL
6	Subcontratação	-	-	-	BRL
		1005,45	109,52	895,93	

Fonte: Autoria própria

O custo unitário do produto considerado nesta dissertação é de R\$895,93. Sendo assim, o custo unitário, multiplicado pelas peças produzidas à mais por período, temos como ganhos financeiros os valores demonstrados no Quadro 16:

Quadro 16- Ganho financeiro em decorrência dos trabalhos de melhoria implementados por período

Método	Custo Feixe(R\$)	Feixes/mês médio		Diferença	Ganho R\$
		Produção média 2021	Produção média Janeiro/22 - Junho/22		
LSS puro	895,93	1578	1728	150	R\$ 133.941,54

Método	Custo Feixe(R\$)	Feixes/mês médio		Diferença	Ganho R\$
		Produção média Janeiro/22 - Junho/22	Produção média Julho/22 - Janeiro/23		
M&SLSS	895,93	1728	1940	213	R\$ 190.641,11

Total Geral					R\$ 324.582,64
-------------	--	--	--	--	----------------

Fonte: Autoria própria

Os resultados financeiros decorrentes dos trabalhos de melhoria implementados são respectivamente R\$133.941,54 no primeiro semestre com a prática do LSS puro e R\$190.641,11 com a prática do M&SLSS. Isto se deu em decorrência do aumento em produção de feixes/mês adicional por período.

No entanto, o ganho financeiro obtido com a implementação do M&SLSS mostrou-se 42,3% superior, em comparação com o resultado do método tradicional LSS puro apresentado.

8 DISCUSSÃO

A melhoria contínua nunca pode ser encarada como um programa. Se considerarmos dessa maneira, imediatamente definimos a expectativa de que se tenha uma data inicial e uma data final. Isso entra em conflito direto com a mudança cultural que deve ser impulsionada nas empresas. No entanto, com a implementação dos trabalhos voltados para a melhoria de processos, a empresa obteve alguns ganhos:

Lead time: Pela melhoria da qualidade e eliminação de atividades que não agregam valor.

Cycle time: No processo de Montagem, que se dá principalmente pela melhoria obtida do fluxo de uma peça e eliminação da atividade de pré-montagem de conjuntos, combinando duas lâminas mestras e uma lâmina auxiliar.

OEE: Em decorrência do aumento direto obtido pela melhora na taxa de qualidade e disponibilidade da Olheteira, que é o equipamento responsável pelo processo de conformação do olhete na mola lâmina, sendo esta, uma das principais características do design do produto.

Tempo médio de setup: Pela melhoria implementada, decorrente do SMED (setup externo), identificação de atividades que se tornaram possíveis ocorrer simultaneamente entre os operadores e pela distribuição e alocação de ferramentas necessárias disponíveis em painéis de fácil identificação.

No produto: Principalmente pela redução da variabilidade do processo, como consequência na redução do desvio padrão e consecutivamente elevar os índices Cp e Cpk, e também o nível Sigma.

Manutenção Autônoma: Com o aumento da confiabilidade do equipamento em função da redução no número de paradas, maior conhecimento da máquina pelos operadores, redução nos tempos de limpeza das máquinas, com a eliminação das fontes causadoras de sujeiras.

Por fim, o ganho direto em produtividade e atendimento aos prazos de entrega.

No entanto, um dos maiores problemas encontrados ao implantar o M&SLSS, é a necessidade de envolvimento de todos os níveis da organização, como também a mudança de cultura da operação, a necessidade de provar para eles, que essa

metodologia não significa mais uma tarefa a ser executada, e sim uma ferramenta que trará estabilidade a máquina que operam, maior entendimento desta e do processo, menor tempo despendido com retrabalhos gerados no processo, entre outros. Para resolver esse problema, foi necessário realizar vários treinamentos para todos os envolvidos, mostrar nas reuniões dos grupos a evolução dos equipamentos, as reduções efetivas nas quantidades e tempos das paradas e realizar reuniões motivacionais. Os envolvimento de todos os níveis hierárquicos são muito importantes na implantação da metodologia, mostrando que todos estão engajados nessas implantações e se acredita nos ganhos obtidos.

Um ponto a ser ressaltado é que a implantação dessas ferramentas pode ser expandida para as áreas de apoio como PPCP, Qualidade, Expedição, Manutenção e também nas áreas Administrativas, que pode tornar o ambiente mais seguro, limpo e organizado, facilitando o trabalho e tornando-o mais agradável.

Enfim, para que a estratégia da melhoria contínua realmente funcione, é necessário que haja continuidade na sua aplicação de forma cíclica e integrando a cultura organizacional da companhia.

9 CONCLUSÃO

O estudo de uma metodologia para se estabelecer uma modelagem sistêmica de um processo de melhoria contínua, nos processos industriais e de manufatura utilizando o M&SLSS, vem de encontro a uma necessidade das empresas de conhecer bem seus processos e se tornarem cada vez mais competitivas. Um modelo representativo de um determinado processo industrial, permite que se possam desenvolver análises por meio da simulação embasadas no modelo matemático e otimizar tal processo sem a alteração do cenário, validá-lo e estabelecer técnicas de controle que atendam as necessidades produtivas sendo uma excelente ferramenta para desenvolvimento de projetos de melhoria contínua. Por meio dos relatórios A3, através das melhorias implementadas nos processos de produção, divididos em dois períodos distintos, com a comparação dos seus resultados operacionais e evidenciando-se na prática, quais os benefícios, vantagens e respectivos ganhos operacionais que o método M&SLSS pôde propiciar.

Os resultados obtidos com a implementação do trabalho de melhoria com M&SLSS, foram melhores quando comparados, com LSS puro, previamente iniciado no primeiro semestre. No entanto, o resultado do trabalho implementado com LSS puro também foi positivo, afim de corroborar como premissa inicial ao M&SLSS. Com a estratégia de engenharia reversa, pois com a aplicação do método proposto nesta dissertação, mostrou-se eficaz, sobretudo por estabelecer parâmetros claros, de comparação entre o método tradicional e o método apresentado.

Contribuições para teoria:

O número reduzido de artigos e trabalhos de pesquisa, acerca do assunto, pode-se concluir que a contribuição para academia é significativa, pois agrega valor e conhecimento teórico com a apresentação de um novo método para desenvolvimento de trabalhos de melhoria de processos, com uma visão inovadora, apresentando resultados operacionais e estratégicos para Manufatura, a ser explorado por futuros autores. Neste trabalho foi elaborado um framework único e mais abrangente, para

possibilitar a aplicação do M&SLSS, em ambientes industriais e de Manufatura, para resolução de problemas e consecutivamente prover a melhoria dos processos.

Contribuições para prática:

A contribuição para prática, que este trabalho de pesquisa pode contribuir está demonstrado no Quadro 13, através dos resultados apresentados, benefícios e vantagens operacionais, quanto a aplicação da metodologia M&SLSS.

Foi destacado que a aplicação deste método, pôde contribuir para os processos produtivos, em função da redução no tempo de desenvolvimento e resposta de 50% na fase de análise, com a predição de resultados, que pode auxiliar os gestores, permitindo comparar o cenário de produção atual com um cenário futuro desejado, com predição dos resultados.

Este modelo pode ser aplicado em diferentes processos de manufatura, em diferentes segmentos operacionais ou produtivos, como base de pesquisa, quanto ao uso das técnicas e ferramentas que o método pode trazer como benefício e vantagens operacionais.

Quanto aos principais desafios enfrentados, para desenvolvimento desta dissertação, foram que ao longo do estudo, se detectou que o modelo pode se tornar bastante complexo devido ao tamanho do processo e a influência da mão de obra dos operadores de máquina em relação aos resultados, uma variável comportamental, que não foi relacionada. Um outro ponto importante, foi a dificuldade de implementar um trabalho de melhoria de processos e entregar resultados, tão logo em seguida de um desenvolvimento de um trabalho de melhoria, mesmo com métodos diferentes, devido a um grau de maturidade previamente atingida.

Como trabalho futuro, o autor, pretende desenvolver, a partir do método M&SLSS, um protótipo de captação e atualização de dados e geração de resultados, com atualização em tempo real.

REFERÊNCIAS

- AHMED A.; PAGE J.; OLSEN J. **Adopting lean six sigma to AnyLogic simulation in a manufacturing environment**. Sydney, Australia., 2015.
- BAINES, T. *et al.* **Humans: the missing link in manufacturing simulation?** Dunton, UK, 2004.
- BANKS, J. **Discrete event system simulation**. 2005.
<http://tolerance.ajou.ac.kr>
- BELAY, A. **Modeling concurrent engineering to improve product development performance: a system dynamic approach**. Vaasa, 2013.
- BELZOWSKI, Bruce; HEYTLER, Peter. **Delphi forecast of modeling and simulation applications for the global automotive industry**. Michigan, USA, 1998.
- BERNA, D. *et al.* **A Meta-Model based simulation optimization using hybrid Simulation-Analytical Modeling to increase the productivity in Automotive**. Ancara, Turkey, 2015.
- CARSON, John. **Introduction to Modeling and Simulation**. Marietta, USA, 2004. Proceedings of the Winter Simulation Conference 2004.
- CATELLANI C. *et al.* **Large Eddy simulation of a steady flow test bench using OpenFoam**. Turin, Italy, 2016.
- CHAVES, L. F. **Simulação por eventos discretos aplicada a aprendizagem Lean**. Coimbra, Portugal, 2018.
- CUMMING, JG. *et al.* **Potential strategies for increasing drug-discovery productivity**. Newcastle, England, 2014.
- DE NORONHA, C. M. H. **Modelação estatística e simulação: Aplicação no uso de catalisadores na produção de antibióticos**. Lisboa: [s.n.], 2014. 146 p.
- DUARTE, Roberto. **Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de autopeças**. Itajubá, Minas Gerais, 2003.
- FIGUEIREDO, Liliana. **Simulação por eventos discretos aplicada à aprendizagem Lean**. Coimbra, Portugal, 2018.
- FLORESCU, Adriana ; BARABAS, Sorin. **Development Trends of Production Systems through the Integration of Lean Management and Industry 4.0**. Brasov, Romania, 2022.

GAVRILUTĂ, A. **Experimentation of a methodology to use modelling and simulation in the analysis of performances of an automotive industry production system.** Pitesti, Romania, 2019.

HALICIOGLU, R. *et al.* **Modelling and simulation based on matlab/simulink: A press mechanism.** Gaziantep, Turkey, 2014.

HASAN, F; JAIN, P.K;KUMAR, D. **Performance modeling of reconfigurable manufacturing system for different dispatching strategies under exception.** Uttrakhand, Indian, 2012.

KING, Graham. **Systems modelling and simulation in the product development process for automotive powertrains.** Warwick, England, 2002.

KHALIL, HA. **A Reinforcement Learning Approach to Sequential Acceptance Sampling as a Critical Success Factor for Lean Six Sigma.** Milwaukee, USA, 2020.

MANI, M. *et al.* **Simulation and analysis for sustainable product development.** Springer-Verlag (outside the USA) 2013.

MARCO, J. *et al.* **A Cell-in-the-Loop Approach to Systems Modelling and Simulation of Energy Storage.** Coventry, UK, 2015.

MENG,Cai; LIANG, Gu,(2013). **The dynamics simulation analysis of automotive air suspension and control system based on adams and matlab.** Beijing,China, 2013.

PAWLEWSKI, Pawel. **Multimodal Approach to Modeling of Manufacturing Processes.** Poznan, Poland, 2014.

ROCHA, Fernanda. **Integração da simulação a Eventos Discretos e mapeamento do fluxo de valor para melhoria do sistema de distribuição de medicamentos em um hospital.** Itajubá, Minas Gerais ,2014.

ROLANDO, D. A. R. **Aplicação de método para priorização de projetos Lean Six Sigma.** São Paulo: Guaratinguetá, 2018.

ROSTKOWSKA, Marta. **Simulation of production Lines in the Education of Engineers: How to choose the right software?** Poznan, Poland, 2014.

SALOMON DE MELLO, A. E. N., (2008). **Aplicação do mapeamento de processos e da simulação no desenvolvimento de projetos de processos produtivos.** Minas Gerais: Itajubá, 2008.

SARWAR *et al.* **Identifying Barriers of Lean Six Sigma Implementation in RMG Sector: A Case Study.** Dhaka, Bangladesh, 2019.

SEPÚLVEDA, J. *et al.* **The use of simulation for process improvement in a cancer treatment center.** Florida, USA, 1999.

SILVA, Adilson. **Proposta de um modelo para o processo de desenvolvimento de produto para a indústria do vestuário fabricante de artigos de malha na modalidade de private label.** Florianópolis, Santa Catarina, 2012.

SCHIMIDT, F. C. **Sistema de produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0.** São Leopoldo, 2019.

SHAH, ZA; HUSSAIN, H. **An investigation of lean manufacturing implementation in textile sector of Pakistan.** Lahore, Pakistan, 2016.

SPINA, C. **Aplicação de ferramentas Lean Seis Sigma e Simulação Computacional ao aperfeiçoamento de Serviços: Roteiro de referência e Estudo de caso.** São Paulo, 2007.

TORGA, Bruno. **Modelagem, Simulação e Otimização em Sistemas Puxados de Manufatura.** Itajubá, Minas Gerais, 2007.

TM, Shahada. **Design and implementation of a Lean Six Sigma framework for process improvement: A case study.** IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2012.

VASQUES, S. **Discrete-event simulation modeling in healthcare: A comprehensive review.** Monterrey, México ,2021.

APÊNDICE A – Questionário de aplicabilidade do método proposto M&SLSS

TEMA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMBINADA COM A METODOLOGIA LEAN
SEIS SIGMA PARA MELHORIA DE PROCESSOS

Idade: _____

Tempo de experiência: _____

Nível de formação Seis Sigma: _____

Formação acadêmica: _____

Possui formação em Lean Manufacturing?

Sim

☐

Não

☐

Possui formação em Modelagem e Simulação?

Sim

☐

Não

☐

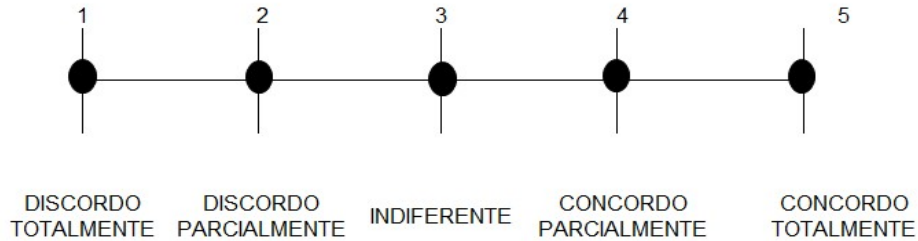
Por favor responder cada questão de acordo com seu conhecimento e pontuando de acordo com os critérios:

5 CONCORDO PLENAMENTE; 4 CONCORDO; 3 INDIFERENTE; 2 DISCORDO;

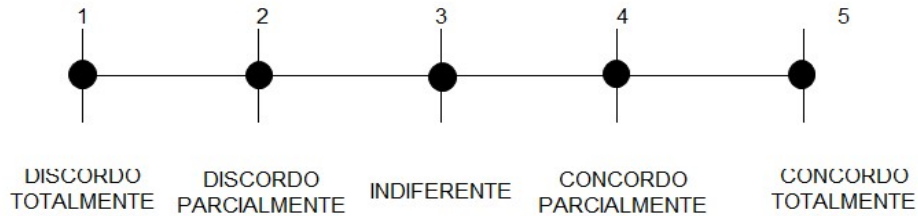
1 DISCORDO TOTALMENTE

QUESTIONÁRIO DE APLICABILIDADE DO MÉTODO M&SLSS

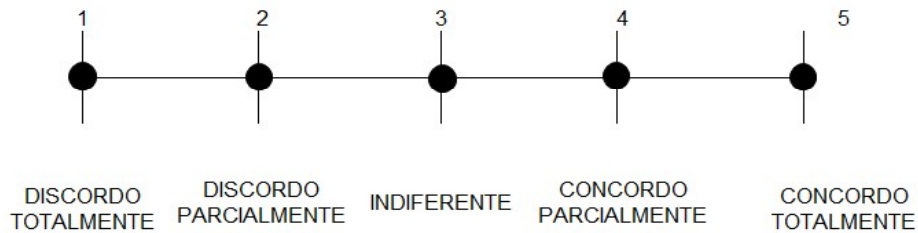
1. A INTEGRAÇÃO DAS METODOLOGIAS, DE FORMA COMBINADA POSSUI USABILIDADE?



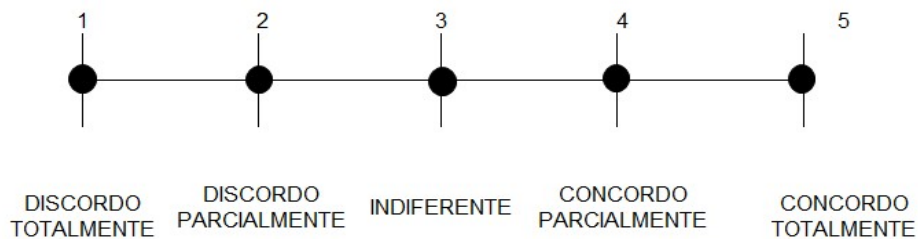
2. O FLUXOGRAMA INTEGRADO É DE FÁCIL APLICAÇÃO?



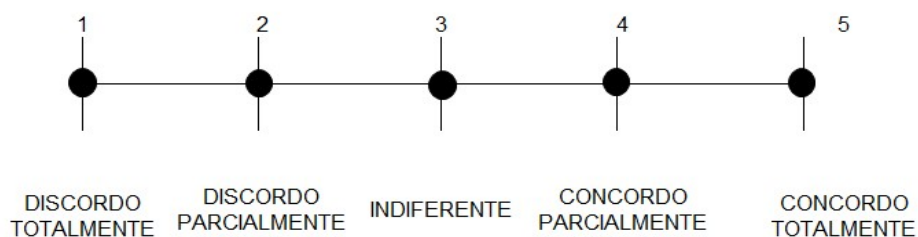
3. A ESTRUTURA BASE PROPOSTA POSSUI ACEITAÇÃO?



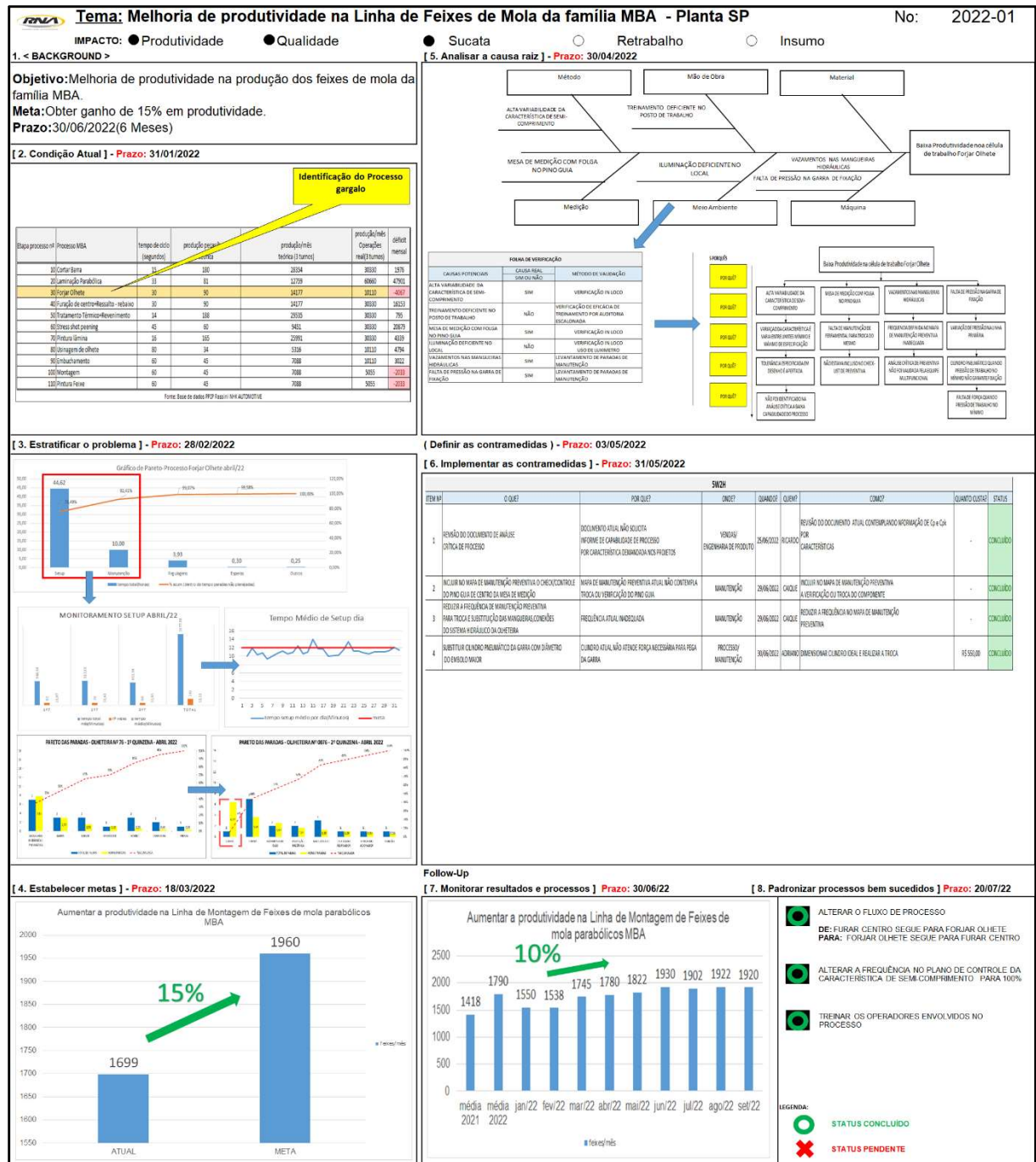
4. QUAL O SEU GRAU DE CONCORDÂNCIA PARA UTILIZAR O FRAMEWORK PROPOSTO COMO MÉTODO DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS?



5. VOCÊ RECOMENDA O MÉTODO PROPOSTO COMO ESTRUTURA BASE PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA SUA EMPRESA?



APÊNDICE B – Relatório A3 Trabalho de Melhoria de processos com aplicação do LSS puro



APÊNDICE C – Relatório A3 Trabalho de Melhoria de processos com aplicação do M&SLSS

