

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* PARA A CONDUÇÃO DE  
PROJETOS DE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS  
INTEGRANDO *LEAN SIX SIGMA***

**Jonathan Serafim Lúcio**

**Itajubá, Julho de 2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Jonathan Serafim Lúcio**

**PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* PARA A CONDUÇÃO DE  
PROJETOS DE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS  
INTEGRANDO *LEAN SIX SIGMA***

**Dissertação submetida ao programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção como  
parte dos requisitos para obtenção do Título de  
Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.  
Área: Engenharia de Produção**

**Orientador:** Prof. Dr. Rafael de Carvalho Miranda

**Julho de 2023**

**Itajubá**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Jonathan Serafim Lúcio**

**PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* PARA A CONDUÇÃO DE  
PROJETOS DE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS  
INTEGRANDO *LEAN SIX SIGMA***

Dissertação a ser avaliada por banca examinadora  
em 03 de julho de 2023.

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi

Prof. Dr. Marcelo Machado Fernandes

Prof. Dr. Rafael de Carvalho Miranda

Itajubá

2023

# DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa e meus filhos.

## AGRADECIMENTOS

Sou muito grato pelas oportunidades que Deus tem me dado, portanto em primeiro lugar agradeço a Ele por guiar meus passos e suprir todas as minhas necessidades, agradeço a minha esposa Tháyna, que tem sido muito paciente e compreensiva com minhas ausências e tem me suportado nesses momentos, aos meus filhos Iago e Lara, que servem de inspiração e motivação para que eu não desista, ao meu orientador, professor Rafael de Carvalho Miranda, que não me desamparou nenhum minuto nessa caminhada e tem me mostrado as nuances da vida acadêmica, ao professor José Arnaldo B. Montevechi, que está sempre animado e mantém nosso grupo do NEAAD ativo, aos amigos de laboratório, Carlos, João, Alyson Wesley e André, que sempre têm boas ideias e tornam a jornada acadêmica mais suportável, ao professor e amigo, Marcelo Machado Fernandes, que lá em 2016, plantou a semente do *Lean Six Sigma* no meu coração, com um curso gratuito para ajudar vários alunos, e por último, a UNIFEI, BELGE, CAPES, e FAPEMIG, que têm auxiliado nosso grupo em vários aspectos. A todos vocês, meu muitíssimo obrigado.

# EPÍGRAFE

*“O tempo corre veloz e a vida escapa das nossas mãos, mas  
pode escapar como areia ou como semente.”*

Thomas Merton

## RESUMO

Existem muitos métodos de Modelagem e Simulação disponíveis na literatura, que são comumente utilizados em projetos de Simulação a Eventos Discretos (SED). No entanto, a maioria destes métodos tem seu foco na construção de modelos computacionais. Isso faz com que as etapas de definição do problema e análise de resultados apresentem oportunidades de melhoria, uma vez que são pouco exploradas. Uma das formas de suprir tal lacuna é incorporar métodos alternativos a SED. Nesse sentido, a integração do método *Lean Six Sigma* (LSS), baseado no formato *Define, Measure, Analyze, Improve e Control* (DMAIC), juntamente com o método de SED, tem demonstrado resultados positivos em diversas áreas de aplicação. No entanto, a literatura científica apresenta poucos estudos abordando essa integração. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor um *framework* que permita a integração de um método robusto e sistemático de resolução de problemas (LSS) com uma ferramenta de modelagem e simulação (SED), visando a execução mais assertiva e eficaz de projetos de simulação a eventos discretos. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão sistemática de literatura (RSL) com o intuito de reunir informações no sentido de entender o estado da arte a respeito dos temas abordados, descobrir o foco nos trabalhos (SED ou LSS), a maneira como estavam estruturados, a forma como eram utilizados e quais as principais ferramentas envolvidas nesse processo, em quais fases do DMAIC os modelos de SED eram aplicados e por fim, os principais elementos encontrados em trabalhos que apresentavam algum tipo de *framework*. Dos trabalhos analisados, apenas sete propuseram um *framework* integrado, sendo todos eles avaliados para identificar tendências passadas e futuras das principais práticas apresentadas. Com base nessas análises, foram estabelecidas associações entre os conceitos dos dois métodos de forma a relacionar os objetivos comuns em uma mesma etapa. Assim, o *framework* em sua versão inicial foi desenvolvido e posteriormente submetido a uma avaliação por meio de um questionário online, respondido por especialistas nas áreas de SED e LSS, com o propósito de ser validado estatisticamente. Após considerações e testes, a versão final do *framework* foi proposta, representando o produto deste trabalho.

**Palavras-chave:** Simulação a Eventos Discretos, *Lean Six Sigma*, estrutura DMAIC, *framework* integrado.

# ABSTRACT

There are many Modeling and Simulation methods available in the literature, which are commonly used in Discrete Event Simulation (DES) projects. However, most of these methods focus on constructing computational models, which results in opportunities for improvement in the problem definition and results analysis stages, as they are often overlooked. One way to address this gap is by incorporating alternative methods to DES. In this regard, the integration of the Lean Six Sigma (LSS) method, based on the Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC) framework, with the DES method has shown positive results in various application areas. However, the scientific literature provides few studies addressing this integration. Given this context, the present work aims to propose a framework that allows the integration of a robust and systematic problem-solving method (LSS) with a modeling and simulation tool (DES), aiming for more accurate and effective execution of discrete event simulation projects. To achieve this objective, a systematic literature review (SLR) was conducted to gather information regarding the state of the art on the topics addressed, to identify the focus of the works (DES or LSS), their structure, usage, and the main tools involved in the process, to determine in which phases of DMAIC the DES models were applied, and finally, the main elements found in works that presented some kind of framework. Among the analyzed works, only seven proposed an integrated framework, all of which were evaluated to identify past and future trends in the main practices presented. Based on these analyses, associations were established between the concepts of the two methods to relate common objectives within the same stage. Thus, the initial version of the framework was developed and subsequently subjected to evaluation through an online questionnaire, answered by experts in the areas of DES and LSS, with the purpose of being statistically validated. After considerations and tests, the final version of the framework was proposed, representing the outcome of this work.

**Keywords:** Discrete Event Simulation, Lean Six Sigma, roadmap DMAIC, integrated framework.



# LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Número de publicações por ano.....	20
Figura 1.2 - Classificação da pesquisa.....	23
Figura 1.3 - Sistema de resolução de problemas.....	24
Figura 1.4 - Etapas a serem desenvolvidas na pesquisa.....	26
Figura 2.1 - Etapas da condução de projetos de simulação.....	30
Figura 2.2 - Etapas para condução de projetos de SED.....	34
Figura 2.3 - Conceito <i>Lean Six Sigma</i> .....	38
Figura 3.1 - Linha do tempo das áreas de publicação.....	52
Figura 3.2 – Linha do tempo de utilização de softwares.....	56
Figura 3.3 - Gráfico de Pareto das ferramentas mais mencionadas.....	61
Figura 3.4 - Trabalhos contendo <i>framework</i> integrado.....	64
Figura 3.5 - Sistema <i>Sigma</i> DMAIC-SED.....	66
Figura 3.6 - <i>Roadmap</i> ligando SS a um modelo de desenvolvimento de SED.....	68
Figura 3.7 - Ferramentas básicas usadas em cada fase do projeto.....	69
Figura 3.8 - Abordagem do treinamento.....	70
Figura 3.9 - Abordagem integrada entre Simulação e <i>Six Sigma</i> .....	71
Figura 3.10 - Visão geral da simulação integrada ao <i>framework</i> DMAIC.....	72
Figura 3.11 - Passos do método de modelagem e simulação.....	73
Figura 4.1 - Etapas de condução da SED.....	75
Figura 4.2 - Critérios do LSS-DMAIC.....	76

Figura 4.3 - Primeira versão do <i>framework</i> para condução de projetos de SED integrando LSS.....	82
Figura 5.1 - Áreas de afinidade e tempo de experiência dos avaliadores.....	83
Figura 5.2 - Nível de concordância dos especialistas (Etapas de 1 a 6).....	84
Figura 5.3 - Nível de concordância dos especialistas (Etapas de 7 a 12).....	85
Figura 5.4 - <i>Framework</i> para condução de projetos de SED integrando LSS.....	89
Figura B.1 - Etapas com significância estatística para a pesquisa.....	107
Figura C.1 - Etapas sem significância estatística para a pesquisa.....	108

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Comparação entre os métodos de condução de projetos de SED.....	33
Quadro 2.2 - Ranqueamento geral das ferramentas mais comuns.....	43
Quadro 3.1 - Triagem de artigos por base de dados.....	50
Quadro 3.2 - Artigos analisados e áreas de atuação dos trabalhos.....	51
Quadro 3.3 - Artigos por área de atuação.....	52
Quadro 3.4 - Classificação dos artigos quanto a sua utilização.....	53
Quadro 3.5 - Registro das etapas de simulação nos artigos analisados.....	54
Quadro 3.6 - Classificação do uso da SED nos artigos.....	55
Quadro 3.7 - Classificação dos artigos quanto a utilização do DMAIC.....	57
Quadro 3.8 - Classificação dos artigos quanto ao uso do LSS.....	58
Quadro 3.9 - Ferramentas x etapa/fase DMAIC x artigo.....	59
Quadro 3.10 - Quantidade de ferramentas mencionadas por artigo (intervalo).....	60
Quadro 3.11 - Quadro geral de ferramentas apresentadas por fase do DMAIC.....	62
Quadro 3.12 - Fases do DMAIC que utilizaram o modelo de SED.....	63
Quadro 3.13 - Contribuições por autores.....	74
Quadro 4.1 - Relação SED x LSS-DMAIC x Ferramentas LSS	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Comparativo entre publicações de trabalhos.....	21
Tabela 5.1 - Indicativo dos avaliadores de concordância por etapa.....	86
Tabela 5.2 - Valor-p e significância estatística por etapa.....	87
Tabela 5.3 - Valor-p e significância estatística das ferramentas sugeridas por etapa....	88

# LISTA DE ABREVIACÕES

BPMN – *Business Process Modeling Notation*

CTC – *Critical to Cost*

CTQ – *Critical to Quality*

CTS – *Critical to Satisfaction*

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*

DOE – *Design of experiments*

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*

LGPD – *Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais*

LSS – *Lean Six Sigma*

*P-map* – *Process mapping*

SED – *Simulação a Eventos Discretos*

SIM – *Simulação*

SIPOC – *Simulação Baseada em Agentes*

SS – *Internet of Things*

VBA – *Visual Basic for Applications*

VoC – *Voice of Customer*

VSM – *Value Stream Mapping*

# SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1. Contextualização.....	16
1.2. Justificativa .....	19
1.3. Objetivos .....	21
1.4. Método de pesquisa .....	22
1.4.1. Classificação da pesquisa .....	22
1.4.2. Modelagem e Simulação .....	23
1.4.3. Etapas do modelo a serem desenvolvidas .....	25
1.5. Delimitações da pesquisa.....	27
1.6. Estrutura do trabalho.....	27
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>28</b>
2.1. Simulação.....	28
2.1.1. Conceitos e definições gerais .....	28
2.1.2. Modelagem e Simulação .....	30
2.1.3. Métodos para condução de projetos de SED .....	32
2.2. <i>Lean Six Sigma</i> (LSS) .....	37
2.2.1. Conceitos e definições .....	37
2.2.2. Six Sigma (SS) .....	40
2.2.3. Ferramentas LSS .....	43
2.3. Simulação a Eventos Discretos e <i>Lean Six Sigma</i> .....	46
<b>3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: SED X LSS .....</b>	<b>48</b>
3.1. Planejamento.....	48
3.2. Pesquisa/Triagem.....	49
3.3. Análise/Síntese.....	50
3.4. Apresentação.....	50
3.4.1. Qual o estado da arte acerca das publicações nesta área? .....	51
3.4.2. Qual o principal foco (SED ou LSS) dos artigos encontrados na RSL? .....	52
3.4.3 Como o modelo de SED foi estruturado nos trabalhos encontrados? .....	53
3.4.4 Como o projeto de LSS foi estruturado, segundo o método DMAIC, nos trabalhos analisados?.....	56
3.4.5. Quais ferramentas utilizadas no LSS foram identificadas nos artigos analisados? .....	58
3.4.6. Em quais fases do DMAIC o modelo de SED foi utilizado? .....	63

3.4.7. Quais os principais elementos identificados nos trabalhos que apresentaram <i>framework</i> integrado? .....	64
<b>4. PROPOSTA DO <i>FRAMEWORK</i></b> .....	<b>75</b>
4.1. Primeira versão do <i>Framework</i> para condução de projetos de SED integrando LSS ...	80
<b>5. ANÁLISE, AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i></b> .....	<b>83</b>
5.1. <i>Framework</i> para condução de projetos de SED integrando LSS.....	89
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>90</b>
6.1. Sugestões para trabalhos futuros.....	93
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>94</b>
<b>APÊNDICE A – Questionário submetido aos especialistas</b> .....	<b>102</b>
<b>APÊNDICE B – Testes estatísticos com Valor-P &lt; 0.05</b> .....	<b>107</b>
<b>APÊNDICE C – Testes estatísticos com Valor-P &gt; 0.05</b> .....	<b>108</b>
<b>APÊNDICE D – Resultados acadêmicos</b> .....	<b>109</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

É natural que empresas ou organizações busquem por redução de custos e otimização de seus resultados. Para alcançar esses objetivos, inúmeras técnicas e métodos podem ser utilizados. Esse trabalho se concentra na aplicação de dois métodos amplamente abordados na literatura e na prática: a Simulação a Eventos Discretos (SED), para criação de modelos que representem virtualmente os processos reais, suas variáveis e suas interações, da maneira mais fiel possível contemplando a aleatoriedade dos dados e a interdependência entre estes, e o *Lean Six Sigma* (LSS), que traz o apelo da filosofia *Lean Manufacturing* no combate a desperdícios e a robustez do *Six Sigma* (SS), com a estrutura DMAIC e as ferramentas comumente utilizadas, para atuar na melhoria de processos e redução de variabilidade.

Rodič (2017) afirma que a SED, no decorrer dos anos, se consolidou nos campos práticos e científicos e relata que a sua utilização vem passando por evoluções constantes. Neste contexto, Greasley e Owen (2016) destacam diversas vantagens associadas à utilização da SED, dentre elas, permitir investigar comportamentos de sistemas complexos por meio de auxílio computacional e experimental. Fishman (2001) ressalta, que a SED é capaz de oferecer técnicas de análise com erros relativamente pequenos, além de ser possível sua utilização de forma conjunta com métodos analíticos, como a otimização, por exemplo. Mas, integrar a SED com outros métodos ou ferramentas não é uma tarefa tão simples. Em uma pesquisa feita por Taylor e Robinson (2006) foi levantada a questão do futuro da SED para os anos seguintes, e em um dos tópicos é ressaltada a dificuldade de vincular convenientemente os programas de manufatura com as técnicas de modelagem de processos. Contudo, Reséndiz *et al.* (2018) complementam, que combinar SED com outros métodos de melhoria é fundamental para a utilização da ferramenta.

*Lean*, SS e LSS são abordagens populares na melhoria contínua da produção e da qualidade nas empresas de manufatura, que podem ser asseguradas pela combinação da redução de variabilidade de processos, usado no SS, e a eliminação de valor não agregado, pela abordagem *Lean* (SMITH, 2003; NEDRA *et al.*, 2021), o que o torna um potencial método para ser combinado à SED.

A ação conjunta do *Lean* com o SS é denominada *Lean Six Sigma* (LSS) e será abordada dessa forma neste trabalho. Para Antony, Lizarelli e Fernandes (2020), o LSS tem seu diferencial por alinhar aspectos culturais do *Lean* com a abordagem orientada em dados do SS,



resultando em um método de melhoria holística, que deriva da integração do *Lean*, do SS e suas caixas de ferramentas, cujo principal objetivo é a melhoria contínua por meio de um método robusto e sistemático de resolução de problemas. Pepper e Spedding (2010) afirmam, que o LSS tem como objetivo direcionar todo tipo de oportunidade de melhoria dentro de uma organização, ressaltando que o método SS é implementado por uma minoria dentro de uma empresa, enquanto o *Lean* nivela e educa a maioria a identificar e eliminar atividades, que não agregam valor no ambiente de negócios.

Ferrin, Miller e Muthler (2005) e Nedra *et al.* (2021) discutem como a integração do SS e a SED podem melhorar a experiência de pacientes em hospitais por meio da redução do tempo de espera para atendimento, entrega de medicamentos e outros. Seguramente, essa simbiose pode apresentar benefícios para outras áreas além da manufatura e *healthcare*. Sendo assim, o LSS pode ser muito útil à SED, já que um dos objetivos da simulação é melhorar processos, mas os métodos existentes priorizam apenas a construção de modelos computacionais.

Pensando nesse problema, esse trabalho se propõe a criar um *framework*, que auxilie a estruturar projetos de SED por meio da utilização de ferramentas e conceitos do LSS. Partindo de um método tradicional (MONTEVECHI *et al.*, 2007; MONTEVECHI *et al.*, 2010), baseado nas etapas de Concepção, Implementação e Análise, para construção de modelos de SED, este trabalho analisará onde as ferramentas e conceitos do LSS poderão ser integrados ao método de Modelagem e Simulação, buscando sinergias entre ambos os métodos.

Atualmente, os principais métodos de Modelagem e Simulação dão grande destaque para a representação do sistema real e sua conversão para um modelo computacional, no entanto, pouco destaque é dado a etapa de análise do modelo, sendo esta muitas vezes simplificada por análises descritivas, desprezando assim, todo o poder computacional do modelo de SED desenvolvido. Assim, esta dissertação contribui com essa área do conhecimento, ao discutir e propor onde as ferramentas e conceitos do LSS podem complementar e facilitar a aplicação e desenvolvimento das etapas de Modelagem e Simulação, favorecendo e simplificando, tanto a construção de um modelo computacional que seja válido, bem como, incrementando o poder de análise do modelo desenvolvido.

Como exemplo, uma importante etapa do LSS, a validação da causa raiz de um problema, praticamente não é considerada nos métodos de SED, apesar de ser crucial para a análise do modelo e efetiva resolução de um determinado problema. Tal etapa poderia, com facilidade, ser acrescentada a etapa de Concepção do método de Modelagem e Simulação, e contribuir para uma maior assertividade na utilização do modelo para resolução de problemas reais.

Nesta dissertação é esperada uma contribuição significativa para a etapa de Concepção do modelo, com atividades que a tornem mais assertiva, e principalmente para a etapa de Análise dos Resultados, a qual hoje é uma das etapas mais penalizadas em um projeto, pois muito se fala sobre a construção do modelo computacional, coleta de dados, mapeamento de processos, porém a etapa referente a análise dos resultados fica, na maioria das vezes, a critério de especialistas no projeto ou é muito simplificada.

Ranjith *et al.* (2020) afirmam que, na maioria das vezes, a etapa de Análises é feita apenas por meio de análise de cenários. Ou seja, alterasse uma ou mais variáveis no modelo computacional e se analisa o resultado de saída do modelo. Isto pode ser muito vago, já que existe a possibilidade de atuar em causas que não são consideradas a raiz do problema. Outro ponto que reforça a diferença entre as tratativas das etapas de um projeto de simulação é o trazido por Barlas e Heavey (2016). Os autores afirmam, que aproximadamente, 40% do tempo total empregado em projetos de SED é investido na fase de coleta de informações, pois na maioria das vezes, os dados vêm de mais de uma fonte e nem sempre possuem a qualidade suficiente para serem inseridos diretamente no modelo, necessitando de um tratamento prévio.

De forma geral, a SED permite que processos reais sejam criados de forma virtual, e que experimentos sejam realizados sem que haja interferência no processo real, ou investimentos desnecessários. Também facilita a visualização das interações entre as variáveis de interesse, mas não indica a melhor forma que essas variáveis precisam ser alteradas. O LSS traz um método robusto de melhoria de processos, redução de variabilidades e desperdícios, mas necessita de implantação das soluções, para que os resultados sejam consolidados, o que em boa parte das vezes pode demandar tempo e recursos que nem sempre estão à disposição dos gestores. A integração desses dois métodos pode preencher as lacunas mencionadas anteriormente, dando a SED ferramentas para resolver os problemas que originaram a criação de um modelo computacional e dando ao LSS, meios para testar o impacto de diferentes soluções ou abordagens ao longo da estrutura DMAIC (GREASLEY, OWEN 2016; ANTONY, LIZARELLI e FERNANDES, 2020).

Os dados que servirão como base deste trabalho são provenientes de uma revisão Sistemática de Literatura (RSL), que foi realizada com o intuito de encontrar e comparar trabalhos que abordaram os conceitos de SED e LSS de maneira conjunta, verificando a existência de *frameworks* integrados para este propósito. Com os resultados dessas análises, espera-se ter bons indícios das melhores práticas, de forma que auxiliem a construção de um *framework* que integra os dois métodos. Esse *framework* será submetido a análise de especialistas em LSS/SED e passará por uma validação estatística quantitativa de maneira que

ele forneça diretrizes que permitam executar projetos de SED, utilizando o LSS, de forma paralela.

## 1.2. Justificativa

Existem muitos métodos de modelagem e simulação difundidos na literatura, alguns apresentam mais ou menos detalhes, mas todos eles se voltam, principalmente, para as etapas de construção do modelo computacional. Segundo Montevechi *et al.* (2015), os métodos de condução de projetos de SED podem ser divididos em três grandes fases: Concepção, Implementação e Análise.

De maneira geral, a grande fase de Concepção engloba as atividades referentes a definição do problema e escopo do projeto, a grande fase de Implementação engloba as atividades referentes a criação do modelo computacional, e, por fim, a grande fase de Análise engloba as atividades destinadas a análise e interpretação dos resultados.

Assim, os métodos de modelagem e simulação dão ênfase a fase de Implementação, já que a construção de modelos computacionais é o principal objetivo desse método, mas as fases de Concepção e Análise são na maioria das vezes genéricas, e carecem de técnicas e ferramentas que complementem os processos de definição, análise e interpretação dos problemas.

Nesse sentido, o método LSS e a estrutura DMAIC podem suprir essa lacuna, fornecendo meios para que essas atividades sejam realizadas de forma mais eficiente, integrando outros conceitos, que já auxiliaram muitos projetos em suas execuções, evidenciando e quantificando os problemas, trazendo à tona sua causa raiz e propondo melhorias e soluções para resolvê-los.

Dessa maneira, esse trabalho irá contribuir com a literatura, fornecendo um *framework* que permitirá integrar os dois métodos de modo a se obter vantagens tanto da SED, quanto do LSS, unindo um método robusto e sistemático de resolução de problemas com uma ferramenta, que permite investigar comportamentos de sistemas por meio de modelagem e simulação (GREASLEY, OWEN 2016; ANTONY, LIZARELLI e FERNANDES, 2020).

Para constatar a relevância do tema escolhido foi realizada uma pesquisa na base de dados *Scopus*, no início deste projeto, em março de 2022, com alguns termos que remetem a SED e ao LSS. O intuito era entender se o assunto a ser abordado tinha algum viés de crescimento ou decréscimo no meio científico ao longo dos anos. As palavras utilizadas nessa pesquisa foram ("*discrete event simulation*" OU "*discrete-event simulation*" OU "*discrete*

*events simulation*") E ("*six sigma*" OU "*six-sigma*" OU "*lean six sigma*" OU "*lean-six sigma*" OU "*DMAIC*" OU "*6-sigma*"), e os resultados dessa pesquisa estão dispostos na Figura 1.1.

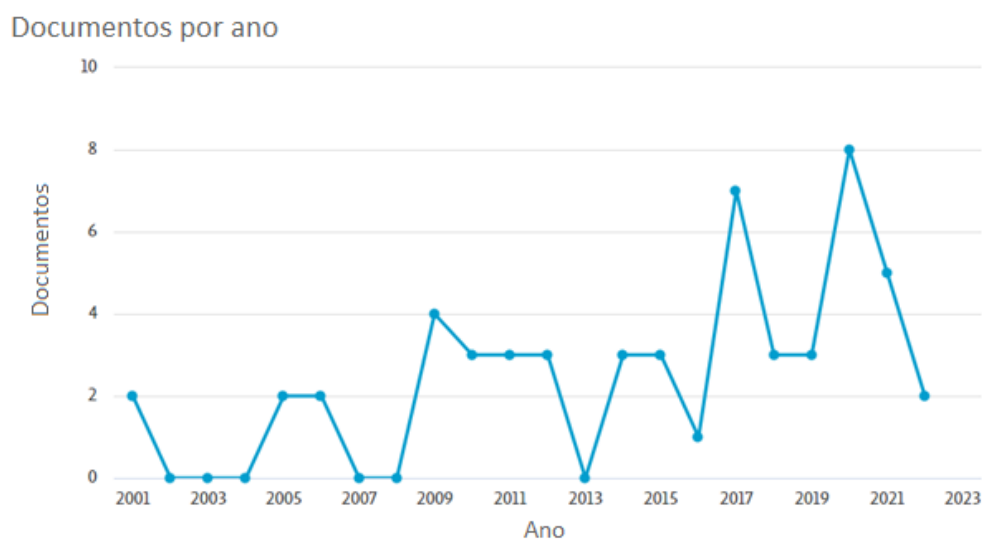


Figura 1.1 – Número de publicações por ano

Fonte: base de dados da *Scopus*

A Figura 1.1 mostra uma tendência de crescimento, ao longo do tempo, de trabalhos que relacionam esses termos. Este ponto é percebido por Nedra *et al.* (2021), eles ressaltam que muitos autores começaram a identificar os benefícios que podem ser obtidos ao combinar *Lean*, *Six Sigma*, *LSS* e simulação como um novo conceito. Huang e Klassen (2016) seguem a mesma linha e discutem como a modelagem de simulação e *LSS* juntos podem facilitar a identificação de problemas e geração de sugestões para melhorias de processos.

Improta *et al.* (2020) afirmam que modelos de simulação combinados a outros métodos como o *SS* se mostraram muito úteis na área da saúde. Já no trabalho de Furterer *et al.* (2019) é proposto um *framework LSS*, que se mostrou eficaz em obter adesão para apoiar tomadas de decisões baseadas em dados. O uso da *SED* permitiu que a equipe desenvolvesse e testasse alternativas, que de outra forma seriam muito caras ou levariam muito tempo para serem implantadas. Esses autores reforçam a relevância que esse tema tem ganhado e dão a entender, que a integração da *SED* com o *LSS* será ainda mais explorada com o passar do tempo.

Uma outra pesquisa também foi feita com o intuito de comparar o número de publicações de trabalhos que abordam os temas de maneira separada e conjunta. Para isso, foram selecionadas as duas principais fontes de dados para citações, segundo Mongeon e Paul-Hus (2016): *Scopus* e *Web of Science*.

A Tabela 1.1 traz essas informações compiladas e dispostas lado a lado para facilitar a comparação dos dados.

Tabela 1.1 – Comparativo entre publicações de trabalhos

Base de dados	(( "discrete event simulation" OR "discrete-event simulation" OR "discrete events simulation" ))	(( "six sigma" OR "six-sigma" OR "lean six sigma" OR "lean-six sigma" OR "DMAIC" OR "6-sigma" ))	(( "discrete event simulation" OR "discrete-event simulation" OR "discrete events simulation" )) AND TITLE-ABS-KEY (( "six sigma" OR "six-sigma" OR "lean six sigma" OR "lean-six sigma" OR "DMAIC" OR "6-sigma" ))
Scopus	21,502	9,093	54
Web of Science	8,698	6,676	46

Fonte: elaborado pelo autor

Pela Tabela 1.1 fica evidente a discrepância entre o número de publicações dos termos pesquisados de maneira individual e integrada. A pouca quantidade de trabalhos publicados nessas bases que abordam os dois métodos juntos, pode ser mais uma evidência da importância da realização desse estudo, que fará uma análise desses e de outros artigos que serão mencionados no capítulo 3.

### 1.3. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo propor um *framework*, que integre as etapas de desenvolvimento de um projeto de SED com os conceitos e as atividades relacionadas ao LSS, bem como a estrutura DMAIC, de maneira que os dois métodos possam ser executados de forma complementar, visando a melhoria de projetos de simulação em quaisquer áreas e segmentos onde este possa ser aplicado.

Sendo assim, este trabalho abrange os seguintes objetivos específicos, elencados a seguir:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a integração dos temas: SED e LSS;
- Propor um *framework* integrado de SED e LSS;
- Submeter o *framework* proposto para avaliação de especialistas;
- Avaliar os resultados obtidos e validar o *framework* proposto.

Este trabalho contribui com a literatura desenvolvendo um *framework* que permitirá a execução simultânea, e de forma integrada, de projetos que envolvam SED e LSS, uma vez que algumas etapas de cada método possuem similaridades em seus objetivos.

De maneira a comprovar sua aplicabilidade, o *framework* proposto será submetido a avaliação de especialistas nas áreas de LSS e Simulação e os mesmos darão seu parecer quanto as associações das etapas propostas. Esses resultados passarão por uma validação estatística para constatar sua relevância.

Além disto, este trabalho reflete sua contribuição acadêmica pelo desenvolvimento de uma RSL, que traz as práticas mais adotadas em trabalhos de SED e LSS, elencando e ranqueando ferramentas e técnicas, que foram usadas ao longo dos estudos. Desta forma, espera-se que este trabalho possibilite a pesquisadores e práticos explorarem a potencialidade da integração entre estes dois campos de pesquisa: Simulação e Melhoria de processos.

## **1.4. Método de pesquisa**

### **1.4.1. Classificação da pesquisa**

As pesquisas científicas, dentro da área de Engenharia de Produção, podem ser classificadas em quatro dimensões: Natureza, Objetivos, Abordagem e Método. É o que afirmam Turrioni e Mello (2012) e Miguel *et al.* (2018). Essas dimensões ainda possuem subdivisões: Básica e Aplicada (Natureza); Exploratória, Descritiva, Explicativa e Normativa (Objetivos); Quantitativa, Qualitativa e Combinada (Abordagem); Experimento, Modelagem e Simulação, *Survey*, Estudo de caso, Pesquisa-ação e *Soft System Methodology* (Método).

Seguindo a classificação proposta por Turrioni e Mello (2012), essa pesquisa pode ser classificada como Aplicada, uma vez que caracteriza-se por seu interesse prático, seus resultados serão aplicados na solução de problemas reais. Essa pesquisa será classificada ainda como Normativa (BERTRAND e FRANSOO, 2002), pois visa encontrar soluções melhores para novas definições ou aperfeiçoar resultados encontrados na literatura. O *framework* proposto por esse trabalho visa aperfeiçoar métodos propostos na literatura que já trabalharam de certa forma com SED e LSS.

Por fim, esse trabalho pode ser classificado como tendo uma abordagem Quali-Quantitativa, pois recebe *inputs* qualitativos, mas a tratativa é quantitativa, de maneira que parte da teoria para se formular hipóteses, coletar dados por meio de observações, analisá-los e gerar resultados. O método que mais se adequa é o de Modelagem e Simulação, pois permite realizar alterações nas variáveis do modelo sem afetar o processo real. Todas essas classificações são ilustradas na Figura 1.2.

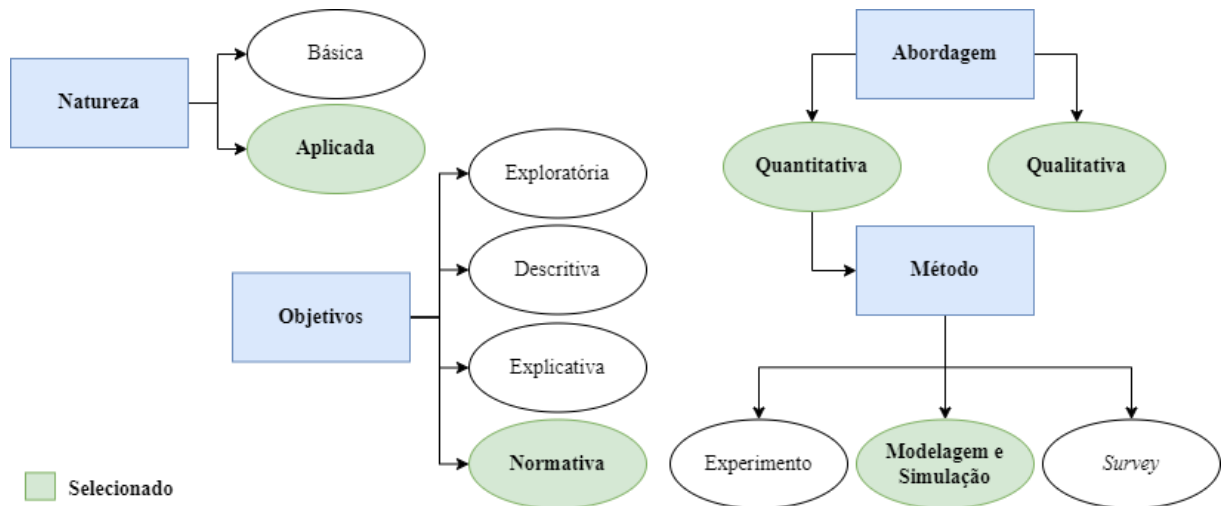


Figura 1.2 – Classificação da pesquisa

Fonte: adaptado de Miguel *et al.* (2018)

### 1.4.2. Modelagem e Simulação

A modelagem e simulação é um método científico de resolução de problemas voltados para área de Pesquisa Operacional. Mitroff *et al.* (1974) e Bertrand e Fransoo (2002) propõe dividir o projeto de simulação em quatro etapas:

- **Conceitualização:** Elaboração do modelo conceitual em questão, escolha das variáveis de interesse, delimitações do problema e do modelo;
- **Modelagem:** Construção do modelo científico, definição de correlações entre as variáveis;
- **Solução do modelo:** Resolução do modelo científico por algum método matemático;
- **Implantação:** Aplicação da solução encontrada ao sistema real.

A cada fim de ciclo, um novo pode ser iniciado. A Figura 1.3 apresenta estas fases e as ações para evoluir entre as fases.

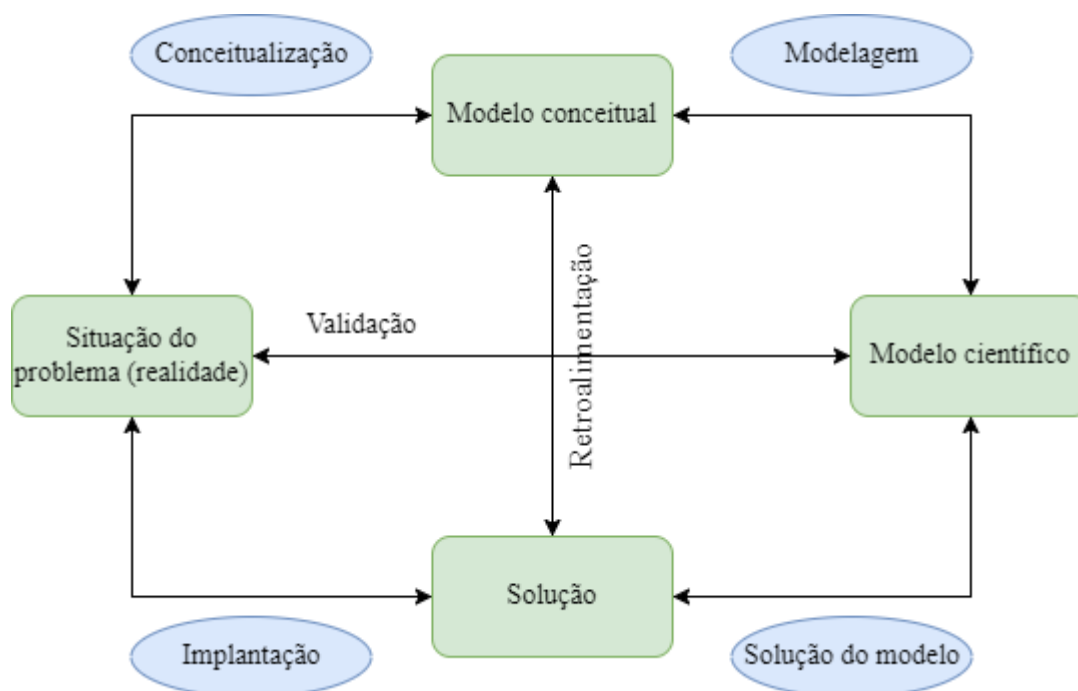


Figura 1.3 - Sistema de resolução de problemas

Fonte: adaptado de Mitroff *et al.* (1974)

Este será o método adotado nesse trabalho, pois para Wollmann e Tortato (2019) trata-se de um método clássico, robusto, amplamente discutido no universo da Pesquisa Operacional e que nos dias de hoje, ainda é considerado válido e aplicável.

Bertrand e Fransoo (2002) propõem classificar as pesquisas quantitativas com base nas etapas do método de Mitroff *et al.* (1974), como sendo:

- Empíricas normativas: tem seu principal interesse no desenvolvimento de políticas, estratégias e ações para melhorar um sistema real.
- Empíricas descritivas: visa à compreensão dos processos atuais por meio da construção de modelos que descrevam adequadamente as relações causais que podem existir na realidade;
- Axiomáticas normativas: preocupadas em desenvolver políticas, estratégias e ações para contribuir com a melhora dos resultados que já existem e estão disponíveis na literatura, buscando uma solução ótima para um problema recém-definido ou para comparar as diferentes estratégias para lidar com um problema específico;
- Axiomáticas descritivas: visa compreender o processo que foi modelado; estando primariamente, interessada em analisar o modelo, que conduz ao entendimento e explicação das características do mesmo.



Sendo assim, essa pesquisa será classificada como Axiomática Normativa, uma vez que, para desenvolver um *framework* que contribua com a literatura, precisará se cumprir todas as fases e ações preconizadas por Mitroff *et al.* (1974) (Figura 1.3).

### **1.4.3. Etapas do modelo a serem desenvolvidas**

As etapas a serem seguidas nesta pesquisa estão divididas em: Contextualização, Modelagem, Solução e Implementação.

A primeira etapa do método de pesquisa adotado, a Contextualização, se dará pela análise da literatura acerca do tema. Nesta etapa será conduzida uma RSL (Capítulo 3), com o intuito de identificar as principais técnicas adotadas em cada etapa de um projeto de SED (Concepção, Implementação e Análise) e a definição das principais ferramentas e conceitos do LSS a serem utilizados nesta dissertação. Os resultados e discussões (Capítulo 4) desta etapa promoverão o embasamento teórico, necessário para construção do *framework* integrado proposto neste trabalho.

Na etapa de modelagem (Capítulo 5), será proposto o *framework* para integrar: SED e LSS, que permitirá a condução de projetos que trabalhem com ambos os métodos simultaneamente. Ao final desta etapa, o método estará apto a ser testado e validado. Na etapa de solução do modelo, o *framework* proposto será submetido a avaliação de especialistas nas áreas de SED e LSS.

A última etapa, implementação (Capítulo 6), discute os resultados da implementação do método, e avaliará se o *framework* proposto tem condições de ser utilizado em projetos futuros. Todas essas etapas e procedimentos estão dispostos na Figura 1.4.

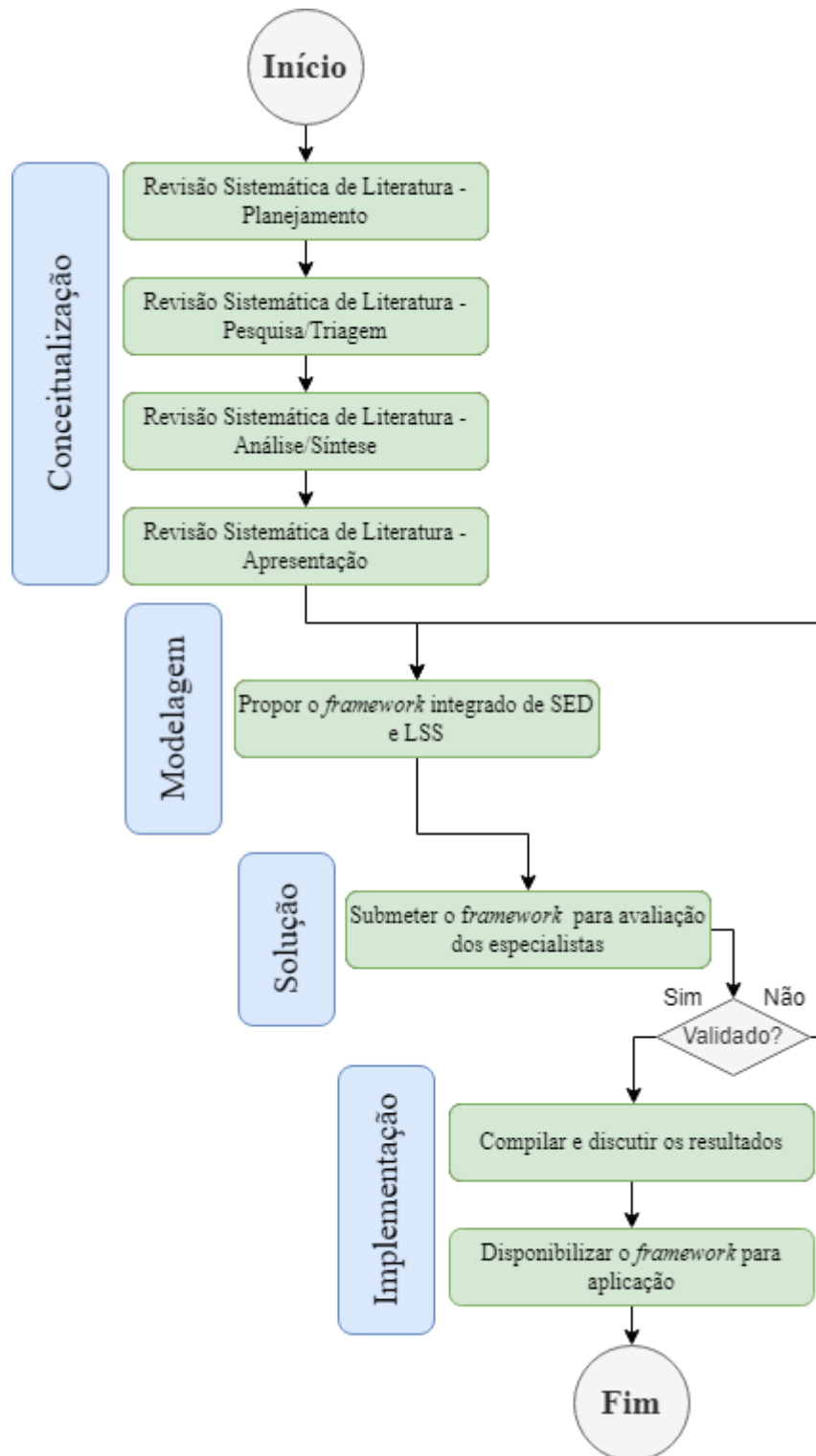


Figura 1.4 – Etapas a serem desenvolvidas na pesquisa

Fonte: adaptado de Mitroff *et al.* (1974)

## 1.5. Delimitações da pesquisa

A proposição do *framework* será conduzida e baseada por meio de uma RSL utilizando as bases de dados: Scopus®, Web of Science®, Scielo®, IEEE Xplore®, Science Direct® e Taylor & Francis®, explorando o máximo possível os trabalhos disponíveis nestes acervos digitais. Assim, o resultado da análise destes artigos guiará a proposição do *framework* apresentado neste trabalho unindo SED e LSS.

Destaca-se que a análise do *framework* proposto será feita por meio da opinião de especialistas na área de SED e LSS, sendo os de SED selecionados por contribuições acadêmicas e experiência em condução de projetos, e os de LSS, por formação *Black Belt* e experiência profissional. Por fim, a validação do *framework* será conduzida por testes quantitativos de significância estatística.

## 1.6. Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma introdução do trabalho, abordando a contextualização do tema, as justificativas científicas que embasam tal pesquisa, os objetivos gerais e específicos do trabalho, o método de pesquisa, as delimitações da pesquisa e, por último, a forma com que o mesmo está estruturado.

Já o Capítulo 2 apresenta o embasamento teórico sobre os principais conceitos abordados no trabalho. Primeiramente são apresentados aspectos gerais sobre a simulação, seguidos por características específicas da Simulação a Eventos Discretos. Logo em seguida são abordados o conceito de *Lean Six Sigma* (LSS), *Six Sigma* (SS), DMAIC e a utilização da SED em conjunto ao LSS.

No Capítulo 3 é apresentada a RSL, a qual aborda o método de pesquisa utilizado para sua realização, juntamente das discussões e análises referentes as Questões de Pesquisa. O Capítulo 4 apresenta o *framework* proposto inicialmente, com base nos resultados da RSL (Capítulo 3), e as discussões pertinentes a ele.

O Capítulo 5 trata da análise, avaliação e validação do *framework* proposto e sua versão final. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões da pesquisa, bem como as sugestões para trabalhos futuros, seguido pelas referências utilizadas no trabalho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados aspectos gerais da simulação e do *Lean Six Sigma* (LSS), tendo em vista seus conceitos e definições principais. No caso da simulação, o enfoque maior será dado à Simulação a Eventos Discretos (SED), então serão explorados seus conceitos de forma geral, algumas vantagens e limitações, além dos métodos para condução de projetos. Já no caso do LSS, serão abordados alguns conceitos sobre *Lean*, *Six Sigma* (SS) DMAIC e LSS. O enfoque maior será dado ao SS e a estrutura DMAIC. Por último, um breve tópico falando sobre os trabalhos conjuntos de SED e LSS.

### 2.1. Simulação

#### 2.1.1. Conceitos e definições gerais

Banks (1998) afirma que simulação pode ser entendida como a criação de uma história, baseada em sistemas reais, onde são feitas formulações de inferências acerca das características representativas destes sistemas e há imitação de um processo real em um certo intervalo de tempo.

A simulação é uma técnica que ganhou muita relevância na área de Pesquisa Operacional e se tornou uma das ferramentas mais utilizadas, pois possui enorme versatilidade. Esta pode ser aplicada na parte de avaliações de sistemas financeiros, concepção e análises de sistemas de manufatura, transporte, serviços militares, entre outras aplicações (LAW, 2014). Esses sistemas podem ter seus comportamentos analisados por meio dos chamados modelos de simulação. Estes modelos podem ser construídos com base em observações e inferências de um sistema e também podem ser expressos por meio de relações matemáticas, lógicas ou símbolos (BANKS *et al.* 2010). A modelagem de sistemas complexos se tornou um meio de sobrevivência para diversas áreas, suportando as tomadas de decisões a um custo consideravelmente mais baixo (FISHMAN, 2001).

Embora tenha sido desenvolvida muito antes dos recursos computacionais, para Nance e Sargent (2002), a simulação realmente ganhou força quando os computadores evoluíram, passando então a ser conhecida como simulação computacional. Mas foi nas últimas décadas que a simulação computacional se consolidou como uma valiosa técnica de apoio a decisão em processos produtivos (RODIČ, 2017; MOURTZIS, 2020; SCHEIDEGGER *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2021). A simulação reproduz com fidelidade os sistemas reais, mesmo eles

apresentando alta complexidade devido ao dinamismo de suas naturezas e suas variáveis aleatórias, que se alteram com o tempo (CHWIF e MEDINA, 2015).

Existem algumas formas de classificar os diferentes tipos de Simulação, sendo elas: Simulação de Monte Carlo, Simulação Contínua, Simulação Baseada em Agentes e Simulação a Eventos Discretos. Todas essas classificações apresentam suas peculiaridades, mas este estudo abordará apenas a SED.

Para Nance e Sargent (2002), Law (2014), e Chwif e Medina (2015), a partir da ocorrência de um evento, a SED irá descrever as mudanças de estado desse sistema dentro de intervalos discretos de tempo.

Ao simular o funcionamento de um sistema ou processo do mundo real ao longo do tempo, os modelos de SED fornecem, aos tomadores de decisão, uma ferramenta baseada em evidências para desenvolver e testar soluções operacionais antes da implementação (SAIDANI, KIM e KIM, 2021). Nesse contexto, a SED apresenta uma grande vantagem que é seu quesito gráfico/visual, pois em situações em que o problema é subjetivo, complexo ou mal definido, a implementação das melhorias carece de uma participação ativa dos clientes (ROBINSON *et al.*, 2014).

Turner, Hutabarat e Oyekan (2016) destacam, que algumas ferramentas vêm ganhando cada vez mais espaço para atuarem em conjunto com a simulação, como é o caso da Realidade Virtual. Com o avanço e popularização das tecnologias disponíveis, técnicas como escaneamento 3D, sensores, recursos computacionais e óculos de realidade virtual têm possibilitado uma certa imersão nos modelos de simulação, contribuindo para uma maior interação e manipulação do modelo, além de estarem alinhados com os preceitos da indústria moderna.

Embora existam as vantagens mencionadas, alguns pontos de atenção quanto ao método precisam ser levantados. Banks *et al.* (2010) relatam que há casos em que soluções analíticas são possíveis, nesses casos a utilização da simulação não é necessária ou recomendada, inclusive outros métodos são preferíveis. Também existe no mercado uma grande variedade de pacotes de simulação e *softwares* que podem confundir o usuário. Os autores afirmam que a escolha errada desses pacotes e *softwares* pode contribuir de maneira negativa com os resultados, acarretando perdas de tempo, dinheiro e modelagem, gerando interrupções no projeto por falta de recursos ou levando a decisões erradas ou com pouco respaldo (GUIMARÃES, LEAL e MENDES, 2018).

### 2.1.2. Modelagem e Simulação

Montevechi *et al.* (2015) afirmam, que existem seqüências de passos que guiam o desenvolvimento de um projeto de simulação estabelecendo fluxos lógicos que auxiliam os responsáveis pela implementação desses projetos.

Para o desenvolvimento e sucesso da condução de projetos em simulação é vital que haja um método estruturado que oriente o analista (LAW, 2009). Na literatura existem métodos completos e com muitos detalhes, mas também existem os mais simples e superficiais, os fatores determinantes dessas escolhas são as vantagens e facilidades oferecidas por cada método, para o projeto que será executado (MONTEVECHI *et al.*, 2015).

A literatura contém inúmeros métodos que auxiliam a condução de um projeto de simulação (BANKS *et al.* 2010; BALCI, 2012; MONTEVECHI *et al.*, 2015).

A Figura 2.1 descreve alguns passos que são comumente usados em diversos estudos.

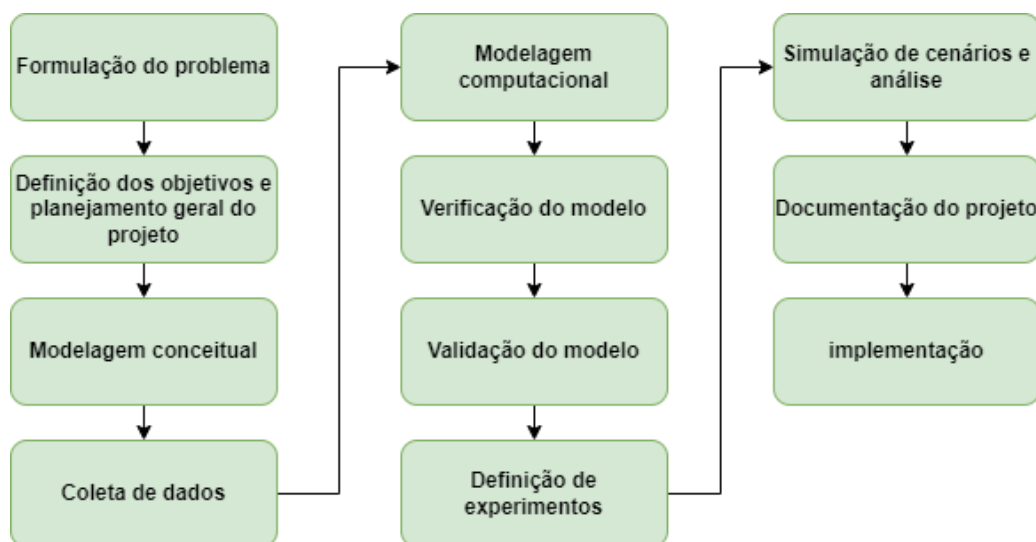


Figura 2.1 – Etapas da condução de projetos de simulação

Fonte: adaptado de Banks *et al.* (2010)

A primeira etapa para conduzir projetos de simulação é a de formulação do problema. Como o próprio nome diz, o objetivo dessa etapa é garantir uma definição clara do problema antes de seguir adiante. A abordagem do problema tem de ser precisa e muito bem estruturada para garantir a “credibilidade” da formulação do problema (BALCI, 2012). A segunda etapa consiste na definição dos objetivos e planejamento geral do projeto. Banks *et al.* (2010) afirmam que os objetivos devem estar atrelados ao que se deseja encontrar via simulação e para que tudo isso aconteça, é necessário estimar os recursos necessários para atingir esses objetivos.

Em seguida tem-se a modelagem conceitual, essa etapa trata da abstração do modelo de um processo real. Aqui são listadas as sequências das atividades, seus recursos e outras informações relevantes. Robinson (2008) ressalta que existem diversos métodos e ferramentas para representar um modelo conceitual. A modelagem conceitual é uma das etapas mais importantes de um projeto de simulação e para garantir que suas informações estejam corretas, o processo de coleta de dados precisa estar intimamente ligado a ela. Ongoo e Hill (2014) destacam, que a coleta de dados pode ser definida como um processo para obter um conjunto de dados com as propriedades que se deseja adquirir, tais como precisão, período e tipo de amostragem, formato e outros.

Com esses dados em mãos, é possível “traduzir” o modelo conceitual por meio de linguagens de simulação ou *softwares* específicos em um modelo computacional. Chwif e Medina (2015) ressaltam que esses *softwares* que dominam o mercado tendem a se tornar cada vez mais customizados para atenderem aplicações específicas como manufatura, engenharia, serviços, dentre outros.

Uma vez que o modelo computacional esteja criado, é muito importante garantir que a programação e a implementação do modelo estejam corretas, portanto, é necessário realizar a verificação do modelo (SARGENT 2013). Verificados os modelos, a etapa seguinte consiste em validá-los, uma vez que seus resultados são utilizados com frequência para apoiar uma tomada de decisão é muito importante garantir a precisão e a validade desses resultados. A validação visa justamente garantir que o modelo de simulação apresente resultados suficientemente bons e corretos para determinada aplicação (SARGENT, 2014).

Ainda no que se refere a validação do modelo, Chwif e Medina (2015) e Sargent, Goldsman e Yaacoub (2016) afirmam, que existe uma grande variedade de técnicas disponíveis na literatura e comumente utilizadas em projetos de modelagem e simulação, tais como: validação face a face, validação por dados históricos, validação por teste de hipóteses, validação cruzada, entre outras. Nesse sentido, Montevechi *et al.* (2022) apresentam uma nova técnica de validação, baseada na utilização de *machine learning*. A escolha de cada técnica dependerá do tipo de aplicação, podendo ser quantitativa ou qualitativa, objetiva ou subjetiva. Correndo tudo bem até esse ponto, o próximo passo é a definição de experimentos. Essa etapa consiste na formulação de um plano de execução da simulação com o objetivo de obter certas respostas. Balci (2012) ressalta, que as inferências que serão feitas com os resultados obtidos nos experimentos, também devem levar em consideração os custos associados a isso.

Já se encaminhando para o fim do projeto vem a simulação de cenários e análises, que trata da execução do modelo de simulação baseado nos experimentos planejados anteriormente

e a avaliação dos indicadores de desempenho do sistema simulado, que servirão como apoio para tomada de decisão (BANKS *et al.* 2010).

Para garantir a comunicação e o aprendizado ao longo do projeto de simulação a etapa de documentação do projeto é de extrema importância. Oscarson e Moris (2002) e Triebig e Klügl (2009) afirmam que para a avaliação da qualidade quanto às atividades de manutenção, reutilização ou reprodução do modelo de simulação e seus resultados, a documentação do projeto é essencial. A etapa de implementação é a última, e com base em todos os resultados anteriores os gestores tomam suas decisões que levam as ações do processo virtual para o processo real. O sucesso desta etapa está intimamente ligado a execução das etapas precedentes (BANKS *et al.*, 2010).

Considerando as características da SED, mencionadas no item 2.1.1, o presente trabalho utilizará dessa técnica na condução da pesquisa. Dessa forma, os próximos tópicos, ao tratar da simulação, irão se referir especificamente à SED.

### **2.1.3. Métodos para condução de projetos de SED**

Uma das características da SED é representar as ocorrências no tempo, capazes de mudar o estado de um modelo de simulação (LAW, 2014). Na SED, os modelos são geralmente de natureza estocástica, representando entidades individuais que se movem por meio de filas, atividades e locais, em pontos discretos no tempo a partir do sequenciamento de eventos programados no modelo de simulação (TAKO e ROBINSON, 2010; OPACIC e SOWLATI, 2016).

Uriarte, Ng e Moris (2018) afirmam que a SED é a técnica de simulação mais popular de apoio à tomada de decisões em sistemas de manufatura, em contrapartida, Tako e Robinson (2010) salientam que, embora a SED tenha sido vastamente utilizada no ambiente manufatureiro, tal utilização também tem se tornado expressiva no setor de serviços, como aeroportos, bancos, hospitais e outros. Nesse contexto, Montevechi *et al.* (2015) reuniram uma série de trabalhos que abordam de maneira diferente essas estruturas de condução de projetos, comparando a robustez, etapas e principais atividades de cada um. Foram comparados os trabalhos de Mitroff *et al.* (1974), Banks *et al.* (1998), Brooks e Robinson (2000), Carson II (2005), Law (2009), Montevechi *et al.* (2010), Sargent (2010) e Balci (2012).

Montevechi *et al.* (2015) analisaram estes métodos que são comumente utilizados em trabalhos acadêmicos e práticos, possibilitando assim a comparação destes métodos no que se refere as suas principais etapas, conforme apresenta o Quadro 2.1. Os trabalhos considerados com maior destaque serão abordados brevemente.



Quadro 2.1 – Comparação entre os métodos de condução de projetos de SED

Etapas		Mitroff <i>et al.</i> (1974)	Banks <i>et al.</i> (1998)	Brooks e Robinson (2000)	Carson II (2005)	Law (2009)	Montevechi <i>et al.</i> (2010)	Sargent (2010)	Balci (2012)
	Grande fase de "Concepção"						x		
1	Definição do sistema real	x		x				x	x
2	Formulação do problema	x	x		x	x	x	x	x
3	Especificação dos requerimentos								x
4	Modelagem conceitual	x	x	x	x	x	x	x	x
5	Validação do modelo conceitual					x	x	x	x
6	Especificação do design								x
7	Documentação dos dados				x		x		
8	Coleta e modelagem dos dados de entrada		x		x	x	x		x
	Grande fase de "Implementação"						x		
9	Construção dos submodelos computacionais								x
10	Construção do modelo computacional	x	x	x	x	x	x	x	x
11	Verificação do modelo computacional		x		x		x	x	x
12	Validação do modelo computacional	x	x		x	x	x	x	x
	Grande fase de "Análise"						x		
13	Planejamento e análise de experimentos		x	x	x	x	x	x	x
14	Análise dos dados			x	x		x		
15	Documentação dos dados e datas		x			x			x
17	Conclusões e recomendações	x		x		x	x		
18	Apresentação dos resultados				x	x			x
19	Implementação	x	x	x					

Fonte: adaptado de Montevechi *et al.* (2015)

O trabalho de Law (2009) sugere um método que vai desde a formulação do problema até a apresentação de resultados, em sete etapas. Sargent (2013) relata um método com três etapas principais, chamadas de Definição do problema, Modelagem conceitual e Modelagem computacional, e demais etapas intermediárias, as quais se referem à validação e verificação das etapas principais. Balci (2012) propõe um método um pouco mais completo, composto por onze etapas principais intercaladas por fases de validação, verificação e análise quanto à qualidade das mesmas. Dessa forma, permite-se avaliações intermediárias das etapas durante todo o projeto. Por último, o trabalho de Montevechi *et al.* (2010), propõe um método dividido em três grandes fases, chamadas de Concepção, Implementação e Análise. Este método é

composto por um total de doze etapas principais, que englobam desde a definição dos objetivos e do sistema, até a etapa de conclusões e recomendações.

Portanto, das 19 etapas listadas pelos autores no Quadro 2.1, os métodos que se apresentam como alternativas mais completas foram os de Montevechi *et al.* (2010) e Balci (2012). O método adotado para esse trabalho será de Montevechi *et al.* (2010), Figura 2.2, por apresentar uma linguagem mais simples de ser compreendida.

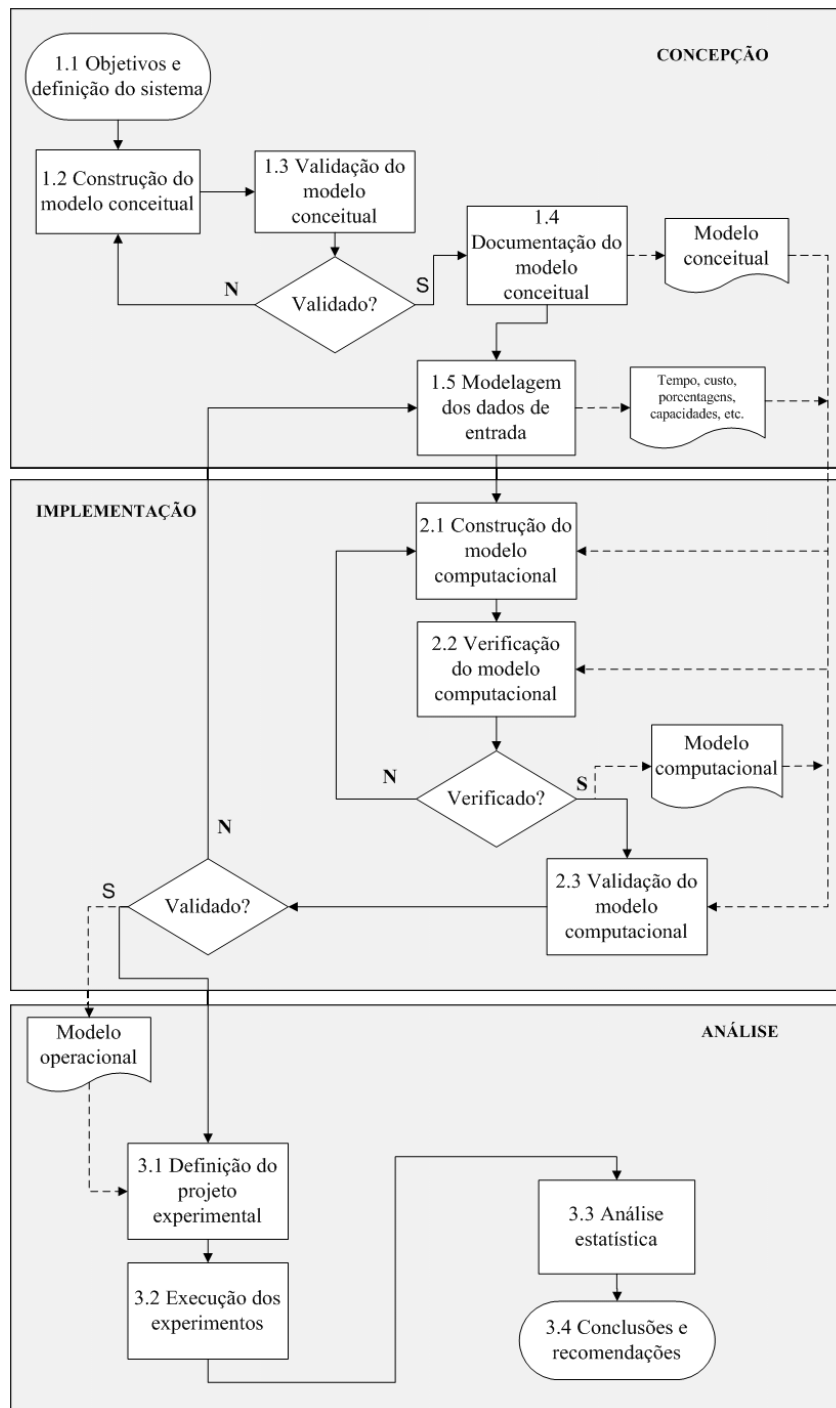


Figura 2.2 – Etapas para condução de projetos de SED

Fonte: adaptado de Montevechi *et al.* (2010)

Montevechi *et al.* (2007) apresenta os conceitos das etapas que orientam a condução de projetos de SED:

Grande fase de Concepção:

- Objetivos e definições do sistema: consiste em definir o problema que será estudado, conhecer o sistema, descrever suas ações, indicar suas características, definir os objetivos e as especificações da simulação, estabelecer o processo a ser simulado.
- Construção do modelo conceitual: trata-se de uma representação gráfica, matemática ou lógica de um determinado estudo, que descreve os objetivos, as entradas e saídas, conteúdo, pressupostos e simplificações do sistema real. É certamente o aspecto mais importante de um projeto de simulação. Nesta etapa costuma-se observar o sistema e a rotina, esboçar e corrigir os modelos.
- Validação do modelo conceitual: essa etapa garante que as teorias e premissas referentes ao modelo estão corretas e que sua representação pode atender seu propósito. É de suma importância que o modelo conceitual seja validado, pois um modelo conceitual inválido pode impactar negativamente em diversos aspectos do projeto e confiabilidade dos resultados. É comum nessa etapa apresentar o modelo construído ao especialista do sistema e conduzir as correções, caso necessário.
- Documentação do modelo conceitual: validado o modelo conceitual, é necessário fazer sua documentação para que sirva de base na construção do modelo computacional. Quaisquer alterações que tornem o modelo computacional divergente do modelo conceitual devem ser atualizadas na documentação, de forma que fique registrado e a informação seja confiável.
- Modelagem dos dados de entrada: a modelagem dos dados de entrada consiste na coleta de dados e o ajuste da distribuição de probabilidade a ser usada no modelo para imitar o comportamento aleatório e então inferir o comportamento da população a partir das amostras. Para o cumprimento desta etapa é usual observar o sistema, apontar os locais necessários para coleta de dados, obter dados históricos da empresa, analisar quais dados ainda precisam ser coletados, definir forma de coleta de dados, preparar material para coleta, definir períodos a serem coletados, coletar e tratar os dados estatisticamente.

Grande fase de Implementação:

- Construção do modelo computacional: nesta etapa, o modelo conceitual deve ser transformado em um modelo computacional através de um *software* de simulação. O desenvolvimento de modelos computacionais é considerado iterativo, pois um processo

relativamente simples é estendido, verificado e refinado gradualmente. Para a execução dessa etapa é necessário definir o *software* de simulação a ser utilizado e garantir que os dados estejam prontos.

- Verificação do modelo computacional: a verificação significa garantir que o programa do modelo computacional e sua implementação estejam corretos. Uma vez que o processo de construção de um modelo computacional não é linear, desde o início de seu desenvolvimento, a verificação pode ocorrer de forma simultânea.
- Validação do modelo computacional: é uma etapa que determina se o modelo de simulação é uma representação precisa do sistema para os objetivos específicos do estudo. Quando qualquer alteração é feita no modelo, a verificação e a validação devem ser realizadas novamente. Esse processo é repetido até que um modelo de simulação válido seja obtido. Essa validação pode ser feita tanto de maneira quantitativa quanto qualitativa, em geral se usa a combinação de ambas as técnicas.

Grande fase da Análise:

- Definição do projeto experimental: é o planejamento dos experimentos que serão realizados para explorar o modelo. O DOE tem se mostrado de grande impacto no auxílio a tomada dessas decisões. O planejamento de experimentos simulados fornece caminhos eficientes para estimar os efeitos das mudanças dos *inputs* sobre os *outputs* do modelo. Para isso é necessário levantar quais cenários deverão ser simulados junto ao cliente, definir cenários interessantes, sob a visão da simulação e preparar os experimentos.
- Execução dos experimentos: consiste basicamente em executar o modelo criado, organizar os resultados obtidos e gerar relatórios com essas informações.
- Análise estatística: a etapa de análise em um projeto de simulação tem a função de fornecer as informações necessárias para fazer recomendações. A análise é uma atividade muito importante, pois, a partir dela, os dados obtidos pela simulação são interpretados e transformados em recomendações. Os resultados devem ser estudados, interpretados e posteriormente apresentados aos clientes.
- Conclusões e recomendações: a partir dos resultados do modelo devem ser feitas as conclusões e recomendações com melhorias que podem ser implementadas no sistema real.

## **2.2. Lean Six Sigma (LSS)**

### **2.2.1. Conceitos e definições**

*Lean*, *Six Sigma* (SS) e LSS são abordagens populares na melhoria contínua de sistemas de produção e da qualidade em empresas de manufatura. Esse termo se dá pela combinação de redução de variabilidade, trazida pelo SS e a eliminação de desperdícios e valores não agregados, trazidos pela filosofia *Lean*. O LSS é uma tecnologia emergente usada para melhorar o desempenho, a eficiência e a satisfação do cliente para sustentar um ambiente competitivo fabril ou não fabril (SINGH e RATHI, 2019).

Allen e Laure (2006), afirmam que a nova abordagem LSS, formada pelas sinergias dos conceitos *Six Sigma* e *Lean*, fornece melhores resultados em diversos aspectos. Snee (2010) apresenta o LSS como uma estratégia poderosa para gestão de processos, e a excelência de processos visa eliminar defeitos e reduzir a variação nos processos de fabricação de serviços e produtos, levando à excelência dos negócios.

Antony, Lizarelli e Fernandes (2020) afirmam que o LSS tem seu diferencial por alinhar aspectos culturais do *Lean* com a abordagem orientada em dados do SS, resultando em um método de melhoria holística, que deriva da integração do *Lean*, do SS e seu conjunto de ferramentas, cujo principal objetivo é a melhoria contínua por meio de um método robusto e sistemático de resolução de problemas.

Para Nedra *et al.* (2022), o LSS proporciona um misto de medição de qualidade, eficiência do processo, capacidade de resposta e redução de custos. O método *Lean* reduz os desperdícios eliminando comportamentos excessivos, ao passo que o *Six Sigma* se concentra principalmente na eliminação de problemas relacionados a defeitos de qualidade (ANTONY, KUMAR e MADU, 2005; GHANE, 2014).

A diferenciação entre as áreas de atuações do *Lean* e do *Six Sigma* pode não ser tão perceptível para a maioria das pessoas, a Figura 2.3 auxilia nesse entendimento. Nela fica um pouco mais evidente que o método *Lean* se concentra mais no fluxo entre processos, enquanto o *Six Sigma* se concentra na melhoria dentro dos processos. Portanto, esta abordagem combinada surge como método para alcançar melhores qualidades, custos, produção e satisfação do cliente. Tudo isso só seria atingível pela fusão de regras, fundamentação teórica, ferramentas e topologia de *Lean* e *Six Sigma* (LAUREANI e ANTONY, 2012).

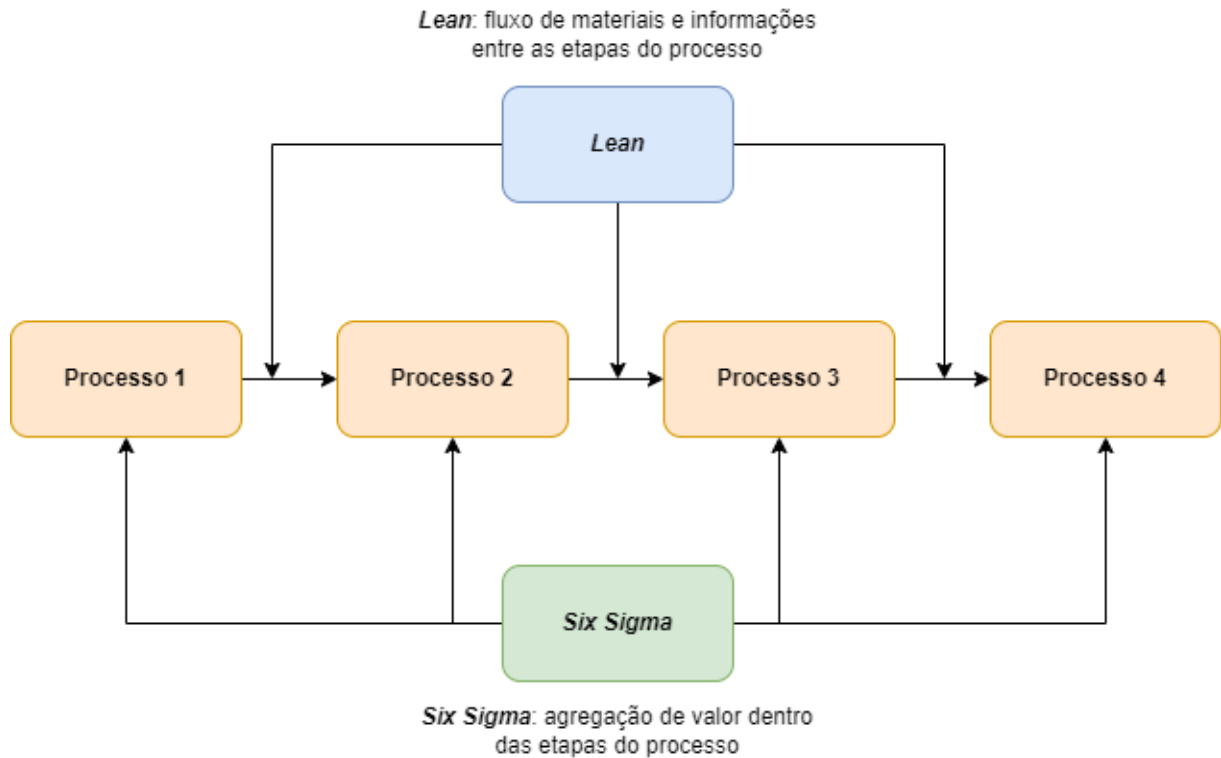


Figura 2.3 – Conceito *Lean Six Sigma*

Fonte: adaptado de Laureani e Antony (2012)

O *Lean* teve sua origem no Japão, após a segunda guerra mundial. O país passava por uma crise depois de sofrer com diversas perdas sociais e econômicas e as empresas precisavam se reinventar, para reerguer a economia do país. Foi aí que a Toyota desenvolveu uma estratégia para produzir com qualidade e recursos limitados. O idealizador dessa estratégia foi Taichii Ohno, ele criou um sistema sólido baseado em princípios que garantem uma produção focada no cliente (LIKER, 2004; DENNIS, 2008). Womack, Jones e Ross (2004), traduziram o significado da produção *Lean* na Toyota em cinco princípios:

- Especificar valor: valor é aquilo que o cliente está disposto a pagar, seja um produto ou serviço. Este princípio concentra-se na necessidade de especificar o valor e aquilo que o cliente precisa e quer, antes de qualquer outra tentativa de melhorar os processos, produtos ou serviços.
- Cadeia de valor: uma vez que o valor é identificado a próxima etapa é identificar qual é a cadeia de valor, que são as ações necessárias para projetar, pedir e produzir um produto específico.
- Fluxo contínuo: estabelecer o fluxo contínuo na cadeia de valor. O fluxo permite uma produção livre de interrupções, em que o produto passa de uma etapa para outra na sequência que deve ser feito, sem estoques intermediários de itens semiacabados.

- Puxar a produção: significa que um processo inicial não deve produzir um bem ou um serviço sem que o cliente de um processo posterior o solicite.
- Buscar a perfeição: a perfeição deve ser buscada continuamente. Ela é um estado ideal, desenhado pelas etapas anteriores, que serve de inspiração e direção para o progresso contínuo. Uma vez atingido o estado ideal, deve-se buscar um novo objetivo ainda melhor.

Womack, Jones e Ross (2004) afirmam que o *Lean* é um método que prega um sistema de produção enxuto, no qual se busca a minimização dos desperdícios e a melhoria do fluxo produtivo.

Ohno (1997) revela que somente a partir da eliminação dos desperdícios é que se pode esperar um aumento real da eficiência produtiva e o primeiro passo é identificar estes tipos de desperdícios, os quais são classificados em sete principais tipos:

- I. Superprodução: desperdício decorrente de se produzir mais do que a demanda ou antes do tempo no qual há a demanda;
- II. Estoques: sejam estes de matéria prima, de produtos em elaboração ou de produtos acabados;
- III. Espera: tempos em que não há agregação de valor em meio ao fluxo produtivo, seja devido à presença de ociosidades ou à formação de filas durante o processo;
- IV. Transporte de produtos: transportes excessivos ou desnecessários de materiais e/ou produtos e que não agregam valor, podendo ser reduzidos e/ou evitados;
- V. Movimentação de pessoas: desperdício relacionado à movimentação excessiva ou desnecessária de pessoas em meio ao fluxo produtivo e que não agrega valor;
- VI. Excesso de processamento: etapas desnecessárias, inadequadas ou ineficientes durante o processo produtivo e que podem ser evitadas ou modificadas sem prejuízos para o fluxo produtivo;
- VII. Produtos defeituosos: desperdícios relacionados a reparos, retrabalhos ou refugos e que acarretam custos desnecessários.

Liker (2004) ainda acrescenta um oitavo desperdício a essa lista, o intelectual, que acontece quando as habilidades, conhecimentos e experiências dos colaboradores não são plenamente utilizadas.

### 2.2.2. Six Sigma (SS)

O *Six Sigma* surgiu no final da década de 80, em resposta aos desafios de qualidade do produto. Foi idealizado por Bill Smith na Motorola, mas teve seu desenvolvimento atrelado a General Electric na década de 90 (BREYFOGLE, 2003; PYZDEK e KELLER, 2003; Arafeh *et al.*, 2018). É uma abordagem bem estabelecida usada para identificar e eliminar defeitos/falhas nos negócios, concentrando-se nas características de desempenho do processo que são muito críticas para a qualidade (ANTONY, KUMAR e LABIB, 2008).

Pode ser tanto um método que se concentra em medir defeitos, reduzir a variabilidade, melhorar a qualidade de processos, serviços e produtos, quanto uma filosofia de gestão de qualidade (FURTERER, 2014).

*Six Sigma* é uma implementação rigorosa, focada e altamente eficaz de princípios e técnicas comprovadas de qualidade. É uma mistura de elementos de vários pioneiros da qualidade, que visa um desempenho de negócio praticamente livre de erros (PYZDEK e KELLER, 2010).

Segundo Pepper e Spedding (2010), o termo “*Six Sigma*” pode referir-se a uma medida estatística de taxa de defeitos dentro de um sistema, conhecido por DPMO (*defects per million opportunities*) ou a metodologia de redução de variabilidade de um processo. O método tem como base a estrutura DMAIC, que consiste em um ciclo de cinco estágios sendo eles: *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*.

De forma bem objetiva e resumida, a fase de *Define* consiste em definir os objetivos das atividades de melhoria e incorporá-las a uma carta de projeto. Conseguir apoio da alta gestão e montar uma equipe. A fase de *Measure* consiste em medir o sistema existente. Estabelecer métricas válidas e confiáveis para ajudar a monitorar o progresso em direção às metas definidas na etapa anterior. Estabelecer o baseline do cenário atual usando a métrica escolhida. A fase de *Analyze* consiste em analisar o sistema para identificar maneiras de eliminar a diferença de desempenho do estado atual para a meta estabelecida. Utilizar ferramentas estatísticas e análise de dados exploratória e descritiva para orientar a análise. A fase de *Improve* consiste em melhorar o sistema. Ser criativo para encontrar novas maneiras de fazer as coisas melhor, mais barato ou mais rápido. Usar o gerenciamento de projetos e outras ferramentas de planejamento para implementar a nova abordagem. Usar métodos estatísticos para validar a melhoria. A fase de *Control* consiste em controlar o novo sistema. Institucionalizar o sistema melhorado, documentar as ações tomadas e usar ferramentas estatísticas para monitorar a estabilidade dos novos sistemas (PYZDEK e KELLER, 2010).



Para Pyzdek e Keller (2010), a estrutura DMAIC fornece um *framework* útil para criar um “processo fechado” para gestão de projeto. Isso seria o equivalente a determinar um início, meio e fim para cada uma de suas fases. Essa estrutura é considerada por muitos profissionais como a principal razão para o sucesso do SS (DE KONING e DE MAST, 2006).

Os critérios para concluir uma fase específica são definidos e os projetos são revisados para determinar se todos esses critérios foram atendidos antes do início da próxima fase. Se todos os critérios forem satisfeitos, essa fase é dada como “fechada” (PYZDEK e KELLER, 2010).

Em *Define*, os autores consideraram cinco critérios para finalizar essa etapa:

- Definir o escopo do projeto, objetivos e cronogramas: entender o que se quer e o que não se quer fazer, onde se quer chegar e em quanto tempo se pretende fazer tudo isso.
- Definir o processo de forma holística e seus envolvidos: olhar o processo do começo ao fim e entender quem faz parte de seu desenvolvimento.
- Selecionar os membros do time: escolher um membro dos principais grupos envolvidos que tenham apoio da gestão local e que estejam dispostos a aderir as mudanças.
- Obter autorização da alta gerência (*sponsors*): alinhar as expectativas com o alto escalão, garantindo o “patrocínio” das decisões tomadas.
- Reunir e treinar a equipe: marcar uma reunião curta e informal com os gerentes de todas as partes interessadas e comunicá-los que haverá um projeto em suas áreas com a permissão e orientação do alto escalão. Esta reunião representa um convite para participarem do projeto.

Esses critérios ficam sob responsabilidade do *Black Belt (sponsor)* e para o time de projeto montado.

Em *Measure*, os autores consideraram quatro critérios para avançar de fase:

- Definir o processo: garantir que o processo específico que está sendo investigado esteja claramente definido.
- Definir as métricas que serão utilizadas: garantir um meio confiável de medir o processo, em relação aos entregáveis do projeto.
- Estabelecer o *baseline* do processo: quantificar os resultados operacionais atuais como forma de verificar os impactos que o resultado das ações de melhoria trouxera.
- Avaliar/Medir o sistema/processo existente: validar a confiabilidade dos dados para garantir soluções significativas.

Aqui todos os critérios abordados ficam sob responsabilidade do time de projeto.

Em *Analyze* os autores consideraram quatro critérios como pré-requisitos de avanço:

- Analisar o fluxo de valor do processo: para processos existentes, analisa o fluxo de valor para identificar maneiras de eliminar a lacuna entre o desempenho atual e o desempenho desejado.
- Analisar as fontes de variações do processo: investigar as causas que contribuem para a lacuna.
- Determinar as etapas críticas do processo: encontrar os pequenos *x's* que se correlacionam com os requisitos do cliente (CTQ, CTS, CTC) e influenciam significativamente o processo ou o projeto.
- Comparar a diferença entre o estado atual e meta que se deseja alcançar: usar técnicas de *benchmarking* para avaliar o melhor da categoria para produtos ou serviços.

Nessa fase, as responsabilidades se dividem entre *Black Belt* e o time de projeto.

Em *Improve*, os autores também consideraram quatro critérios para finalizar essa fase:

- Priorizar oportunidades de melhoria: caso exista mais de uma proposta, utilizar técnicas de auxílio a tomada de decisão para eleger a alternativa mais adequada.
- Definir novos processos ou projetos de produto: situações em que a melhoria será proveniente da criação de um novo processo ou produto.
- Otimizar as configurações de processos/produtos: situações em que a melhoria provém de rearranjos dos insumos ou remodelamento das atividades anteriores.
- Avaliar riscos e possíveis falhas: antecipar situações não desejadas e preparar contramedidas para combater esses problemas.

Essas atividades ficam a cargo do *Black Belt* e do líder do time de projetos.

Em *Control*, os autores finalizam com mais quatro critérios:

- Validar o novo processo/produto: constatar por meio de um estudo piloto se o novo processo ou projeto atende aos objetivos e benefícios buscados pelo projeto.
- Desenvolver e implementar o plano de controle: para institucionalizar as mudanças ou os novos processos um plano de controle precisa ser desenvolvido e implementado para garantir que as métricas estabelecidas sejam cumpridas.
- Documentar as lições aprendidas: ter registrado em documento tudo que foi aprendido e descoberto durante o desenvolvimento do projeto para facilitar ações futuras.
- Aprovar entregáveis: conferir e validar se os objetivos propostos foram de fato cumpridos.

Os encarregados aqui são o *Black Belt*, o time de projetos e o responsável financeiro.

### 2.2.3. Ferramentas LSS

Esse tópico tem por objetivo trazer as ferramentas que são comumente usadas nas etapas do DMAIC, em um primeiro momento serão trazidas as ferramentas gerais do LSS, e em seguida serão abordadas as ferramentas que foram identificadas nos trabalhos envolvendo SED e LSS.

As últimas décadas do século XX testemunharam uma expansão considerável do SS no mundo, especialmente nas indústrias alimentícia, farmacêutica, eletrônica e aeroespacial. Os desafios de gestão, trazidos pela crescente globalização, têm sido uma inspiração para acadêmicos e profissionais (ANTONY et al., 2018). Com isso o número de publicações que relatam suas experiências em projetos SS cresceu bastante. Os autores ainda afirmam que várias ferramentas são utilizadas durante todas as fases do DMAIC e para implementar o SS, é possível utilizar mais de uma ferramenta por fase. Em seu trabalho, Antony *et al.* (2018) apresentam as cinco principais ferramentas do SS utilizadas em cada fase do DMAIC. O Quadro 2.2 mostra o ranqueamento dessas ferramentas.

Quadro 2.2 – Ranqueamento geral das ferramentas mais comuns

Posição	<i>Define</i>	<i>Measure</i>	<i>Analyze</i>	<i>Improve</i>	<i>Control</i>
1º	Mapeamento de processos	Coleta de dados	Gráfico de Pareto	<i>Brainstorming</i>	Monitoramento e plano de controle
2º	Voz do cliente (VoC)	Medição do <i>baseline</i>	Análise de causa e efeito	Dispositivos à prova de erros	Cartas de controle
3º	Definição do problema	Características do CTQ	Análise de causa raiz	Ferramentas de simulação	Controle estatístico de processos
4º	Entendimento do CTQ	Cartas de controle	FMEA	Pensamento criativo	<i>Benchmarking</i>
5º	SIPOC	Gráfico de Pareto	<i>Brainstorming</i>	DOE	Histograma

Fonte: adaptado de Antony *et al.* (2018)

A seguir, serão listadas algumas ferramentas que foram mencionadas nos trabalhos envolvendo SED e LSS. O intuito aqui não é ensinar a usá-las ou aprofundar em seus conceitos, mas sim trazer um breve resumo do que são ou fazem.

- *Project charter*: Também conhecido como Contrato de Projeto, é uma das primeiras ferramentas a ser utilizada em um projeto LSS. É o documento que estabelece como tudo vai acontecer. É composto por: declaração do problema, histórico do problema, meta, benefícios, restrições, equipe de projeto e cronograma (PYZDEK e KELLER, 2010).

- *Stakeholder analysis*: Consiste em uma análise de todos os envolvidos no projeto, é um conjunto de informações que identifica os interesses e desinteresses de cada participante, os níveis hierárquicos e de influência, os beneficiados e os onerados. Ao classificar esses participantes, é criada uma espécie de “mapa” que auxilia como lidar com eles ao longo do projeto. Os estudiosos consideraram a análise de *stakeholders* como um processo ou como uma abordagem para apoiar a tomada de decisões e a formulação de estratégias (YANG, 2014).
- *VoC - Voice of Customer*: é a voz do cliente. Consiste basicamente em buscar a informação dos interesses de quem está diretamente ligado ao processo. Existem características que são expressas pelos clientes e outras que são implícitas. Colher essas informações e transformá-las em dados úteis é crucial para a assertividade das ações (AGUWA, OLYA e MONPLAISIR, 2017).
- *SIPOC*: É a sigla para *Supply* (Fornecedores), *Inputs* (Entradas), *Process* (Processo), *Outputs* (Saídas) e *Customer* (Clientes). O SIPOC é um diagrama que permite mapear os processos e reunir informações de modo a se compreender o processo do começo ao fim, a sequência das atividades, seus responsáveis e os insumos necessários (MISHRA e SHARMA, 2014).
- *P-map - Mapeamento de processos*: é a técnica de se colocar em um diagrama o processo de um setor, departamento ou organização, para orientação em suas fases de avaliação, projeto e desenvolvimento (CHEUNG e BAL, 1998).
- *VSM*: Para Klotz *et al.* (2008) é uma ferramenta normalmente usada para entender atividades que agregam ou não valor, tanto para o fluxo de materiais quanto para o de informações.
- *Capability analysis*: Conforme Montgomery e Runger (1997) e Deleryd (1999), é a ferramenta que permita a quantificação do desempenho de processos. Avalia se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir das necessidades dos clientes.
- *Control chart*: As cartas de controle são ferramentas poderosas utilizadas para monitorar a qualidade dos processos. Na prática, os limites do gráfico de controle são frequentemente calculados usando estimativas de parâmetros de uma amostra de referência. Seu objetivo é detectar quaisquer alterações indesejadas em um processo e caso isso ocorra, surgirão pontos anormais no gráfico (JENSEN *et al.*, 2006).
- *Pareto*: A análise ou gráfico de Pareto é uma das sete ferramentas da qualidade. É um método estatístico simples e eficaz, que classifica os itens em ordem decrescente de

frequência. A frequência total é somada a 100. As práticas de TQM são divididas em duas categorias, os poucos vitais (tendo 80% da porcentagem acumulada) e os muitos triviais (tendo 20% da porcentagem acumulada) (BAJAJ, GARG e SETHI, 2018).

- Ishikawa: O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta de análise que organiza graficamente as potenciais causas de problemas de qualidade de dados de acordo com categorias convencionais, método, máquina, material, mão de obra, medida e meio ambiente (CARVALHO *et al.*, 2021).
- *Brainstorming*: O *brainstorming*, ou “tempestade de ideias”, é uma das técnicas para fomentar a criatividade de um grupo, onde as ideias e pensamentos são compartilhados entre os membros de forma espontânea, a fim de alcançar soluções para problemas práticos (AL-SAMARRAIE e HURMUZAN, 2018).
- *5 Whys*: Os 5 porquês são uma das ferramentas de análise de causa raiz no domínio da manutenção produtiva total (TPM) da manufatura enxuta. Consiste em cinco questionamentos do porquê as coisas estão acontecendo e espera-se, que em sua última pergunta, uma potencial causa raiz seja encontrada (BENJAMIN, MARATHAMUTHU e MURUGAIAH, 2015).
- *Histogram*: Histogramas são recursos que fornecem uma representação compactada dos dados distribuídos por frequência, sendo muito úteis para a análises quantitativas (SCHLÖGL *et al.*, 1999).
- *DOE - Design of Experiments*: são execuções de experimentos planejados e controlados que tem como objetivo descobrir as relações entre as variáveis de interesse. O DOE é o principal componente da caixa de ferramentas estatísticas para implantar o *Quality by Design* em ambientes industriais e de pesquisa (POLITIS *et al.*, 2017).
- *Pilot study*: Um estudo piloto pergunta se algo pode ser feito, se os pesquisadores devem prosseguir com isso e, em caso afirmativo, como prosseguir. É realizado em uma escala menor do que o estudo principal. Em outras palavras, o estudo piloto é importante para melhoria da qualidade e eficiência do estudo principal (IN, 2017).
- *Hypothesis test*: O teste de hipóteses é usado para determinar a chance ou probabilidade de que uma determinada afirmação ou hipótese seja verdadeira. O processo usual de teste de hipóteses consiste em uma série de etapas. As etapas são a formulação da hipótese nula, seleção da estatística de teste, escolha do nível de significância aceitável, cálculo da probabilidade do valor a partir dos dados e comparação do valor calculado com o nível de significância (PEREIRA e LESLIE, 2009).

- *Detailed documentation:* Os requisitos para todos os processos devem ser detalhadamente documentados. Uma lista de verificação de auditoria de processo deve ser preparada e usada para determinar as condições dos processos antes da produção. A auditoria pode ser realizada pelo próprio operador, mas os resultados devem ser documentados. O documento deve incluir coisas como: o plano de produção, condição dos acessórios, calibração do medidor, a resolução do medidor sendo usado, problemas óbvios com materiais ou equipamentos, mudanças do operador, e assim por diante (PYZDEK e KELLER, 2010).

### 2.3. Simulação a Eventos Discretos e *Lean Six Sigma*

Este tópico trata de alguns benefícios que a integração de SED e LSS pode trazer. Arafeh *et al.* (2018) relatam que a abordagem integrada entre SED e LSS foi fundamental para ajudar a esclarecer os problemas que um hospital tinha no processo de alta de seus pacientes. Com o auxílio da SED, várias soluções para os problemas identificados na fase de *Analyze* puderam ser testadas. A abordagem integrada dos métodos permitiu tirar o máximo proveito da iniciativa de melhoria de processos, pois a construção de um modelo de simulação, que trazia os mínimos detalhes do processo de alta, forneceu uma ferramenta de ideação realista que aumentou o número de sugestões com possíveis soluções para o problema.

Projetos de simulação para sistemas complexos geralmente consomem muito tempo e exigem técnicas eficazes dos gestores para uma execução bem-sucedida. Sharda e Bury (2012) discutem que algumas das melhores práticas baseadas em SS auxiliam na execução bem-sucedida de tais projetos e garantem a sustentabilidade dos modelos de simulação para avaliação de futuros esforços de melhoria. Nedra *et al.*, (2021) relatam que seus processos também são apoiados por abordagem integrada entre LSS e simulação.

A abordagem integrada de SED e LSS provou ser versátil no fornecimento de diretrizes e no desenvolvimento e avaliação de diferentes cenários de melhoria. Ela fornece um método de melhoria mais sistemática que se baseia em números, ao invés de confiar exclusivamente na intuição e julgamento pessoal, para propor cenários de melhoria e avaliar seus resultados por meio de experimentos de simulação. Isso fornece um prognóstico do desempenho esperado desses cenários, ajudando a evitar os problemas e custos que podem estar associados a modificações reais do sistema (HUSSEIN *et al.*, 2017).

Kambli, Sinha e Srinivas (2020) afirmam que a integração da estrutura DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) com a abordagem de modelagem de simulação a eventos

discretos foi a melhor forma de entender, analisar e melhorar a capacidade de resposta do serviço de realocação de capacidade e gerenciamento de filas no tempo de espera de um cliente.

O desenho de um modelo SED destinado a simular e comparar diferentes cenários é significativamente aprimorado pela adoção da estrutura DMAIC, que simplifica a formalização e execução das etapas sucessivas para obter um modelo correto (CELANO *et al.*, 2012).

Arafeh *et al.* (2014) utilizaram a SED e a estrutura DMAIC para reduzir o tempo de preparação da prescrição médica, desenvolvendo processos orientados ao cliente em uma farmácia ambulatorial de câncer. A SED e o LSS foram usados para analisar o sistema e identificar os requisitos de pessoal da farmácia.

Baril *et al.*, (2016) relatam a procura das unidades de saúde por técnicas de simulação de eventos discretos com abordagens de melhoria contínua (LSS) para melhorar a prestação de serviços. Os autores citam ainda que a simulação pode ser utilizada para se testar os efeitos das soluções antes de implementá-las de fato, auxiliar em treinamentos acerca da filosofia e, conseqüentemente, encorajar os envolvidos no projeto quanto à proposição de melhorias para o sistema.

Estes relatos sobre os benefícios e a possibilidades que a abordagem integrada entre SED e LSS podem trazer só reforçam a maneira como essa combinação tem se expandido e o potencial que ela apresenta. Baseado nessa ideia, espera-se que esse trabalho seja mais uma ferramenta que permita essa abordagem se difundir pelo mundo.

### 3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: SED X LSS

Diferente de uma revisão da literatura, na qual o pesquisador explora a literatura sem necessariamente seguir rigorosamente um método estruturado de passos e objetivos, a RSL permite uma varredura da literatura de uma forma estruturada (SOUSA JUNIOR *et al.*, 2019). Neste caso, este trabalho baseou-se no método proposto por Oliveira, Lima e Montevechi (2016), Santos *et al.* (2021) e Amaral *et al.* (2022), o qual é estruturado em quatro fases principais:

- a) Planejamento: definição dos principais objetivos e questões da pesquisa;
- b) Pesquisa/Triagem: exploração da literatura de acordo com os critérios definidos;
- c) Análise/Síntese: realização de análises dos resultados e procedimentos estatísticos;
- d) Apresentação: descrição dos resultados e principais análises.

#### 3.1. Planejamento

Antes da definição dos objetivos e das questões de pesquisa, foi realizada uma primeira etapa, contendo uma pesquisa exploratória. A base de dados selecionada foi a *Scopus*® e as palavras chaves buscadas foram: (“*discrete event simulation*” OR “DES”) AND (“*Six Sigma*” OR “DMAIC”), combinadas com os operadores booleanos AND e OR, restritas a artigos publicados em revistas científicas e no idioma inglês.

Nesta primeira etapa foram encontrados 15 artigos, 14 deles com acesso aberto, o mais antigo datava de 2006 e o mais recente 2021, abrangiam as áreas de manufatura, logística, serviços e *healthcare*, nenhum deles trazia uma revisão sobre a integração dos métodos. Após a análise destes trabalhos, foram identificadas outras variações de palavras-chave para se referenciar a DES e SS: “*discrete-event simulation*”, “*discrete events simulation*” e “*six-sigma*”, “*lean six sigma*”, “*lean-six sigma*” e “*6-sigma*”. Esses termos foram incluídos em uma nova pesquisa que será abordada posteriormente.

A partir de diversas reuniões envolvendo pesquisadores e especialistas em DES e LSS, e baseada na leitura preliminar dos artigos encontrados nesta fase da pesquisa foi definido como objetivo da RSL identificar as principais práticas de integração do LSS e SED, visando a utilização conjunta de ambas as metodologias, identificando aí as principais ferramentas utilizadas para esta integração, como os projetos se estruturaram, bem como analisar possíveis *frameworks* já propostos na literatura.



Para cumprir com o objetivo da pesquisa, foram definidas as seguintes Questões de Pesquisa (QP's) a serem respondidas:

- QP1 - Qual o estado da arte acerca das publicações nesta área?
- QP2 - Qual o principal foco (SED ou LSS) dos artigos encontrados na RSL?
- QP3 - Como o modelo de SED foi estruturado nos trabalhos encontrados?
- QP4 - Como o projeto LSS foi estruturado, segundo o método DMAIC, nos trabalhos analisados?
- QP5 - Quais as ferramentas do LSS foram utilizadas nos artigos analisados?
- QP6 - Em quais fases do DMAIC o modelo de simulação foi utilizado?
- QP7 - Existem propostas de *frameworks* integrados para trabalhos de SED e LSS?
- QP8 - Quais as dificuldades e vantagens da integração de ambos os métodos, bem como oportunidades de pesquisa?

### 3.2. Pesquisa/Triagem

Para este trabalho, foram realizadas buscas utilizando três termos referentes a simulação (SED) e seis termos referentes a *Lean Six Sigma*, em seis bases de dados diferentes. As bases utilizadas foram: Scopus®, Web of Science®, Scielo®, IEEE Xplore®, Science Direct® e Taylor & Francis®.

As pesquisas incluíram os seguintes conjuntos de palavras ("*discrete event simulation*" OR "*discrete-event simulation*" OR "*discrete events simulation*") AND ("*six sigma*" OR "*six-sigma*" OR "*lean six sigma*" OR "*lean-six sigma*" OR "*DMAIC*" OR "*6-sigma*") combinadas com os operadores *booleanos* AND e OR. Além disso, em cada etapa da pesquisa foram incluídos os seguintes critérios para a seleção dos trabalhos: (i) os termos pesquisados devem estar presentes nos títulos, palavras-chave ou resumos; (ii) artigos completos publicados em revistas científicas ou *research article*; (iii) trabalhos escritos em inglês.

Em um primeiro momento, foram encontrados 373 resultados, ao aplicar os filtros, os resultados caíram para 242, a partir daí uma leitura prévia dos resumos foi realizada e constatou-se que 187 trabalhos tratavam apenas de: *Design For Six Sigma* (DFSS), *Lean, Six Sigma* ou *Discrete Event Simulation*. Após remover os artigos repetidos foram selecionados 37 trabalhos para leitura completa e ao aprofundar a leitura, foram identificados mais 12 trabalhos que, embora dissessem abordar SS, na verdade falavam sobre Nível Sigma ou DFSS. Por fim, 25 trabalhos foram selecionados para compor o estudo. O Quadro 3.1 mostra os resultados dessa triagem por base de dados.

Quadro 3.1 – Triagem de artigos por base de dados

Filtros	Bases de dados						Total
	Scopus	Web of Science	SciELO	IEEE Xplore	Science of Direct	Taylor & Francis	
("discrete event simulation" OR "discrete-event simulation" OR "discrete events simulation") AND ("six sigma" OR "six-sigma" OR "lean six sigma" OR "lean-six sigma" OR "DMAIC" OR "6-sigma")	53	43	0	9	154	114	373
Artigos (A) ou Research Articles (RA)	29 (A)	28 (RA)	0	0 (A)/(RA)	110 (A)	79 (A)	246
Lingua Inglesa	28	26	0	0	109	79	242
DFSS ou só Lean ou só Six Sigma ou só DES	7	6	0	0	101	73	187
Disponíveis para download	21	20	0	0	8	6	55
Sem repetições							37
Nível Sigma ou DFSS							12
Selecionados para compor o estudo							25

Fonte: elaborado pelo autor

### 3.3. Análise/Síntese

A análise e síntese dos resultados foram realizadas em planilha *MSEXcel*®. Dessa forma, foi possível compilar informações de todos os artigos analisados. Cada artigo foi registrado na planilha de acordo com as orientações relacionadas às QP's e os resultados extraídos foram analisados por meio de estatística descritiva. Essas análises foram baseadas nas QP's e demonstram as melhores práticas e principais perspectivas relacionadas ao uso da SED e do LSS de forma conjunta.

### 3.4. Apresentação

Este tópico se destina a exibir os resultados e discussões acerca dos trabalhos encontrados. As análises foram feitas com base nas QP's definidas para esse estudo e para resumir os resultados e auxiliar na interpretação, foram utilizados textos, quadros, tabelas e figuras.

### 3.4.1. Qual o estado da arte acerca das publicações nesta área?

O Quadro 3.2 relaciona os autores as áreas de atuação onde seus trabalhos foram realizados. A numeração dos artigos, empregada no Quadro 3.2, será adotada nas próximas análises.

Quadro 3.2 – Artigos analisados e áreas de atuação dos trabalhos

Nº	Artigo	Periódico	País
1	Kambli, Sinha e Srinivas (2020)	<i>Journal of Hospitality and Tourism Management</i>	USA
2	Allen e Wigglesworth (2009)	<i>Journal of Biomolecular Screening</i>	UK
3	Kumar, McCreary e Nottestad (2011)	<i>Quality Engineering</i>	USA
4	Makinde <i>et al.</i> (2022)	<i>Cogent Engineering</i>	África do Sul
5	Hussein <i>et al.</i> (2017)	<i>Operations Research for Health Care</i>	Egito
6	Baril <i>et al.</i> (2016)	<i>European Journal of Operational Research</i>	Canadá
7	Celano <i>et al.</i> (2012)	<i>International Journal of Health Care Quality Assurance</i>	Itália
8	Southard, Chandra e Kumar (2012)	<i>International Journal of Health Care Quality Assurance</i>	USA
9	Sharda e Bury (2012)	<i>Journal of Simulation</i>	USA
10	Eitel <i>et al.</i> (2010)	<i>Journal of Emergency Medicine</i>	USA
11	Al-Aomar e Youssef (2006)	<i>International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage</i>	Jordânia
12	Kubala <i>et al.</i> (2021)	<i>International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology</i>	USA
13	Venkatadri <i>et al.</i> (2011)	<i>Simulation Modelling Practice and Theory</i>	USA
14	Hejazi (2021)	<i>Computers and Industrial Engineering</i>	Irã
15	Criddle e Holt (2018)	<i>Journal of Perianesthesia Nursing</i>	USA
16	Tellis <i>et al.</i> (2021)	<i>Journal of Digital Imaging</i>	USA
17	Ortiz-Barrios e Alfaro-Saiz (2020)	<i>PLoS One</i>	Colômbia
18	Nedra <i>et al.</i> (2021)	<i>Autex Research Journal</i>	Tunísia
19	Badilla-Murillo <i>et al.</i> (2020)	<i>Processes</i>	Costa Rica
20	Furterer <i>et al.</i> (2019)	<i>International Journal of Lean Six Sigma</i>	USA
21	Improta <i>et al.</i> (2020)	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	Itália
22	Arafeh <i>et al.</i> (2018)	<i>Journal of Healthcare Engineering</i>	Jordânia
23	Arafeh <i>et al.</i> (2014)	<i>International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage</i>	Jordânia
24	Carotenuto, Giordani e Zaccaro (2014)	<i>Transportation Research Procedia</i>	Itália
25	El-Banna (2013)	<i>Quality Engineering</i>	Jordânia

Fonte: elaborado pelo autor

Estes artigos foram dispostos em ordem cronológica por área de atuação e quantidade de publicações, como mostra a Figura 3.1. As áreas onde os estudos foram realizados são: Manufatura (Mfg), *Healthcare* (Healthc.), Educação (Edu.), Supply Chain (SCM) e Serviços (Svc.).

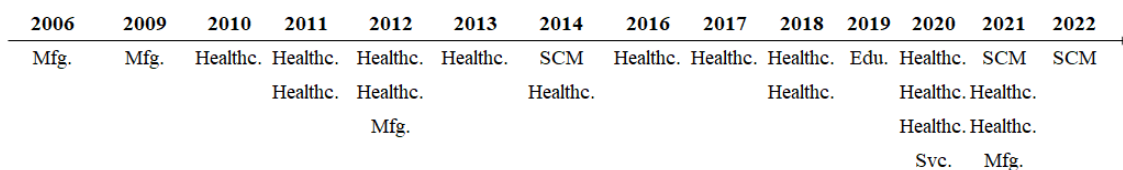


Figura 3.1 – Linha do tempo das áreas de publicação

A grande maioria dos trabalhos, 64%, foram realizados na área de *Healthcare*, 16% deles foram realizados na área de Manufatura, 12% na área de Cadeia de Suprimentos, 4% em Educação e 4% em Serviços. Estes trabalhos podem ser vistos no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Artigos por área de atuação

Áreas de atuação	Artigos	Total
Cadeia de suprimentos	3, 4, 24	3
Educação	20	1
<i>Healthcare</i>	5-8, 10, 12-17, 19, 21-23, 25	16
Manufatura	2, 9, 11, 18	4
Serviços	1	1

Fonte: elaborado pelo autor

Como houve um destaque considerável dentro da área de *Healthcare*, essa foi subdividida e descobriu-se, que esse nicho era composto por 62% de trabalhos realizados em hospitais, 19% realizados em departamentos de emergência, 13% realizados em serviços clínicos e 6% realizados em departamento laboratorial.

Esses resultados reforçam que a utilização conjunta de SED e LSS vai além do ambiente da manufatura e pode ser expandido para qualquer área que tenha problemas em seus processos.

### 3.4.2. Qual o principal foco (SED ou LSS) dos artigos encontrados na RSL?

Visando responder a segunda RQ, o trabalho foi iniciado buscando-se entender e classificar como os autores utilizaram os métodos empregados nos trabalhos. Dentre os artigos analisados, houve aqueles em que a SED era o foco principal e o LSS era abordado como um complemento ou ferramenta e vice-versa.

Nem todos os artigos trouxeram isso de uma forma explícita no texto, então para que os trabalhos tivessem essa diferenciação foram criados três tipos de categorias (A, B e C), que classificam os trabalhos conforme o nível de detalhes fornecidos:

- **A:** O LSS foi usado como uma ferramenta na SED, o nível de detalhes no que se refere as etapas da SED é consideravelmente maior do que o das etapas de LSS.
- **B:** A SED foi usada como uma ferramenta no LSS, o nível de detalhes no que se refere as etapas do LSS é consideravelmente maior do que o das etapas da SED.

- **C**: Tanto SED quanto LSS tiveram proximidade no detalhamento das etapas, portanto foram tratados como equivalentes.

Com os trabalhos do tipo A, espera-se que eles forneçam as melhores práticas de execução de projetos de SED, que utilizam o LSS em seus processos para ajudar a resolver os problemas do modelo computacional construído. Com os trabalhos do tipo B, espera-se coletar informações sobre as principais ferramentas utilizadas pelo LSS, e como a SED ajudou a resolver o problema proposto. Os trabalhos do tipo C podem contribuir em ambos os objetivos.

Os resultados da classificação mostraram que dos 25 artigos analisados, dez deles (40%) foram classificados como tipo **A**, que considera que o LSS foi usado como uma ferramenta na SED, nove deles (36%) se enquadraram no tipo **B**, que considera que a SED foi usada como uma ferramenta do LSS e, seis deles (24%), foram considerados do tipo **C**, que aborda com a mesma ênfase SED e LSS. Para facilitar a visualização, esses resultados foram compilados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Classificação dos artigos quanto a sua utilização

Classificação	Artigos
<b>A</b>	8, 9, 13 a 19, 24, 25
<b>B</b>	2, 4 a 7, 12, 20 a 23
<b>C</b>	10, 11, 17, 18

Fonte: elaborado pelo autor

O fato do número de artigos dos tipos A (11) e B (10) terem resultados tão parecidos, reforça a possibilidade de utilização integrada dos dois métodos conforme o interesse do projeto, uma vez que esses métodos já são explorados separadamente e possuem um alto nível de detalhamento.

### 3.4.3 Como o modelo de SED foi estruturado nos trabalhos encontrados?

Na sequência foram identificadas quais etapas do método de Modelagem e Simulação foram as mais utilizadas durante a execução de um projeto, que combina SED e LSS nos artigos identificados na RSL.

Para que isso fosse possível, em meio a tantas abordagens diferentes, os *frameworks* identificados por Montevechi *et al.* (2015), como os mais utilizados na literatura foram utilizados como parâmetros. Dele foram selecionadas apenas cinco etapas para serem identificadas nos trabalhos. Essas cinco etapas estão inseridas dentro de três grandes fases: Concepção, Implementação e Análise.

A fase de Concepção está mais relacionada ao início do projeto de simulação. Nessa fase são focadas as etapas de Modelagem Conceitual e Validação do Modelo Conceitual. Na fase de Implementação serão focadas as etapas de Modelagem Computacional e Validação do Modelo. Por fim, na fase de Análise, a procura será pelo tipo de análise conduzida nos trabalhos. Os resultados são apresentados no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Registro das etapas de simulação nos artigos analisados

Art	Concepção		Implementação			Análise	
	Modelo conceitual	Validação do modelo conceitual	Modelo computacional	Validação do modelo computacional	Tipo de validação	Análise	Tipo análise
1	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
2	não	não	sim	não	-	sim	Cenários
3	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	DOE
4	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
5	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	DOE
6	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
7	sim	sim	sim	sim	Estatística	não	-
8	sim	sim	sim	não	-	sim	Cenários
9	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
10	não	não	não	não	-	não	-
11	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
12	não	não	sim	não	-	sim	Cenários
13	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
14	sim	não	sim	não	-	sim	Cenários
15	sim	não	sim	não	-	não	-
16	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
17	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
18	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
19	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
20	não	não	sim	sim	Estatística	não	-
21	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
22	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	Cenários
23	sim	sim	sim	sim	Estatística	sim	DOE
24	não	não	sim	não	-	sim	Cenários
25	sim	não	sim	não	-	sim	DOE

Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados sintetizados mostraram que 80% dos trabalhos apresentaram um modelo conceitual definido, 68% apresentavam a validação do modelo conceitual, 96% apresentavam um modelo computacional (apenas um trabalho não apresentava porque se tratava de um caso teórico), 68% apresentavam a validação do modelo computacional e 84% deles apresentavam a realização de algum tipo de Análise.

Dos trabalhos que apresentaram validação do modelo computacional, todos relataram utilizar Testes Estatísticos (68%), sendo que a grande maioria não mencionou o tipo de teste, mas apresentavam os resultados na forma de *fit test* e *p-value*, por exemplo. Em relação ao tipo de Análise conduzida nos modelos de SED, duas classificações se destacaram: *Design of*

*Experiments* (DOE), com 19% e Análise de Cenários (testes considerando mudanças pontuais no modelo – *what if*) com 81%.

Os resultados encontrados mostram que os trabalhos que fizeram uso conjunto de SED e LSS, continuam a utilizar métodos tradicionais de Modelagem e Simulação, baseados nas etapas de Concepção, Implementação e Análise, tal como encontrado por Montevechi *et al.* (2015).

Aprofundando nessa análise, em relação a utilização do modelo de SED, verificou-se o objetivo da utilização da simulação nos artigos, ou seja, se os pesquisadores queriam modelar apenas o estado atual de seus processos, apenas o estado futuro, ou ambos os casos. Para fazer essa classificação foram criados dois critérios:

- D1: O trabalho seria assinalado com D1, caso seu texto mencionasse explicitamente que a SED tivesse sido utilizada para simular o estado atual dos processos ou, no decorrer do texto, fossem identificadas características que levassem a esta conclusão, por exemplo, utilizar a SED para calcular a capacidade atual do processo. Outra característica que auxiliou nesta etapa foi a identificação da fase do DMAIC, na qual a SED tenha sido usada ou mencionada, geralmente em *Define*, *Measure* ou *Analyze*.
- D2: O trabalho seria assinalado com D2 caso seu texto mencionasse explicitamente que a SED tivesse sido utilizada para simular do estado futuro dos processos, ou ao decorrer do texto, fossem identificadas características que levassem a esta conclusão, por exemplo, utilizar a SED para testar mudanças de variáveis no processo. Outra característica que auxiliou nesta etapa foi a identificação da fase do DMAIC na qual a SED tenha sido usada ou mencionada, geralmente em *Improve* ou *Control*.

A classificação dos artigos quanto aos critérios estabelecidos pode ser vista no Quadro 3.6 a seguir.

Quadro 3.6 - Classificação do uso da SED nos artigos

Classificação	Artigos
D1	-
D2	2, 16, 18, 21, 22, 25, 26
D1 e D2	1, 3 a 9, 11 a 14, 17, 19, 20, 22, 23
Não menciona	11

Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados mostraram que nenhum trabalho utilizou a SED única e exclusivamente para simular o estado atual de seus processos, em todos os casos em que D1 foi utilizado, D2 também foi. Sete trabalhos (28%) foram classificados como D2, ou seja, utilizaram a SED para

simular apenas o estado futuro de seus processos, e 17 trabalhos (68%) foram classificados como D1 e D2, utilizando a SED para simular tanto o estado atual quanto o estado futuro de seus processos.

Com esses resultados, pode-se concluir que na maioria dos casos, a SED é utilizada para auxiliar em mais de uma etapa de um projeto de simulação, mas também pode ser utilizada para simular apenas o estado futuro dos processos.

Esse resultado também reforça a importância da etapa de validação dos modelos de simulação, já que na grande maioria das vezes, esses modelos de simulação são utilizados mais de uma vez nos testes de cenários e, ao validar-se o modelo, tem-se a certeza de que os resultados gerados pelas modificações são realmente confiáveis e podem ser associados as ações que foram tomadas.

Por fim, foi analisado a utilização de softwares e/ou linguagens de programação utilizadas para a modelagem dos artigos. Estes foram listados em ordem cronológica com sua frequência de utilização, como mostra a Figura 3.2.

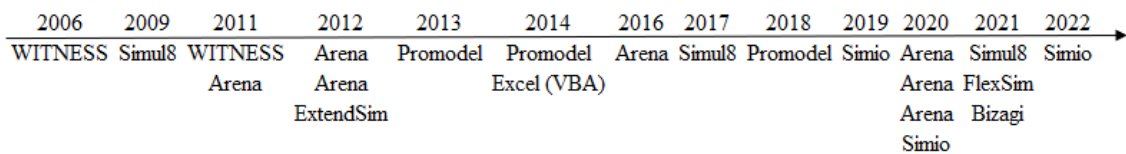


Figura 3.2 – Linha do tempo de utilização de *softwares*

Como é possível perceber, o *software Arena*® foi o que mais apareceu, totalizando 28% das utilizações, em seguida aparecem *Simio*®, *Simul8*® e *Promodel*®, empatados na segunda posição com 12% cada, *WITNESS*® vem em terceiro com 8%, e os demais seguem com 4%.

Embora o *software Arena*® tenha uma pequena vantagem no número de utilizações em relação aos demais, a conclusão é que não existe predominância de um *software* sobre outro nos trabalhos analisados, portanto todos eles apresentam capacidade de integrar projetos de SED e LSS.

#### 3.4.4 Como o projeto de LSS foi estruturado, segundo o método DMAIC, nos trabalhos analisados?

Na sequência foi analisada a utilização do método DMAIC, na estruturação dos projetos LSS identificados na RSL. Cabe destacar, que o fato de citar as atividades realizadas em cada etapa da estrutura DMAIC não implica em detalhes de sua execução, pensando nisso, uma outra



categoria de classificação foi criada e ela se refere à clareza da estrutura DMAIC nos artigos encontrados, podendo ser: Alta, Média ou Baixa, como definido a seguir:

- Alta - Explica em cada etapa do DMAIC o que foi feito e fornece detalhes de como foi feito: Por exemplo, cita que utilizou o diagrama de Ishikawa em uma determinada etapa, e em seguida apresenta o diagrama com as informações.
- Média - Explica em pelo menos duas etapas do DMAIC o que foi feito e fornece detalhes de como foi feito: Semelhante ao Alta, mas para no mínimo duas etapas.
- Baixa – Apenas cita quais ferramentas ou conceitos foram utilizados no DMAIC: Por exemplo, cita que utilizou o diagrama de Ishikawa em uma determinada etapa, mas não apresenta em momento algum no texto, o diagrama com as informações.

Em 13 casos (52%), a clareza da estrutura foi tida como Alta, em dez casos (40%), tida como Baixa e o restante (8%), tida como Média.

É possível perceber que os trabalhos dificilmente fazem uma abordagem que traz um nível de detalhamento mediano quanto a estrutura DMAIC, a tendência é que sigam extremos quanto a esse aspecto, ou riqueza de detalhes ou apenas citações. Os artigos e suas classificações estão sintetizados no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Classificação dos artigos quanto a utilização do DMAIC

<b>Classificação</b>	<b>Artigos</b>
<b>Alta</b>	1 a 4, 6 a 8, 17, 18, 20 a 23
<b>Média</b>	5, 12
<b>Baixa</b>	9 a 11, 13 a 16, 19, 24, 25

Fonte: elaborado pelo autor

São interessantes os trabalhos com a classificação Alta, pois eles permitem entender em que circunstâncias/contextos as ferramentas e conceitos foram usados e como foram usados, permitindo assim, a associação dessas ferramentas/conceitos as etapas de construção de um modelo de SED.

Por fim foram analisados a maneira que os autores utilizaram o LSS nos artigos, de forma a separar para análises mais profundas os trabalhos que utilizaram todas as fases da estrutura DMAIC.

Assim como foi feito para a SED, os mesmos trabalhos também foram analisados apenas sob o olhar do LSS e novamente, várias formas de abordagem foram aparecendo e vários níveis diferentes de detalhamento foram encontrados durante a leitura dos artigos, alguns davam mais ênfase às ferramentas, outros ao método, e para que uma análise conjunta fosse feita, duas categorias de classificação foram criadas: S1 e S2.

- S1: Trabalhos onde todas as etapas da estrutura DMAIC foram abordadas de maneira explícita, ou seja, à medida que a leitura do trabalho evoluía, era possível encontrar no texto ferramentas/conceitos utilizados e as etapas *Define, Measure, Analyze, Improve* e *Control* muito bem definidas.
- S2: Trabalhos que apenas citaram a abordagem LSS. Fazem uso de algumas ferramentas e conceitos do método, mas a identificação da fase em que o projeto se encontrava, dependia de interpretação do autor.

Dos 25 trabalhos, 18 deles (72%) foram classificados como S1, em seus textos havia trechos que se destinavam a dizer o que foi feito especificamente em cada etapa da estrutura DMAIC. Os outros sete trabalhos (28%) se enquadraram na categoria S2, como mostra o Quadro 3.8.

Quadro 3.8 – Classificação dos artigos quanto ao uso do LSS

Classificação	Artigos
S1	1 a 8, 11 a 13, 17 a 23
S2	9, 10, 14 a 16, 24 e 25

Fonte: elaborado pelo autor

A grande maioria dos trabalhos utilizou todas as etapas da estrutura DMAIC. Isso torna mais fácil a visualização dos projetos em cada fase, essas divisões possibilitam a comparação de projetos por etapas, saber quais ferramentas e conceitos foram usados, e quando usados, portanto, os artigos classificados como S1 tem mais possibilidades de contribuir com este estudo, quanto a apresentação da integração da SED ao LSS.

### 3.4.5. Quais ferramentas utilizadas no LSS foram identificadas nos artigos analisados?

Essa etapa tem como objetivo não só identificar as ferramentas utilizadas em cada projeto, mas também separá-las por fase do DMAIC. Espera-se com essa ação encontrar informações que permitam correlacionar as fases da simulação com as fases do LSS e as ferramentas mais adequadas.

Aqui os trabalhos foram analisados de forma a se compreender as melhores práticas, ou pelo menos as mais comuns, adotadas pelos autores na execução de seus projetos. Um Quadro foi montado e à medida que uma ferramenta era citada ou identificada dentro de uma fase do DMAIC, ela era registrada para aquele artigo, conforme o Quadro 3.9.

É válido ressaltar que os critérios adotados para os registros eram de menção explícita do nome da ferramenta e da fase do DMAIC e, em alguns casos, associação do conceito da

ferramenta. Algo semelhante foi feito para as fases do DMAIC, alguns trabalhos simplesmente não mencionaram a fase, então o registro da ferramenta foi classificado como Não Identificado (N.I.).

Dadas as considerações, foi possível identificar a relação “ferramenta x fase” em 80% dos trabalhos, 8% não mencionaram as ferramentas utilizadas e em 12% dos casos, não foi possível a identificação.

Quadro 3.9 – Ferramentas x etapa/fase DMAIC x artigo

Artigos	Registros	Fases da estrutura DMAIC				
		<i>Define</i>	<i>Measure</i>	<i>Analyze</i>	<i>Improve</i>	<i>Control</i>
1	8	Observação do sistema, <i>P-map</i> , Ishikawa	Estatística descritiva, Análise de tempos e movimentos	Análise da base de dados	Teste de hipóteses	Documentação detalhada
2	2		VSM		VSM, <i>box plot</i>	
3	9	<i>Project charter</i> , Análise de <i>stakeholders</i>	<i>P-map</i> , Matriz de causa e efeito, Análise de Capacidade	FMEA, Pareto	DOE, Estudo piloto	
4	5	SIPOC, <i>Project charter</i>	VSM	Pareto, Ishikawa	VSM	
5	6	VoC, SIPOC	<i>P-map</i> , MSA, estratificação		DOE	
6	3	<i>Project charter</i>	<i>P-map</i> , <i>brainwriting</i>			
7	3	<i>Brainstorming</i> , <i>P-map</i>			<i>Brainstorming</i> , DOE	<i>Brainstorming</i>
8	3	VoC	VSM	VSM, <i>P-map</i>		
9	3	<i>Project charter</i> , Análise de <i>stakeholders</i> , <i>P-map</i>				
10	2	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.
11	2	VoC		VSM		
12	1			<i>Brainstorming</i>		
13	3		<i>P-map</i>		Ishikawa, VSM	
14	0					
15	2	VSM, <i>P-map</i>				
16	2	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.
17	10	<i>Project charter</i> , SIPOC	Análise de Capacidade	Análise de Capacidade, Ishikawa, 5 porquês	DOE	<i>Control chart</i>
18	3		<i>P-map</i>	Histograma	FMEA	
19	1			Histograma		

20	7	<i>Project charter, Análise de stakeholders</i>	CTS, VoP, SIPOC, <i>P-map</i>			<i>Control chart</i>
21	4	<i>Project charter, P-map</i>	Matriz de prioridades	Pareto		
22	11	Análise de <i>stakeholders, Project charter, SIPOC, Análise de Capacidade</i>	<i>P-map, Histograma, Control chart</i>	<i>Brainstorming, Ishikawa, 5 porquês</i>	Pareto	<i>Control chart</i>
23	6	VoC	<i>P-map, Control chart, Análise de Capacidade</i>	<i>Brainstorming</i>	DOE	
24	0					
25	7	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.

Fonte: elaborado pelo autor

Os artigos também foram agrupados pelas quantidades de ferramentas utilizadas em seus projetos e para isso foi necessário a criação de quatro grupos (sendo um deles o que não mencionou nenhuma ferramenta), com intervalos que contém a quantidade de ferramentas por eles mencionadas.

Cerca de 52% dos artigos mencionaram de 1 a 3 ferramentas, 28% mencionaram de 4 a 7 ferramentas, 12% mencionaram de 8 a 11 ferramentas, e 8% não mencionaram nenhuma ferramenta, conforme mostra a Quadro 3.10. É válido ressaltar que a quantidade de ferramentas utilizadas nos trabalhos, não tem relação direta com o nível de clareza da estrutura DMAIC dos mesmos. O artigo de El-Banna (2013), por exemplo, menciona sete ferramentas, mas não deixa claro em qual etapa elas foram utilizadas e nem os detalhes de como foram utilizadas.

Quadro 3.10 – Quantidade de ferramentas mencionadas por artigo (intervalo)

Quantidade de ferramentas	Artigos
0	14, 24
1 a 3	2, 6 a 13, 15, 16, 18, 19
4 a 7	1, 4, 5, 20, 21, 25
8 a 11	3, 11, 17

Fonte: elaborado pelo autor

Outra informação relevante para este estudo são as frequências de utilização das ferramentas registradas. A maneira para se obter esses dados foi listar todas as ferramentas mencionadas por artigo, e, depois, contabilizá-las individualmente. Como o número de ferramentas era muito grande, decidiu-se que seriam ranqueadas apenas aquelas que tivessem no mínimo quatro menções, dessa forma um gráfico de Pareto foi construído e o resultado segue, conforme a Figura 3.3.

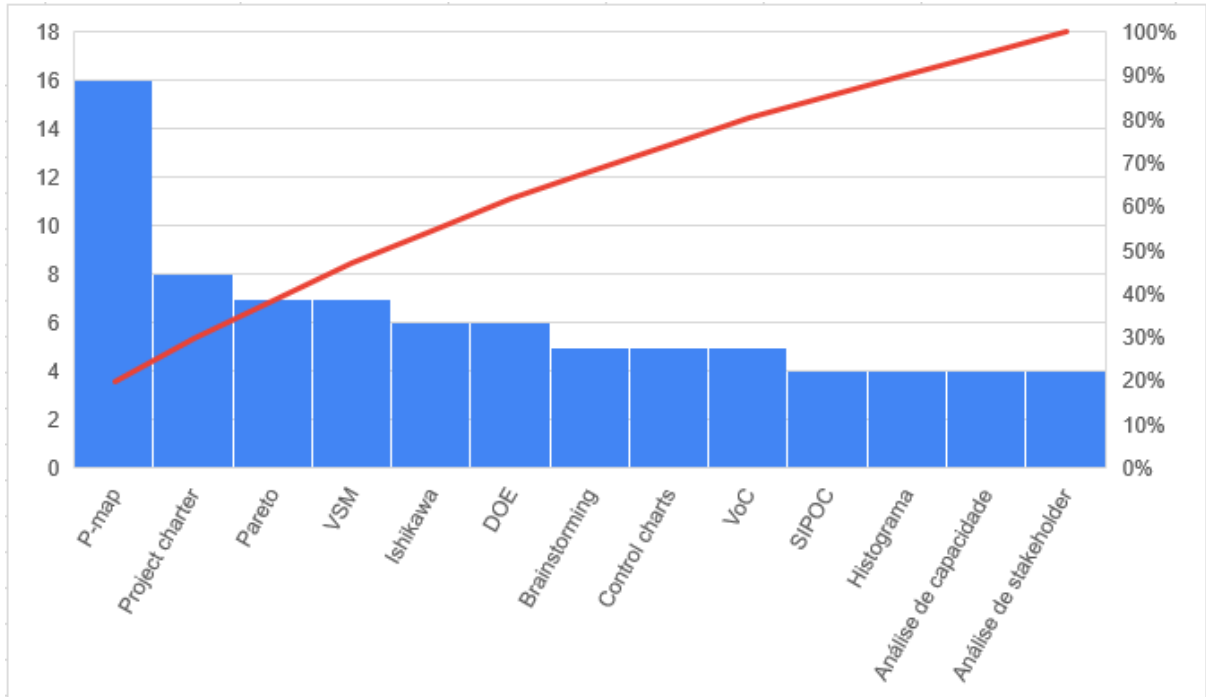


Figura 3.3 – Gráfico de Pareto das ferramentas mais mencionadas

Fonte: elaborado pelo autor

O *P-map* foi a ferramenta mais mencionada, aparecendo em 64% dos artigos, a segunda colocada foi o *Project charter* com 32%, seguido de Pareto e VSM, ambos com 28%. Em quarto lugar tem-se o diagrama de Ishikawa e DOE, os dois com 24%, em quinto aparecem *Brainstorming*, *Control chart* e VoC, com 20% e, por último, aparecem SIPOC, Histograma, Análise de Capacidade e Análise de *Stakeholder* com 16% de menções.

O fato do *P-map* aparecer como a ferramenta mais utilizada mostra como alguns conceitos dos dois métodos, SED e LSS, podem ser bem parecidos, uma vez que os modelos conceituais de simulação utilizam muito o fluxograma, que tem uma estrutura semelhante ao *P-map*. Essa similaridade mostra que essas informações podem ser aproveitadas ou adaptadas, tanto para a SED, quanto para o LSS. O mesmo vale para o segundo colocado, *Project charter*, a fase de Concepção do modelo de simulação também se ocupa de definir escopos e delimitações do projeto, e essas informações podem ser comum tanto para projetos que utilizem a SED quanto para o LSS.

A totalidade das ferramentas mencionadas por fase do DMAIC em trabalhos que relacionavam SED e LSS, é apresentada no Quadro 3.11.

Quadro 3.11 – Quadro geral de ferramentas apresentadas por fase do DMAIC

Fase	Ferramentas
<i>Define</i>	<i>Project charter</i> ; Análise de <i>Stakeholder</i> ; Observação do sistema; <i>P-map</i> ; Ishikawa; SIPOC; VoC; <i>Brainstorming</i> ; VSM; Análise de Capacidade.
<i>Measure</i>	Estatística descritiva; Análise de tempos e movimentos; VSM; <i>P-map</i> ; Matriz de causa e efeito; Análise de Capacidade; MSA; Estratificação; <i>Brainwritting</i> ; CTS; VoP; Matriz de prioridades; Histograma; <i>Control chart</i> ; Pareto.
<i>Analyze</i>	Análise da base de dados; FMEA; Pareto; VSM; <i>P-map</i> ; <i>Brainstorming</i> ; Análise de Capacidade; Ishikawa; 5 Porquês; Histograma.
<i>Improve</i>	Teste de hipóteses; VSM; <i>Box plot</i> ; DOE; Estudo piloto; Ishikawa; Pareto; FMEA; <i>Brainstorming</i> .
<i>Control</i>	Documentação detalhada; <i>Brainstorming</i> ; <i>Control chart</i> ; FMEA.

Fonte: elaborado pelo autor

Pelas análises é possível inferir que algumas ferramentas são mais consolidadas do que outras, e caso fosse necessário optar por uma ferramenta por fase, com exceção de *Analyze*, isso não seria complexo, em *Define* tem-se *Project charter* como a ferramenta mais utilizada, em *Measure* tem-se a utilização principal de *p-map*, em *Analyze* as opções seriam gráfico de Pareto e diagrama de Ishikawa, em *Improve* tem-se a utilização de DOE e em *Control*, a ferramenta de maior utilização seria *Control chart*.

Em relação as fases do DMAIC serão listadas as ferramentas que apareceram em pelo menos três trabalhos: *Define* (*Project charter*, *P-map*, VoC e Análise de *stakeholder*), *Measure* (*P-map*, VSM e Análise de Capacidade), *Analyze* (Pareto, Ishikawa e *Brainstorming*), *Improve* (DOE e VSM) e *Control* (*Control chart*), sendo todas essas, possíveis opções de ferramentas para aplicações envolvendo SED e LSS.

É interessante ressaltar, que mesmo os trabalhos que foram classificados como alto nível de detalhamento apresentam diferenças, quando vão descrever as atividades em *Control*. Essa fase certamente é menos abordada que as outras, as quantidades de ferramentas apresentadas e suas taxas de utilizações são um forte indício dessa conclusão. É válido a ressalva de que esses comentários se restringem a essa pesquisa, e que não necessariamente, refletem a realidade de outros trabalhos que não fizeram parte dessa RSL.

### 3.4.6. Em quais fases do DMAIC o modelo de SED foi utilizado?

Para compreender onde os modelos de SED têm sido mais empregados em projetos LSS, foi criado o Quadro 3.12, que registra a fase do DMAIC que mencionava ou continha a utilização de um modelo de simulação.

Os critérios adotados aqui foram semelhantes aos utilizados anteriormente em outros quadros. Era necessário que estivesse explícito no texto, ou dentro de algum fluxograma/*framework* ou algo semelhante, que remetesse a fase do DMAIC em que o modelo de SED era utilizado, quando isso acontecia, um registro era feito na etapa do DMAIC utilizada.

Em seguida, esses registros foram convertidos em valores, que foram associados as fases do DMAIC separadamente para que as análises pudessem ser realizadas. Em alguns trabalhos não foi possível fazer essa identificação. O Quadro 3.12 apresenta os resultados.

Quadro 3.12 – Fases do DMAIC que utilizaram o modelo de simulação

Artigo	Fases do DMAIC				
	D	M	A	I	C
1			x	x	
2				x	
3		x	x	x	
4		x		x	
5				x	
6	x		x	x	
7				x	
8			x	x	
11	x	x	x	x	x
18		x	x		
19			x		
20			x		
21			x		
22			x	x	
23				x	

Fonte: elaborado pelo autor

Ao final desse processo, as fases de *Analyze* e *Improve* foram as que tiveram maior percentual de utilização, 40% e 44% respectivamente, em terceiro lugar vem *Measure* com 16%, em seguida *Define* com 8% e por último *Control* com apenas 4%. Em 40% dos casos, não foi possível identificar em qual fase o modelo de SED foi utilizado.

As fases que mais utilizaram o modelo de SED foram *Analyze* (identificação das causas do problema) e *Improve* (teste das ações implementadas). *Measure* parece ter potencial de

utilização conjunta a SED, os trabalhos que utilizaram o modelo de SED nessa fase foram quase todos para analisar a capacidade dos processos. Os dois casos que utilizaram em *Define* foram para facilitar a visualização do problema, e o único caso que usou em *Control* foi para prever possíveis eventos e cenários.

### 3.4.7. Quais os principais elementos identificados nos trabalhos que apresentaram *framework* integrado?

Esta etapa é uma das mais importantes para a proposição do *framework*, nela estão contidos os trabalhos que de alguma maneira já trouxeram essa abordagem conjunta da SED e do LSS em uma mesma estrutura.

O objetivo aqui é identificar os possíveis padrões e lacunas apresentados por esses autores e utilizá-los para propor um *framework* integrado, que trabalhe com os dois métodos em paralelo.

O primeiro passo para responder essa pergunta foi triar os trabalhos que possuíam *framework* integrado, dos que não possuíam. Conforme a Figura 3.4, apenas sete artigos apresentaram essa integração, sendo eles: Al-Aomar e Youssef (2006), Celano *et al.* (2012), Arafeh *et al.* (2014), Baril *et al.* (2016), Hussein *et al.* (2017), Kambli, Sinha e Srinivas (2020) e Nedra *et al.* (2021). Esses trabalhos foram separados e analisados um a um seguindo sua ordem cronológica de publicação.

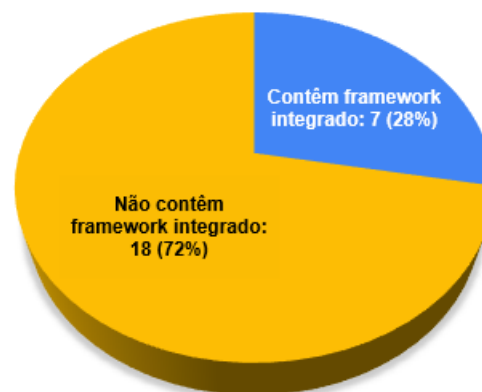


Figura 3.4 – Trabalhos contendo *framework* integrado

Fonte: elaborado pelo autor

Um breve resumo com os panoramas dos autores será apresentado antes das análises individuais.

No *framework* proposto por Al-Aomar e Youssef (2006) é possível identificar o que foi feito, mas não se tem os detalhes de como fazer. A parte referente ao LSS é tratada apenas como



uma “caixa”, que indica a aplicação da estrutura DMAIC, que logo em seguida, é transformado em um modelo computacional ao entrar na outra “caixa” referente a SED. Esse modelo se replica até que o resultado seja satisfatório e alcance seu alvo.

Celano *et al.* (2012) apresentam o primeiro *framework* que divide e classifica as atividades dentro de cada etapa do DMAIC, o trabalho inclui opções para *Six Sigma* e *Design for Six Sigma* e traz informações muito detalhadas do passo a passo para construir um modelo computacional, mas é simplista quanto ao método LSS.

Arafeh *et al.* (2014) seguem o mesmo *layout* do trabalho anterior, inclusive o tem como uma de suas referências. Seu *framework* também é dividido nas etapas DMAIC e traz algumas ferramentas do *Six Sigma* que foram utilizadas, mas faz apenas duas menções sobre SED na parte do *Improve*, citando a simulação e validação do modelo, sem detalhes de sua construção.

No trabalho de Baril *et al.* (2016), a integração LSS e SED também é dividida nas etapas DMAIC, a quantidade de detalhes em cada etapa é bem pequena, uma ferramenta LSS em *Define* e uma *Measure*, desenvolvimento do modelo de simulação em *Analyze* e o evento *Kaizen* em *Improve*.

Hussein *et al.* (2017) tem um *framework* semelhante ao de Arafeh *et al.* (2014), com bastante enfoque nas ferramentas e o método *Six Sigma*. Trata da simulação apenas em *Improve*, como uma “caixa” que se refere ao modelo de SED.

Kambli, Sinha e Srinivas (2020) trazem um *layout* um pouco diferente para o *framework*, as ferramentas e conceitos são dispostos como tópicos nas colunas da estrutura DMAIC, enquanto recebem uma classificação de “propósito” e “atividades primárias e ferramentas” nas linhas. O conteúdo aborda boa parte do LSS e da SED, mas não mostra a ordem em que devem ser executados.

O último trabalho é o de Nedra *et al.* (2021), seu *framework* traz um pouco mais de informação da parte da SED do que a de LSS, ele indica onde as etapas da simulação se encaixam no DMAIC e onde esses dois métodos se encaixam no *Sim-Lean*. Não menciona nenhuma ferramenta do LSS e apenas conceitos da SED.

De agora em diante seguirão as análises individuais dos trabalhos contendo um pouco mais de detalhes de seus *frameworks*.

Essa série de análises será iniciada pelo trabalho de Al-Aomar e Youssef (2006), publicado no *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, que propõe avaliar e melhorar o nível *sigma* dos processos baseado na interação DMAIC-SED. O processo DMAIC representa o sistema de controle sobre o modelo de SED, o *feedback* do sistema vem

de uma calculadora de nível *sigma* que converte o resultado do modelo de SED em nível de sistema e DPMO correspondente e o compara com a meta, conforme Figura 3.5.

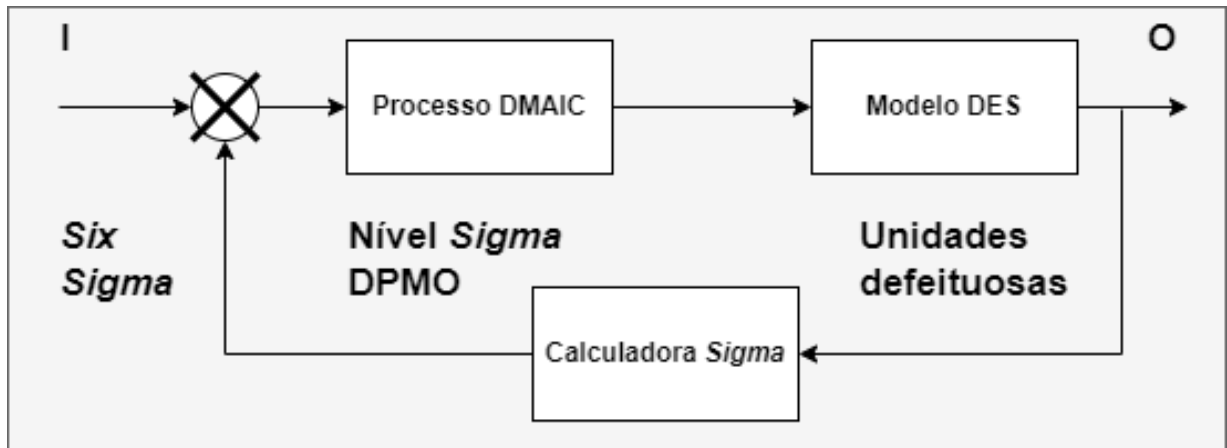


Figura 3.5 – Sistema *Sigma* DMAIC-SED

Fonte: adaptado de Al-Aomar e Youssef (2006)

Embora não seja propriamente dito um método de ação conjunta que dá detalhes sobre a implantação de um projeto de SED, que utilize LSS, este é o primeiro trabalho analisado que coloca em um *framework* os dois métodos juntos e propõe uma interação entre eles. Aqui eles não trabalham de forma paralela, mas sim em série. Primeiramente são executadas todas as ações referentes ao LSS e depois essas ações são inseridas no modelo de SED, a partir daí é como se os processos estivessem rodando com as modificações feitas e os resultados vão sendo convertidos em um nível sigma, até que atinjam a meta estipulada.

Este trabalho permitiu ao autor perceber que os métodos não devem ser tratados como “caixa laranja” e que talvez trabalhá-los de forma paralela seja mais eficiente, pois algumas informações utilizadas por ambas as partes podem ser comuns entre SED e LSS. Daí concluiu-se que o *framework* deve trazer detalhes de execução dos dois métodos e executá-los de forma simultânea.

O segundo trabalho é de Celano *et al.* (2012), publicado no *International Journal of Health Care Quality Assurance*, o artigo discute uma estrutura teórica baseada em um *roadmap* que permite a incorporação da SED como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão dentro de um projeto *Six Sigma* de melhoria. O *roadmap* foi construído de maneira estruturada com procedimentos sequenciais de modo a se compreender o que precisa ser feito para construir um modelo de simulação, conforme mostra a Figura 3.6.

É o primeiro dos trabalhos com *framework*, que faz separação da estrutura por fases do DMAIC, sendo também a única coisa sobre LSS que foi mencionado. Trata, quase que única e

exclusivamente, da construção do modelo de simulação por meio de 25 atividades, que se assemelham bastante da estrutura proposta por Montevechi *et al.* (2015).

Este trabalho permitiu ao autor visualizar de maneira fácil, como as etapas da construção de um modelo de simulação podem ser distribuídas dentro de cada fase do DMAIC. Também evidenciou, que só essas informações não foram suficientes para se construir um *framework* que permita utilizar SED e LSS ao mesmo tempo, já que os detalhes da execução de um projeto LSS não foram disponibilizados.

Desse trabalho, conclui-se que é uma excelente abordagem distribuir as informações referentes a construção do modelo de SED dentro das fases do DMAIC. Essa abordagem servirá de base para a proposição do *framework*.

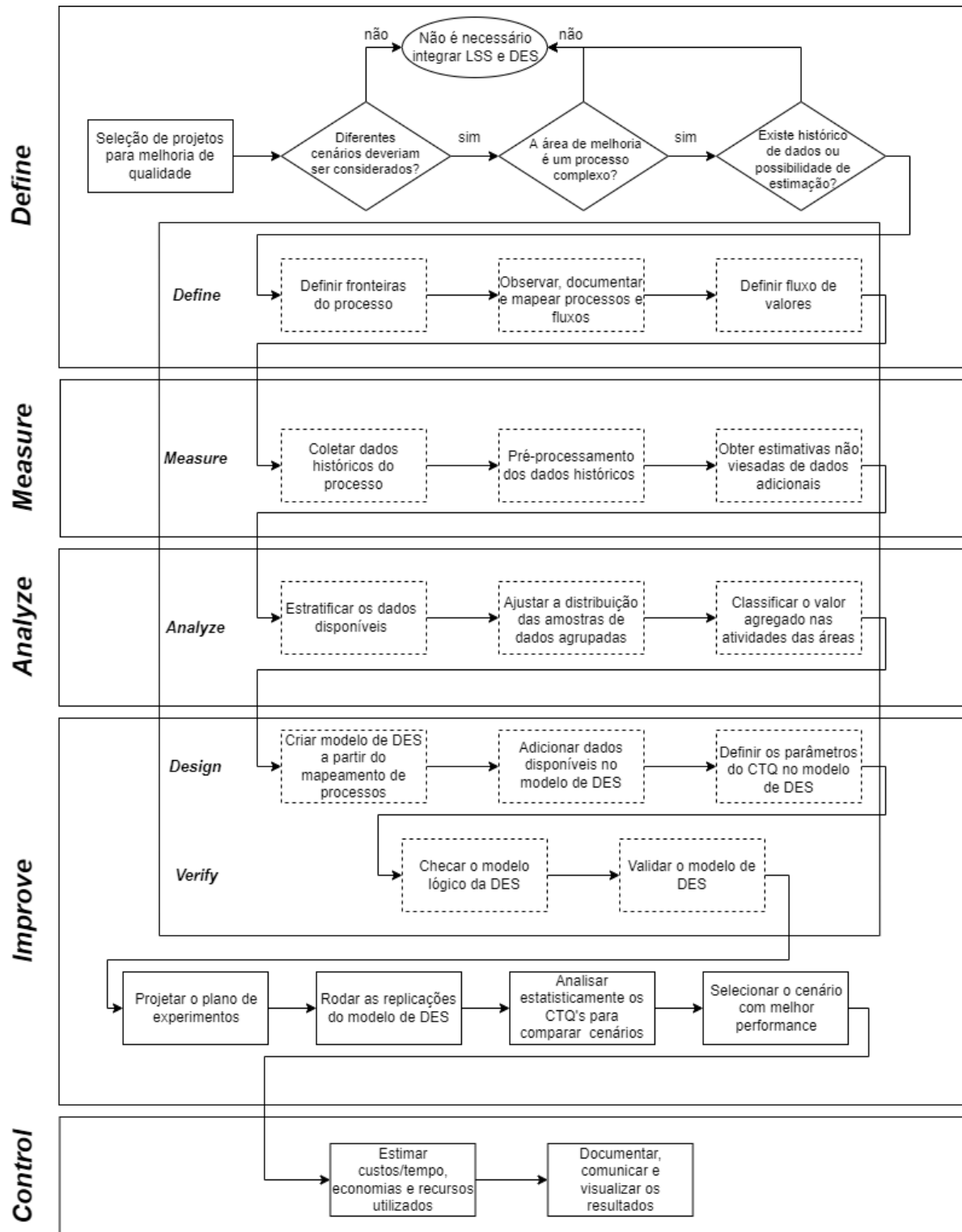


Figura 3.6 – Roadmap ligando SS a um modelo de desenvolvimento de SED

Fonte: adaptado de Celano *et al.* (2012)

O terceiro trabalho é de Arafah *et al.* (2014), publicado no *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, e mostra a aplicação conjunta do DMAIC e SED para melhorar o processo ambulatorial de um hospital, identificando os diversos fatores que afetam o desempenho das operações da farmácia, conforme Figura 3.7.

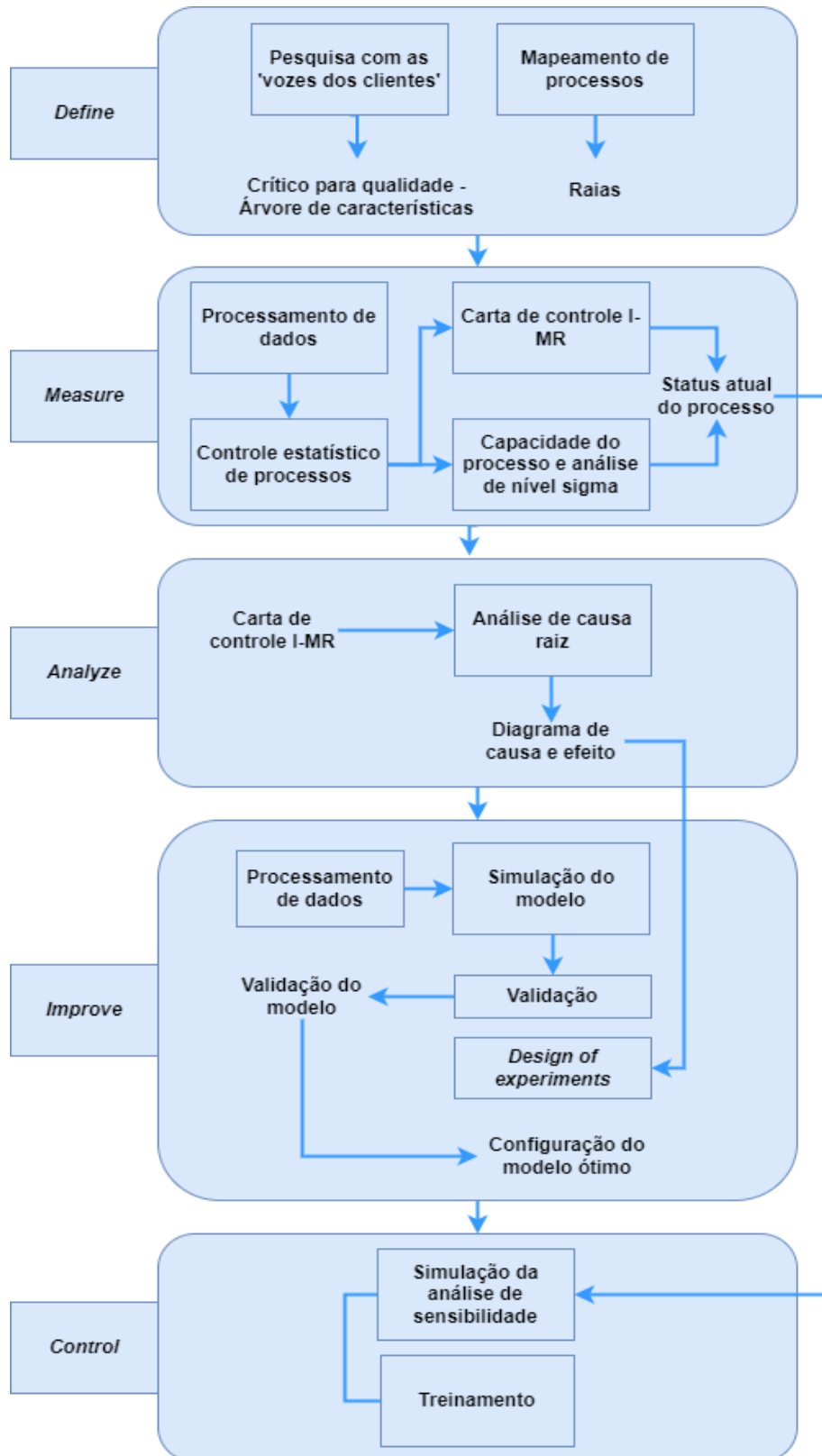


Figura 3.7 – Ferramentas básicas usadas em cada fase do projeto SS

Fonte: adaptado de Arafteh *et al.* (2014)

Assim como o trabalho de Celano *et al.* (2012), esse *framework* também traz a proposta de divisão pelas fases do DMAIC, com a diferença de que aqui tem-se de forma muito mais detalhada o LSS, com sugestões de ferramentas e a ordem das atividades a serem executadas. Neste trabalho, a simulação fica limitada apenas a fase de *Improve*, sendo possível compreender a sequência das atividades nesta etapa.

Uma ocorrência interessante é o fato de a atividade Processamento de dados ser comum tanto a fase de *Measure* quanto a de *Improve*, isso reforça a possibilidade de aproveitamento de algumas informações para ambos os métodos, o que permitiria que o modelo já pudesse ter o início de sua construção em fases anteriores do DMAIC.

Este trabalho contribui com a proposição do *framework* reforçando a ideia de distribuição das atividades por fases do DMAIC, validando a ideia de que algumas informações podem ser de uso comum para SED e LSS, o que poderia gerar uma melhoria na execução do projeto integrado.

O quarto trabalho analisado é o de Baril *et al.* (2016), publicado no *European Journal of Operational Research*, o artigo apresenta uma abordagem para conduzir um projeto LSS em uma clínica. Um modelo de SED foi desenvolvido para validar as ideias de melhoria proposta pelos participantes de um evento *Kaizen* e o método de resolução de problemas adotado foi o DMAIC. A abordagem é apresentada pela Figura 3.8.

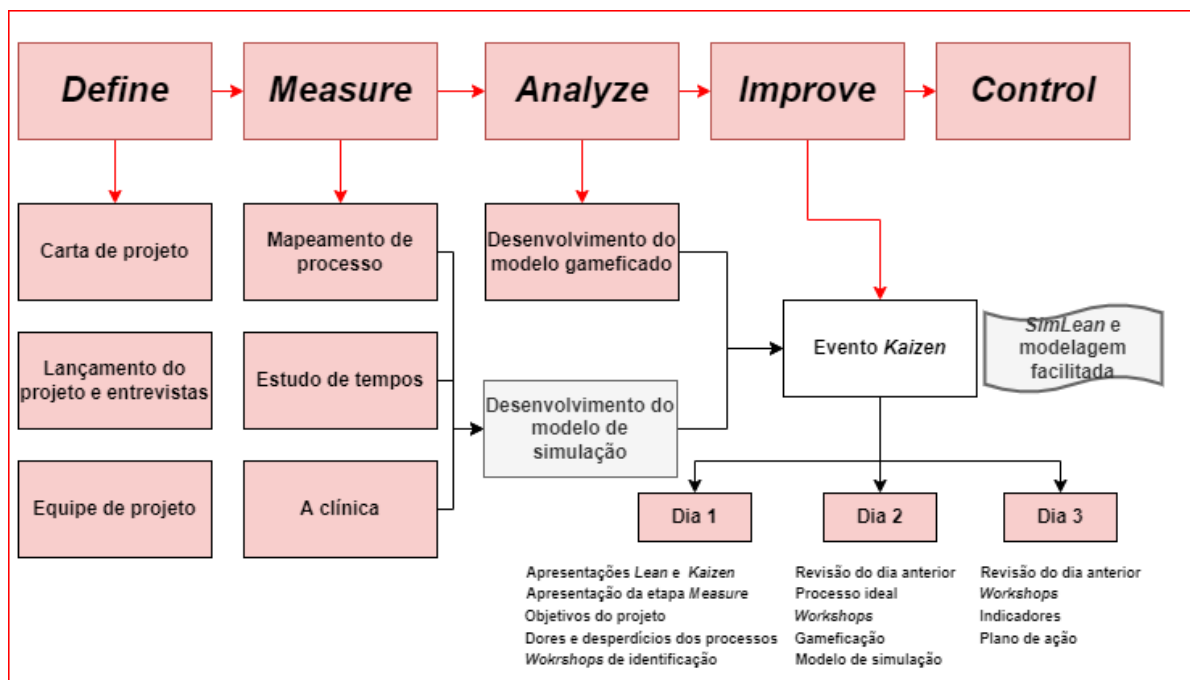


Figura 3.8 – Abordagem do treinamento

Fonte: adaptado de Baril *et al.* (2016)

Este *framework* também reforça um *layout*, onde as atividades são enquadradas nas fases do DMAIC, nele é possível perceber que todas as informações obtidas em *Measure* foram utilizadas para auxiliar no desenvolvimento do modelo de simulação. É o primeiro dos trabalhos com *framework* em que SED e o LSS correm de forma paralela, as informações que foram obtidas para mensurar o problema do projeto de LSS, também foram utilizadas para a criação do modelo. Portanto este trabalho contribui com o *framework* que será proposto, reforçando a ideia do *layout* e mostrando que é possível que os métodos sejam executados de forma simultânea.

O quinto trabalho é de Hussein *et al.* (2017), publicado no *Operations Research for Health Care*. A pesquisa integra o método *Six Sigma* com simulação para analisar e resolver o problema de superlotação nos departamentos de emergência. A SED é usada como ferramenta para avaliar os benefícios que podem ser obtidos com as modificações sugeridas pelo prognóstico do desempenho esperado nos cenários de melhoria fornecidos pelo *Six Sigma*. Um *layout* do esquema proposto é ilustrado na Figura 3.9.

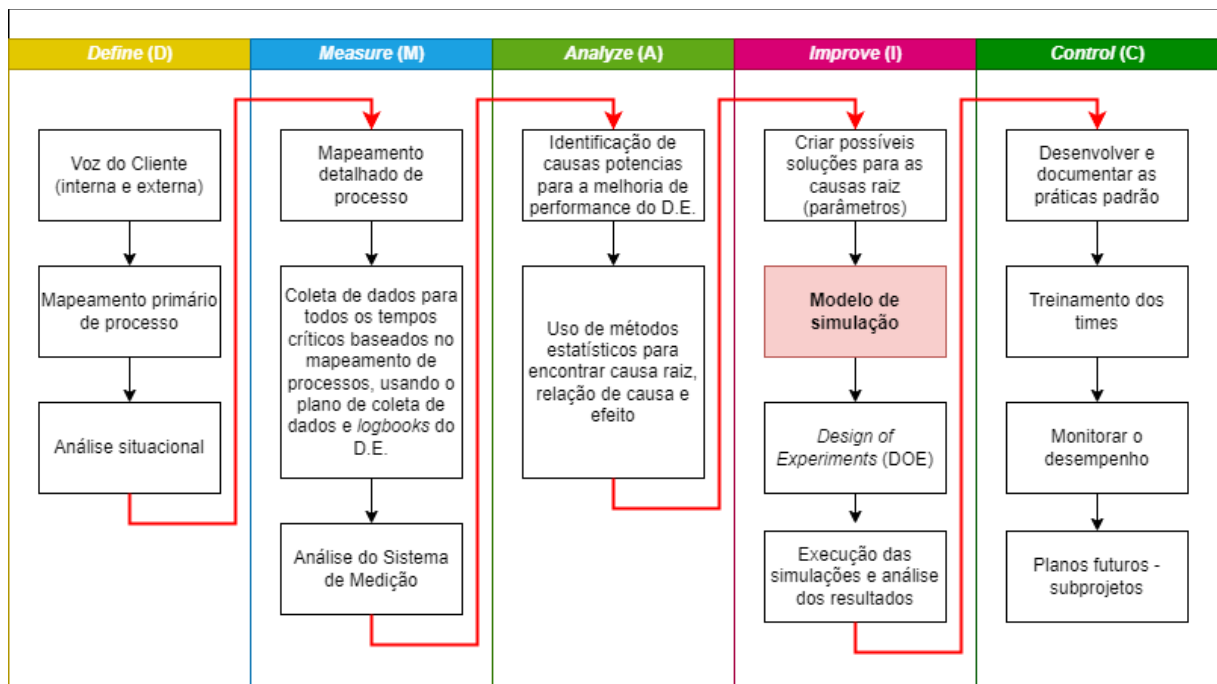


Figura 3.9 – Abordagem integrada entre Simulação e *Six Sigma*

Fonte: adaptado de Hussein *et al.* (2017)

Este é mais um trabalho que segue o *layout* da divisão de atividades por fases do DMAIC, também da maior ênfase ao LSS do que a SED, mas aqui ao invés de trazer apenas as ferramentas, Hussein *et al.* (2017) traz, de maneira simplificada, as ideias por detrás das ferramentas. As contribuições desse trabalho para o *framework* que será proposto são o reforço

do modelo de *layout* e alguns conceitos de atividades que serão executadas no DMAIC, essas informações serão cruzadas com os conceitos de construção de um modelo de simulação e então serão buscadas ferramentas que possam ser comuns as etapas de SED e LSS com funções semelhantes.

O sexto trabalho é de Kambli, Sinha e Srinivas (2020), publicado no *Journal of Hospitality and Tourism Management*, e integra a estrutura *Six Sigma DMAIC* com a abordagem SED para entender os processos, identificar as causas-raiz de um problema, projetar alternativas potenciais e avaliar seu desempenho sistematicamente, facilitando a avaliação de qualquer cenário definido pelo usuário de maneira econômica e oportuna, como mostra a Figura 3.10.

	Define (D)	Measure (M)	Analyze (A)	Improve (I)	Control (C)
<b>Propósitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entender o processo atual</li> <li>- Coletar a voz do cliente e dos colaboradores</li> <li>- Identificação dos problemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliar o processo atual</li> <li>- Coletar dados mensuráveis pertencentes ao sistema atual</li> <li>- Estabelecer o <i>baseline</i> de performance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelar o estado atual do processo</li> <li>- Verificação e validação do modelo</li> <li>- Avaliar o modelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar potenciais alternativas para melhorar a qualidade do serviço</li> <li>- Modelar e validar processos alternativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criar um plano para implementação de curto e longo prazo</li> </ul>
<b>Atividades primárias e ferramentas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observação do sistema</li> <li>- Mapeamento de processos</li> <li>- Análise de causa raiz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise da base de dados dos CDS</li> <li>- Análise dos tempos de estudo</li> <li>- Estatísticas descritivas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste de distribuição</li> <li>- Criação do modelo computacional (DES)</li> <li>- Depuração do modelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criação do modelo computacional (DES)</li> <li>- Comparação de performances</li> <li>- Teste de hipóteses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obter <i>insights</i> gerenciais em relação a múltiplos critérios</li> <li>- Criar documentação detalhada</li> </ul>

Figura 3.10 – Visão geral da simulação integrada ao *framework* DMAIC

Fonte: adaptado de Kambli, Sinha e Srinivas (2020)

Mais uma vez o *layout* com as fases do DMAIC se faz presente. Além deste ponto, este trabalho traz algo novo como uma subdivisão dentro de cada etapa. É possível dizer que aqui houve um aprimoramento do *insight* tido no trabalho de Hussein *et al.* (2017), que era o de comparar os conceitos das etapas de construção da SED e do LSS para encontrar ferramentas que atendessem aos dois métodos.

O trabalho de Kambli, Sinha e Srinivas (2020) facilita essa visualização ao separar as etapas em duas linhas, a primeira contendo os Propósitos, e a segunda com as Atividades primárias e ferramentas, facilitando o entendimento do que se espera daquela fase e quais ferramentas podem auxiliar para cumprir esses propósitos.



Por fim, tem-se o trabalho de Nedra *et al.* (2021), publicado no *AUTEX Research Journal*, o artigo propõe apoiar os processos LSS pela abordagem *Sim-Learn*, utilizando *Business Process Modeling Notation* (BPMN) para validar um certo número de indicadores e vias de melhoria do processo, conforme Figura 3.11.

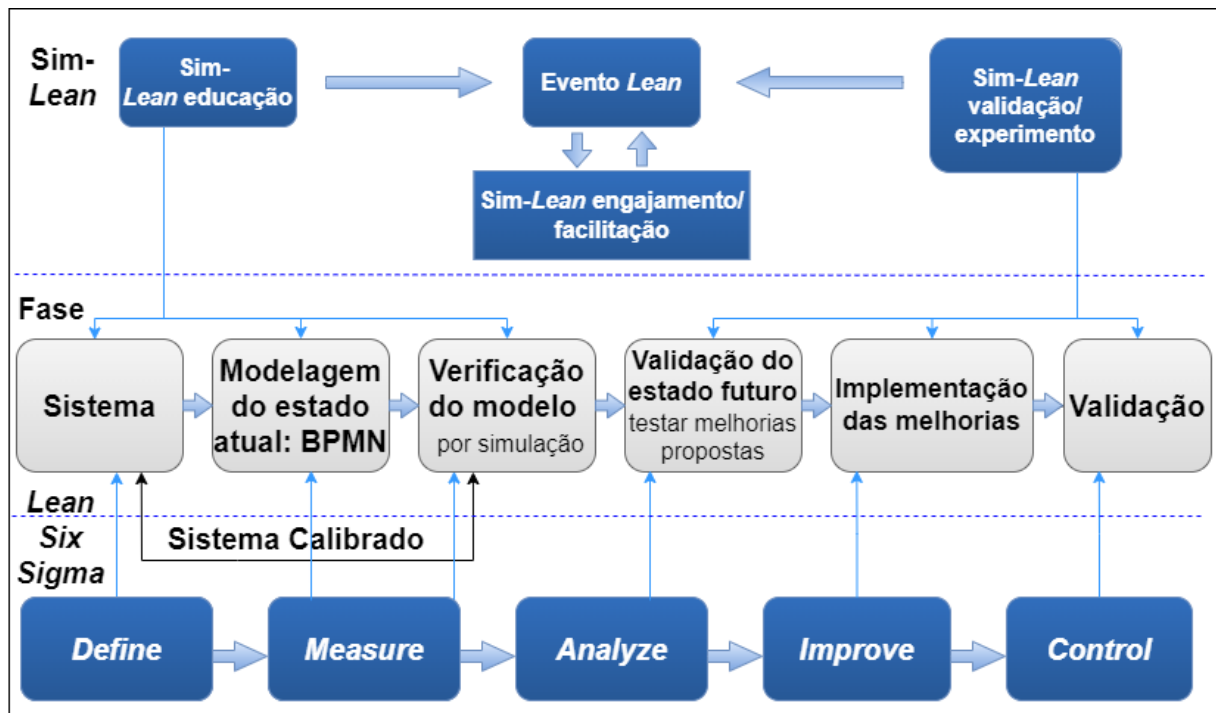


Figura 3.11 – Passos do método de modelagem e simulação

Fonte: adaptado de Nedra *et al.* (2021)

O *framework* não traz nenhuma ferramenta ou conceito do LSS, mas reforça o ponto de utilização simultânea dos dois métodos e sugere onde algumas etapas da simulação podem ser enquadradas nas fases do DMAIC. Essas informações serão cruzadas com os insights obtidos nos trabalhos de Montevechi (2015), Hussein *et al.* (2017) e Kampli, Sinha e Srinivas (2020) e o resultado servirá de base para o novo *framework* que será proposto.

Durante as análises individuais, alguns pontos interessantes foram abordados nesses sete trabalhos. Para facilitar a visualização dessas contribuições criou-se o Quadro comparativo 3.13, que separa esses elementos por autores.

Quadro 3.13 – Contribuições por autores

Contribuições para proposição do <i>framework</i>		Al-Aomar e Youssef (2006)	Celano <i>et al.</i> (2012)	Arafeh <i>et al.</i> (2014)	Baril <i>et al.</i> (2016)	Hussein <i>et al.</i> (2017)	Kambli, Sinha e Srinivas (2020)	Nedra <i>et al.</i> (2021)
1	Distribuição de atividades por fase do DMAIC		x	x	x	x	x	x
2	Detalhes de execução da SED		x					x
3	Detalhes de execução do LSS			x		x	x	
4	Ferramentas do LSS			x	x		x	
5	Conceitos da SED		x					
6	Conceitos do LSS	x				x	x	
7	Utilização simultânea de SED e LSS				x			x

Fonte: elaborado pelo autor

Como todos os pontos levantados são positivos e auxiliam de alguma forma na execução de seus projetos, fica subentendido que o *framework* ideal deve conter não só esses tópicos, mas também os outros *insights* obtidos com as respostas das questões de pesquisa, propostas no item 3.1.

O primeiro elemento destacado foi a distribuição de atividades por fase do DMAIC. Esse *layout* permitiu associar o que estava acontecendo em cada fase do DMAIC e foi uma prática adotada por 85% dos trabalhos que trouxeram um *framework* integrado. O segundo elemento destacado foi a maneira como alguns trabalhos detalharam a execução de um projeto de SED, deixando bem claro o que era feito e como era feito. O terceiro ponto segue a mesma linha de raciocínio que o segundo elemento, mas agora no que se refere ao LSS. O quarto elemento destacado são as ênfases que foram dadas as ferramentas durante a execução dos projetos. Alguns trabalhos chegaram a utilizar e citar 11 ferramentas diferentes. O quinto elemento se refere aos conceitos da SED que foram abordados no capítulo 2, um trabalho trouxe de forma bem didática a maneira como seguiu as etapas de um projeto de SED. O sexto elemento tem a mesma lógica que o quinto, mas no que se refere ao LSS. Por último, mas não menos importante, o sétimo elemento se refere a alguns trabalhos que executaram, ainda que de maneira simplificada, os dois métodos de forma paralela, não esperando um determinado momento para utilizar a simulação ou uma ferramenta de LSS.

## 4. PROPOSTA DO *FRAMEWORK*

Este tópico tem como objetivo reunir todos os resultados das análises feitas até aqui e associá-los, de forma útil, para que facilitem a condução de trabalhos que integrem SED e LSS.

A ideia para propor o *framework* foi analisar as fases/etapas, tanto de SED quanto LSS, e perceber o quanto de similaridade elas possuíam. Entender como as fases do DMAIC se encaixariam nas fases da SED, ou vice-versa, quais ferramentas e conceitos do LSS poderiam auxiliar na execução das fases da SED, e se seria possível executar em um mesmo projeto, os dois métodos de forma paralela, utilizando as informações que fossem comuns de maneira que se complementassem.

Baseado nesses propósitos, os dois métodos foram colocados lado a lado e seus conceitos foram comparados. Em um primeiro momento, por meio da RSL realizada, foram buscados os embasamentos teóricos que os dois métodos apresentavam para descobrir quais conceitos, das etapas de construção do modelo de SED, têm objetivos comuns as fases do DMAIC. Foram encontrados na literatura elementos suficientes para que essa comparação fosse realizada. Optou-se pelos conceitos definidos na seção 2.1.3, por Montevechi *et al.* (2007) e Montevechi *et al.* (2010), como referência para a SED, e os definidos na seção 2.2.2, definidos por Pyzdek e Keller (2010), como referência para o LSS-DMAIC.

A Figura 4.1 ilustra os conceitos de Montevechi *et al.* (2007) e Montevechi *et al.* (2010) na forma de atividades sequenciais.

<b>Grande fase de Concepção</b>	
1	Objetivos e definição do sistema
2	Construção do modelo conceitual
3	Validação do modelo conceitual
4	Documentação do modelo conceitual
5	Modelagem dos dados de entrada
<b>Grande fase de Implementação</b>	
6	Construção do modelo computacional
7	Verificação do modelo computacional
8	Validação do modelo computacional
<b>Grande fase de Análise</b>	
9	Definição do projeto experimental
10	Execução dos experimentos
11	Análise estatística
12	Conclusões e recomendações

Figura 4.1 – Etapas de condução da SED

Fonte: adaptado de Montevechi *et al.* (2010)

A Figura 4.2 traz os critérios utilizados por Pyzdek e Keller (2010).

<i>Define</i>	
a	Definição do escopo do projeto, objetivos e cronogramas
b	Definição do processo de forma holística e seus envolvidos
c	Seleção dos membros do time
d	Obtenção de autorização da alta gerência ( <i>sponsors</i> )
e	Reunião e treinamento da equipe
<i>Measure</i>	
f	Definição do processo
g	Definição das métricas que serão utilizadas
h	Estabelecimento do <i>baseline</i> do processo
i	Avaliação/Medição do sistema/processo existente
<i>Analyze</i>	
j	Análise do fluxo de valor do processo
k	Análise das fontes de variações do processo
l	Determinação das etapas críticas do processo
m	Comparativo da diferença entre: estado atual x estado futuro
<i>Improve</i>	
n	Priorização de oportunidades de melhoria
o	Definição de novos processos ou projetos de produto
p	Otimização das configurações de processos/produtos
q	Avaliação de riscos e possíveis falhas
<i>Control</i>	
r	Validação quanto aos objetivos buscados
s	Desenvolvimento e implementação do plano de controle
t	Documentação das lições aprendidas
u	Aprovação de entregáveis

Figura 4.2 – Critérios do LSS-DMAIC

Fonte: adaptado de Pyzdek e Keller (2010)

A associação dos conceitos será representada pelo cruzamento dos números que acompanham as etapas da SED (Figura 4.1) com as letras que acompanham os critérios do LSS-DMAIC (Figura 4.2).

Em adição a isso, algumas das ferramentas elencadas no item 3.4.7 serão sugeridas para essas associações, podendo ser um dos meios para a realização das atividades conjuntas.

A primeira associação é dada por (1; a, b, c, d, e). É de entendimento do autor que tanto na SED quanto no LSS-DMAIC, a definição do problema é o ponto de partida dos projetos. Para a definição do problema é necessário um time de pessoas que representem todas as áreas envolvidas, direta e indiretamente, e que sejam capazes de contribuir com detalhes, tanto de

seus processos quanto da forma que são afetados por este problema. Com o apoio da alta gerência, eles precisam definir quanto de tempo e recursos serão investidos nesse problema, quais as fronteiras e especificações do projeto e quem serão os responsáveis pelas ações de melhoria. Definidos esses pontos, caso haja outros participantes, os integrantes do time retornam para as suas áreas e comunicam os mesmos que um projeto será executado e que a participação e o engajamento de todos é muito importante para o sucesso do projeto. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas para esta etapa são: Contrato de projeto (*Project charter*) e Análise de *stakeholders* para as definições do projeto e seus envolvidos; Voz do cliente (VoC), *Brainstorming* e Diagrama de Ishikawa para definir o problema e potenciais causas raízes, visando a redução de cenários para testes na grande fase de Análise.

A segunda associação é dada por (2; c, f). A construção do modelo conceitual exige conhecimento de especialistas da área e em casos mais complexos de especialistas dos processos, uma vez que, em boa parte dos projetos de simulação, o profissional de simulação é externo e não tem o conhecimento do funcionamento da empresa. Com o auxílio dessas pessoas, esse profissional é capaz de coletar informações do processo e entender a sequência das atividades e seus desdobramentos. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas para esta etapa são: Observação do sistema, para uma noção geral; SIPOC, para um mapeamento macro dos processos; e *P-map* e VSM, para um mapeamento mais detalhado dos processos.

A terceira associação é dada por (3; e, f). O entendimento que o profissional de simulação teve do processo observado precisa coincidir com o processo real, para isso o mapeamento que foi feito é apresentado aos especialistas dos processos e estes validam ou sugerem correções no material apresentado. A ferramenta mapeada na RSL e sugerida para esta etapa é o VSM (*Value stream mapping*), para comparar o modelo conceitual com o mapa de fluxo de valor.

A quarta associação é dada por (4; g). Para a documentação do modelo conceitual é necessário o registro das métricas, que serão utilizadas para avaliar e construir o modelo de SED.

A quinta associação é dada por (5; g, h, i). Os dados serão coletados conforme as métricas definidas e à medida que forem sendo tratados e ajustados essas informações vão sendo validadas e a versão final se torna o *baseline*. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas para esta etapa são: Análise de tempos e movimentos para coleta de dados, Estratificação e Estatística Descritiva para tratamento dos dados; Análise de Capacidade e Cartas de controle (*Control chart*) para Avaliação/Medição do sistema/processo existente.

A sexta associação é dada por (6; j, k). Durante a construção do modelo computacional é possível avaliar os processos e tentar compreender quais etapas agregam valor, quais não agregam, mas são necessárias e quais não agregam valor nenhum. A ferramenta mapeada na RSL e sugerida aqui é o 5 Porquês, para questionar a existência das atividades/processos.

A sétima associação é dada por (7; l). Ao verificar se as etapas do modelo estão corretas, é possível conferir se os CTQ (*Critical to Quality*), CTS (*Critical to Satisfaction*) e CTC (*Critical to Cost*) estão correspondendo às expectativas. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas aqui são: Análise da base de dados, para avaliar as informações de interesses referentes a estes elementos críticos; e ferramentas de modelagem de processo (SIPOC, *P-map* e VSM).

A oitava associação é dada por (8; j, k, m). Com o modelo validado por meio de um teste estatístico, é possível fazer a análise do fluxo de valor em definitivo, perceber quais processos estão sendo insuficientes, o valor dessa insuficiência, e quais as possíveis causas para que isso esteja acontecendo. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas aqui são: Teste de hipóteses para a validação do modelo de simulação; *Brainstorming* e Diagrama de Ishikawa, para tentar encontrar a causa raiz do problema; e Análise de Capacidade, para verificar se o processo é capaz de produzir conforme as especificações.

A nona associação é dada por (9; a, k). A definição do projeto experimental será influenciada pelas reuniões de definição do problema. Os experimentos a serem realizados não podem ser aleatórios e precisam caminhar na direção dos *insights* obtidos nas reuniões com os especialistas das áreas. Esses experimentos testarão mudanças nos CTQ/CTS/CTC baseadas nas causas potenciais do problema. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas aqui são: *Brainstorming*, para obter o máximo de ideias possíveis para os cenários de teste; Diagrama de Ishikawa, para relacionar causa e consequência; Gráfico de Pareto nos CTQ/CTS/CTC, para ranquear a ordem de execução dos experimentos; DOE (*Design of experiments*) caso aplicável, para quantificar exatamente o nível de alteração nas variáveis de interesse.

A décima associação é dada por (10; m, n). Ao executar os experimentos com as mudanças sugeridas, é possível perceber as diferenças nos resultados do modelo. No caso de haver mais de uma alteração que tenha resultado em melhoria, serão necessárias priorizações e ranqueamentos das alterações. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas aqui são: Estudo piloto, para testar as mudanças e perceber se os parâmetros estão corretos antes de rodar as replicações do modelo computacional; Análise de Capacidade, para entender se o processo se tornou ou deixou de ser capaz; Gráfico de Pareto para ranquear as mudanças mais relevantes.

A décima primeira associação é dada por (11; n, o, p, q). A Análise estatística constata se as mudanças geradas pelas alterações das variáveis são estatisticamente significativas (validação de causa raiz) e averigua se essas alterações foram oriundas de novos processos/produtos ou da otimização dos existentes. Em caso de novos processos/produtos é preciso avaliar os riscos e as possíveis falhas que estão associados a eles. No caso de mais de uma alteração significativa, um critério de priorização deverá ser escolhido para selecionar a melhor alternativa. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas aqui são: Teste de hipóteses, para entender se as mudanças nos resultados são estatisticamente significativas; FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) para antecipar reações a cenários problemáticos; DOE e Gráfico de Pareto, para elencar e priorizar as mudanças mais significativas.

A décima segunda, e última associação é dada por (12; r, s, t, u). Na etapa de Conclusões e recomendações, é importante deixar claro para o cliente os possíveis riscos e falhas associados as mudanças e as contra medidas para agir em caso de necessidade, evidenciar que os objetivos definidos no início do projeto conseguem ser alcançados por meio das mudanças, criar planos de controle para garantir que esses resultados alcançados se mantenham pelo cumprimento das métricas estabelecidas, ter todos os passos devidamente registrados em documentos para facilitar ações futuras, validar que os objetivos propostos no início do projeto foram cumpridos, e finalmente, entregar o projeto para os clientes. As ferramentas mapeadas na RSL e sugeridas aqui são: FMEA, para ilustrar possíveis problemas e formas de lidar com eles; Cartas de controle (*Control chart*), para monitorar os processos e averiguar se tudo corre conforme o esperado; Documentação detalhada, para manter o registro de tudo que foi feito ao longo do projeto e permitir o fácil acesso às informações sempre que necessário.

De maneira a facilitar a visualização dessas associações, o Quadro 5.1 foi construído e nele estão resumidos os resultados das associações entre SED, LSS e suas ferramentas. Foi possível observar que muitos dos conceitos de SED e LSS tinham objetivos similares e que nenhuma das etapas ficou sem associação, mas duas ficaram sem sugestão de ferramentas, pois eram atividades voltadas para a modelagem e simulação.

Ficou claro que é possível executar os dois métodos de forma paralela, pois as informações que servem para um método, são as mesmas que servem para o outro, variando as vezes os momentos em que são utilizadas.

Quadro 4.1 – Relação SED x LSS-DMAIC x Ferramentas LSS

SED	LSS-DMAIC	Ferramentas sugeridas
1	a, b, c, d, e	<i>Project charter</i> , Análise de <i>stakeholders</i>
2	c, f	Observação do sistema, SIPOC, P-map, VSM
3	e, f	VSM
4	g	-
5	g, h, i	Análise de tempos e movimentos, Estratificação, Estatística Descritiva, Análise de Capacidade, Cartas de controle
6	j, k	5 Porquês
7	l	Análise da base de dados, SIPOC, <i>P-map</i> , VSM
8	j, k, m	Teste de hipóteses, <i>Brainstorming</i> , Diagrama de Ishikawa, Análise de Capacidade
9	a, k	<i>Brainstorming</i> , Diagrama de Ishikawa, Gráfico de Pareto, DOE
10	m, n	Análise de Capacidade, Gráfico de Pareto, Estudo piloto
11	n, o, p	Teste de hipóteses, FMEA, DOE, Gráfico de Pareto
12	q, r, s, t, u	Documentação detalhada, <i>Control chart</i> , FMEA

Fonte: elaborado pelo autor

Com o Quadro 4.1 é possível perceber que todos os critérios mencionados em *Define* e *Measure* estão inseridos na Grande fase de Concepção, todos os critérios mencionados em *Analyze* estão inseridos na Grande fase de Implementação e todos os critérios mencionados em *Improve* e *Control* estão inseridos na Grande fase de Análise. Essas associações apresentam bons indícios de alinhamento, conforme mencionado no item 1.1 (Contextualização). Todas essas correlações serão usadas na construção do *framework* para desenvolver seu *layout*.

#### 4.1. Primeira versão do *Framework* para condução de projetos de SED integrando LSS

O *framework* integrado apresentará apenas as interações entre SED e LSS-DMAIC, pois o autor entende, que as ferramentas LSS, que podem ser utilizadas podem variar de acordo com a complexidade dos projetos, e por isso não farão parte do *framework* proposto, ficando então a cargo de quem vai executar o projeto, selecionar as ferramentas mais adequadas. Todavia, as ferramentas sugeridas foram todas retiradas dos trabalhos que utilizaram SED e LSS, de forma integrada, e podem ser uma boa alternativa na execução dos projetos.

O *framework* foi dividido nas cinco fases do DMAIC, possui as etapas de condução de um projeto de SED, dispostas em forma de fluxograma, na cor verde, e os critérios para avanço de fase do DMAIC, na cor azul. As caixas, com as atividades do projeto de SED, são acompanhadas por letras que representam as etapas do LSS que podem ser executadas ao



mesmo tempo que aquela atividade. As atividades do LSS que aparecem mais de uma vez dentro das caixas verdes não significam que precisam ser realizadas novamente, o mais provável é que alguma informação referente àquela atividade tenha sido requerida, e por isso, ela foi citada de novo.

O *layout* do *framework* foi desenvolvido da seguinte forma: percentual de atividades mencionadas por Pyzdek e Keller (2010), para avanço de fase dentro do DMAIC, associadas as etapas mencionadas por Montevechi *et al.* (2015). Por exemplo: cinco atividades do DMAIC foram associadas a Etapa 1 do desenvolvimento de um projeto de SED, como todas essas atividades pertenciam a fase de *Define*, a Etapa 1 foi alocada 100% na raia '*Define*'. Duas atividades do DMAIC foram associadas a Etapa 2 do desenvolvimento de um projeto de SED, como metade das atividades pertenciam a fase de *Define* e a outra metade pertencia a fase de *Measure*, a Etapa 2 foi alocada entre a raia de '*Define*' e '*Measure*'. Esse raciocínio se estendeu para todas as etapas do *framework*.

A primeira atividade do projeto de SED é feita junto a fase de *Define*, as atividades 2 e 3 começam em *Define* e terminam em *Measure*, já que possuem elementos das duas fases. As atividades 4 e 5 são todas feitas na fase de *Measure*, as atividades de 6 a 9 são todas realizadas na fase de *Analyze*, a atividade 10 se inicia na fase de *Analyze* e finaliza em *Improve*, a atividade 11 é toda feita em *Improve* e a atividade 12 tem 20% das ações realizadas em *Improve* e 80% em *Control*. A Figura 5.3 exibe o *framework* proposto inicialmente com base nas informações reunidas até aqui.

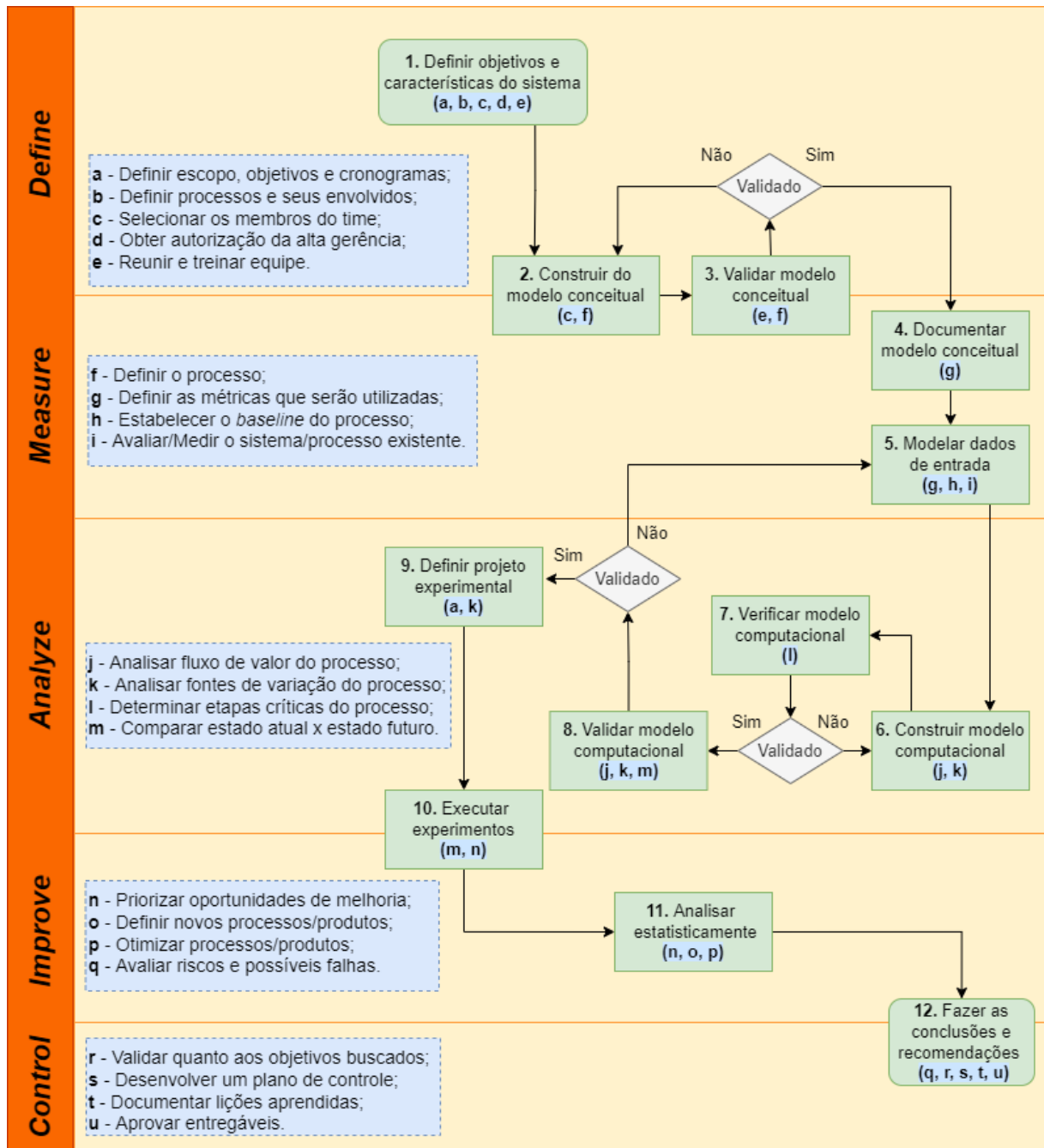


Figura 4.3 – Primeira versão do *Framework* para condução de projetos de SED integrando LSS

Fonte: elaborado pelo autor

O próximo passo deste trabalho é submeter a primeira versão do *framework* a opinião de especialistas, nas áreas de Simulação e LSS, e com os resultados encontrados, realizar uma análise de significância estatística baseada no grau de concordância em relação as associações de atividades LSS x SED propostas no *framework*.

## 5. ANÁLISE, AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DO FRAMEWORK

Após o desenvolvimento inicial do *framework*, ocorreu uma validação por meio de consulta a especialistas das áreas de Simulação e LSS. Foram elaboradas perguntas (APÊNDICE A) para medir o nível de concordância ou discordância em relação às associações propostas. O processo de pesquisa foi conduzido utilizando o *Google Forms*, em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), garantindo a anonimidade dos participantes. O questionário foi respondido por 23 avaliadores e suas respostas foram analisadas e submetidas a testes estatísticos para validação.

Antes de disponibilizar o formulário aos participantes, este foi pré-testado com um grupo de professores e pós-graduandos, com o objetivo de avaliar a clareza e a organização das perguntas. Os *feedbacks* foram coletados e as alterações solicitadas pelo grupo foram analisadas e incorporadas ao formulário. Após essa etapa, o formulário foi enviado aos especialistas.

Os avaliadores foram selecionados em bases diversificadas. Os critérios de seleção foram: publicações acadêmicas e/ou experiência na área para os especialistas em Simulação (SIM) e formação *Black Belt* para os especialistas em LSS.

O início do formulário incluiu um breve resumo do trabalho, explicando a proposta, os conceitos de SED associados aos conceitos de LSS e as lógicas subjacentes a essas associações. Em seguida eram solicitadas algumas informações sobre quais áreas os avaliadores tinham mais afinidade o tempo de experiência naquela área, essas informações são exibidas na Figura 5.1.

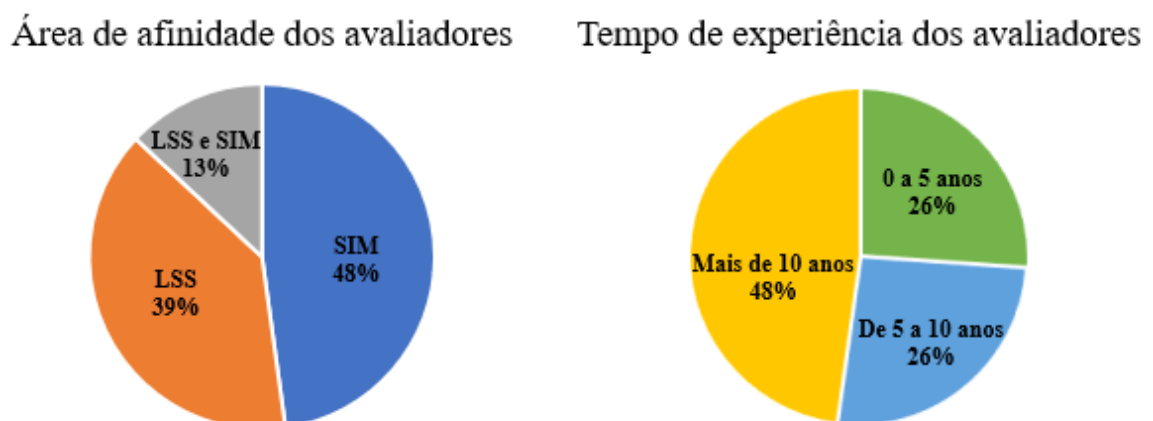


Figura 5.1 – Áreas de afinidade e tempo de experiência dos avaliadores

Fonte: elaborado pelo autor

Ao todo foram feitas 12 perguntas referentes as associações nas etapas do *framework* inicial e 11 referentes as ferramentas sugeridas, a Etapa 4 não teve nenhuma sugestão de ferramenta. As respostas foram obtidas por meio de uma escala *Likert* de cinco pontos, sendo: ‘concordo totalmente’ equivalente a 100% de concordância, seguido de ‘concordo parcialmente’, ‘não concordo nem discordo’, equivalente a uma opinião neutra, ‘discordo parcialmente’, e ‘discordo totalmente’, sendo equivalente a 0% de concordância. A figura 5.2 contém os gráficos com as respostas referentes as associações das etapas do *framework* inicial de 1 a 6 e a figura 5.3 contém os gráficos dos resultados referentes as associações das etapas de 7 a 12.

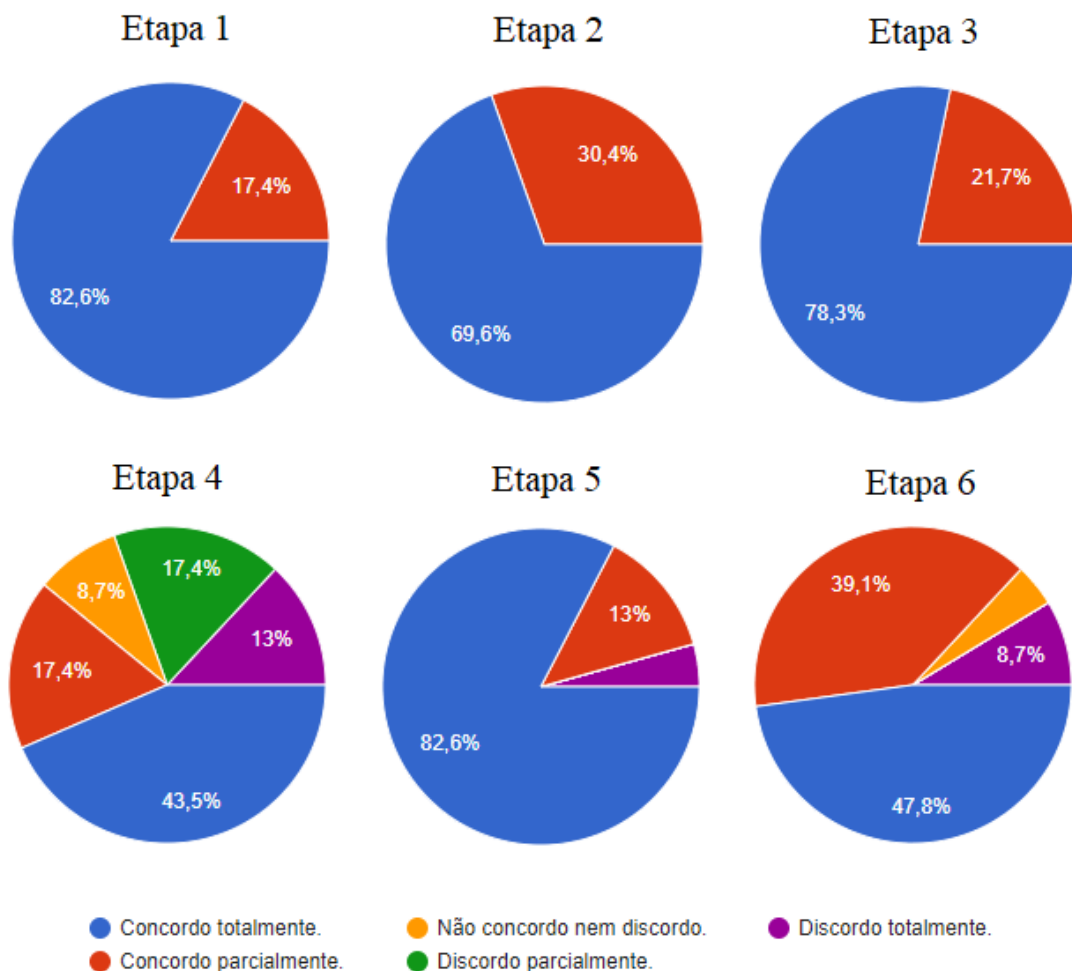


Figura 5.2 – Nível de concordância dos especialistas (Etapas de 1 a 6)

Fonte: elaborado pelo autor

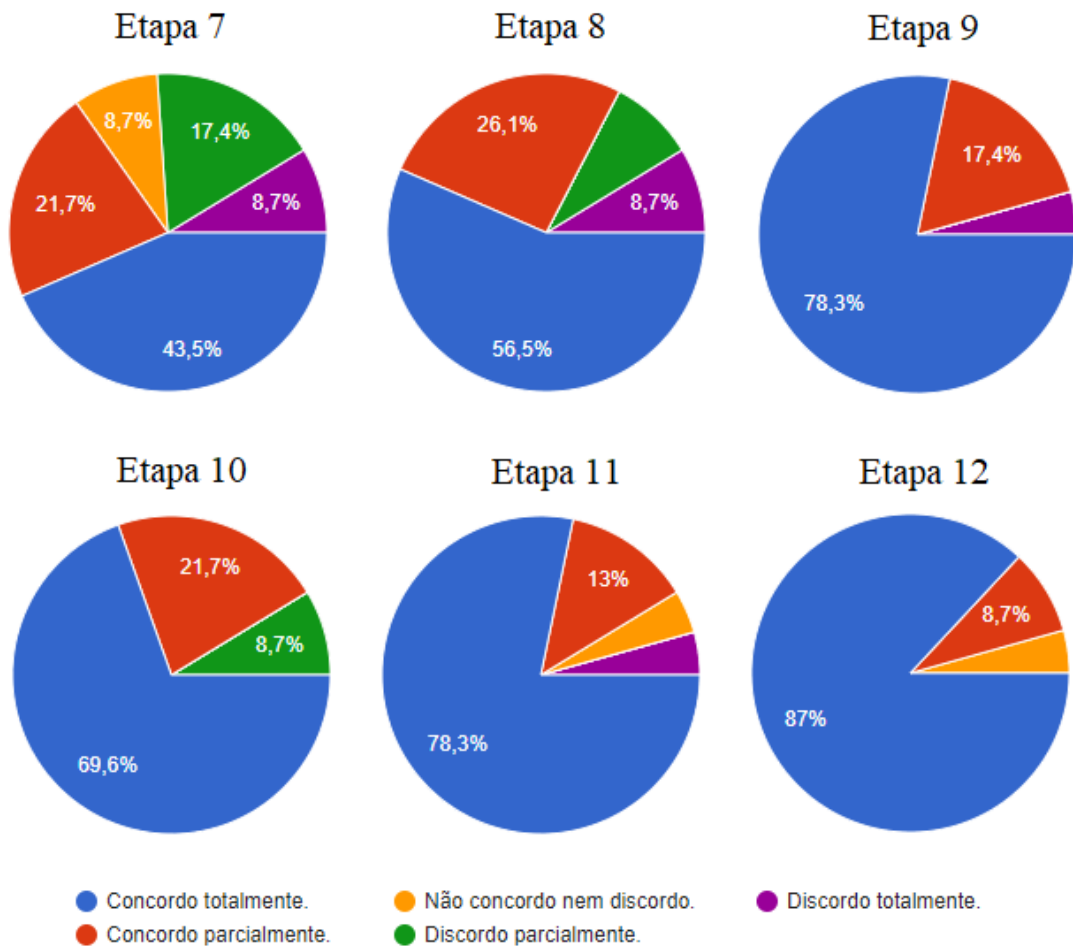


Figura 5.3 – Nível de concordância dos especialistas (Etapas de 7 a 12)

Fonte: elaborado pelo autor

Alguns resultados apresentaram mais homogeneidade do que os outros, como foram os casos das etapas 1, 2 e 3, com apenas dois tipos de respostas. Outros casos como as etapas 4 e 7 apresentaram uma diversidade maior.

Mesmo havendo cinco tipos possíveis de respostas, para a validação do *framework* inicial foram consideradas apenas as respostas que apresentaram algum tipo de concordância com o que foi proposto, portanto as respostas ‘Concordo totalmente’ e ‘Concordo parcialmente’ foram consideradas sucesso e as demais respostas foram consideradas insucesso. Com base nessa premissa os dados foram tratados e convertidos de maneira que representassem essa nova abordagem. A Tabela 5.1 mostra como os resultados foram interpretados.

Tabela 5.1 – Indicativo dos avaliadores de concordância por etapa

Etapa	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Sucessos	Percentual
1	19	4	23	100%
2	16	7	23	100%
3	18	5	23	100%
4	10	4	14	61%
5	19	3	22	96%
6	11	9	20	87%
7	10	5	15	65%
8	13	6	19	83%
9	18	4	22	96%
10	16	5	21	91%
11	18	3	21	91%
12	20	2	22	96%

Fonte: elaborado pelo autor

Em uma primeira análise é possível perceber que os menores percentuais foram registrados para as etapas 4, 7 e 8, e os maiores para as etapas 1, 2 e 3. Esses resultados por si só não garantem significância, daí então a importância de submetê-los a um teste estatístico. Com a nova premissa assumida as respostas tornaram-se dicotômicas, com isso foi possível a utilização de um teste estatístico binomial que permitiu determinar se a proporção de sucessos observada na amostra era significativamente maior que o valor 0,7 especificado.

O teste de hipóteses foi aplicado e teve como hipótese nula valores menores ou iguais a 70% e como hipótese alternativa valores maiores que 70%. Para a validação das etapas são interessantes os casos que apresentaram evidências estatísticas suficientes para que a hipótese nula fosse rejeitada, ou seja, valor-p menor ou igual a 0,05, isso implica em dizer que os resultados dessa pesquisa apresentam fortes indícios estatísticos sobre a representação da opinião de mais de 70% da população de especialistas. O APÊNDICE B mostra os testes estatísticos que foram realizados. Nele estão contidos os resultados das etapas que apresentaram relevância estatística para a pesquisa, ou seja, valor-p menor do que 0,05. Essas etapas foram: 1, 2, 3, 5, 9, 10, 11 e 12.

Esses resultados são importantes para validar as etapas no *framework* proposto e reforçar que as associações feitas as fases de um projeto LSS de fato são relevantes e podem contribuir para a resolução de problemas.

Nem todas as etapas obtiveram essa validação, conforme mostra o APÊNDICE C. As etapas 4, 6, 7 e 8 que se referem a Documentar o modelo conceitual, Construir o modelo computacional, Verificar o modelo computacional e Validar o modelo computacional, respectivamente, não apresentaram relevância estatística para esta pesquisa, pois apresentaram

um valor-p superior a 0,05 e, portanto, terão suas associações de atividades retiradas do *framework*. Estes resultados não tornam as associações incorretas, podendo ser um indício de que para estas etapas, somente as atividades de SED existentes sejam suficientes para conduzir um projeto que integre SED e LSS, não sendo necessário nenhuma associação com atividades ou conceitos do LSS. Essa hipótese vai de encontro com as suspeitas levantadas no início do trabalho, onde considerou-se que os métodos de modelagem e simulação apresentam maior robustez na grande fase de Implementação, que se traduz pela elaboração, construção e validação de um modelo computacional.

De modo a facilitar a visualização, a Tabela 5.2 mostra os valores-p e relevância estatística por etapas do *framework*.

Tabela 5.2 – Valor-p e relevância estatística por etapa

Etapa	Associações LSS	Valor-p	Relevância Estatística
1	a, b, c, d, e	0,000	Sim
2	c, f	0,000	Sim
3	e, f	0,000	Sim
4	g	0,880	Não
5	g, h, i	0,003	Sim
6	j, k	0,054	Não
7	l	0,771	Não
8	j, k, m	0,136	Não
9	a, k	0,003	Sim
10	m, n	0,016	Sim
11	n, o, p	0,016	Sim
12	q, r, s, t, u	0,003	Sim

Fonte: elaborado pelo autor

A mesma lógica de testes foi aplicada as ferramentas utilizadas no LSS que foram associadas a cada etapa. Como as ferramentas são apenas sugestões do autor e não farão parte do *framework* proposto a maioria das informações referente a seus resultados serão omitidas, exceto os valores-p e significância estatística das ferramentas por etapa, conforme mostra a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Valor-p e relevância estatística das ferramentas sugeridas por etapa

Etapa	Ferramentas sugeridas	Valor-p	Relevância Estatística
1	<i>Project charter</i> , Análise de <i>stakeholders</i>	0,016	Sim
2	Observação do sistema, SIPOC, P-map, VSM	0,003	Sim
3	VSM	0,269	Não
4	-	-	-
5	Análise de tempos e movimentos, Estratificação, Estatística Descritiva, Análise de Capacidade, Cartas de controle	0,000	Sim
6	5 Porquês	0,771	Não
7	Análise da base de dados, SIPOC, <i>P-map</i> , VSM	0,269	Não
8	Teste de hipóteses, <i>Brainstorming</i> , Diagrama de Ishikawa, Análise de Capacidade	0,003	Sim
9	<i>Brainstorming</i> , Diagrama de Ishikawa, Gráfico de Pareto, DOE	0,000	Sim
10	Análise de Capacidade, Gráfico de Pareto, Estudo piloto	0,003	Sim
11	Teste de hipóteses, FMEA, DOE, Gráfico de Pareto	0,000	Sim
12	Documentação detalhada, <i>Control chart</i> , FMEA	0,003	Sim

Fonte: elaborado pelo autor

As ferramentas consideradas estatisticamente significativas foram as associadas as etapas 1, 2, 5, 8, 9, 10, 11 e 12. As que não tiveram significância estatística foram as etapas 3, 6 e 7, que correspondem a Validar o modelo conceitual, Construir o modelo computacional e Verificar o modelo computacional, respectivamente.

A Etapa 8, Validar o modelo computacional, não teve significância estatística nas associações das atividades de LSS a SED, mas teve nas ferramentas associadas a ela. Isso pode ter acontecido visto que Teste de Hipóteses, *Brainstorming*, Diagrama de Ishikawa e Análise de Capacidade não são ferramentas exclusivas do LSS e são amplamente utilizadas em diversos âmbitos.

Esses resultados mostram que os usos dessas ferramentas podem tornar as etapas de construção de um modelo de SED muito mais assertivas, ampliando as possibilidades de explorar um objeto de estudo e seus indicadores e tornando mais robusta a análise e interpretação de seus resultados.



## 5.1. *Framework* para condução de projetos de SED integrando LSS

De posse das novas informações, da avaliação dos especialistas e da validação dos resultados, um novo *framework* foi feito contemplando as etapas e associações com significância estatística, como mostra a Figura 5.4.

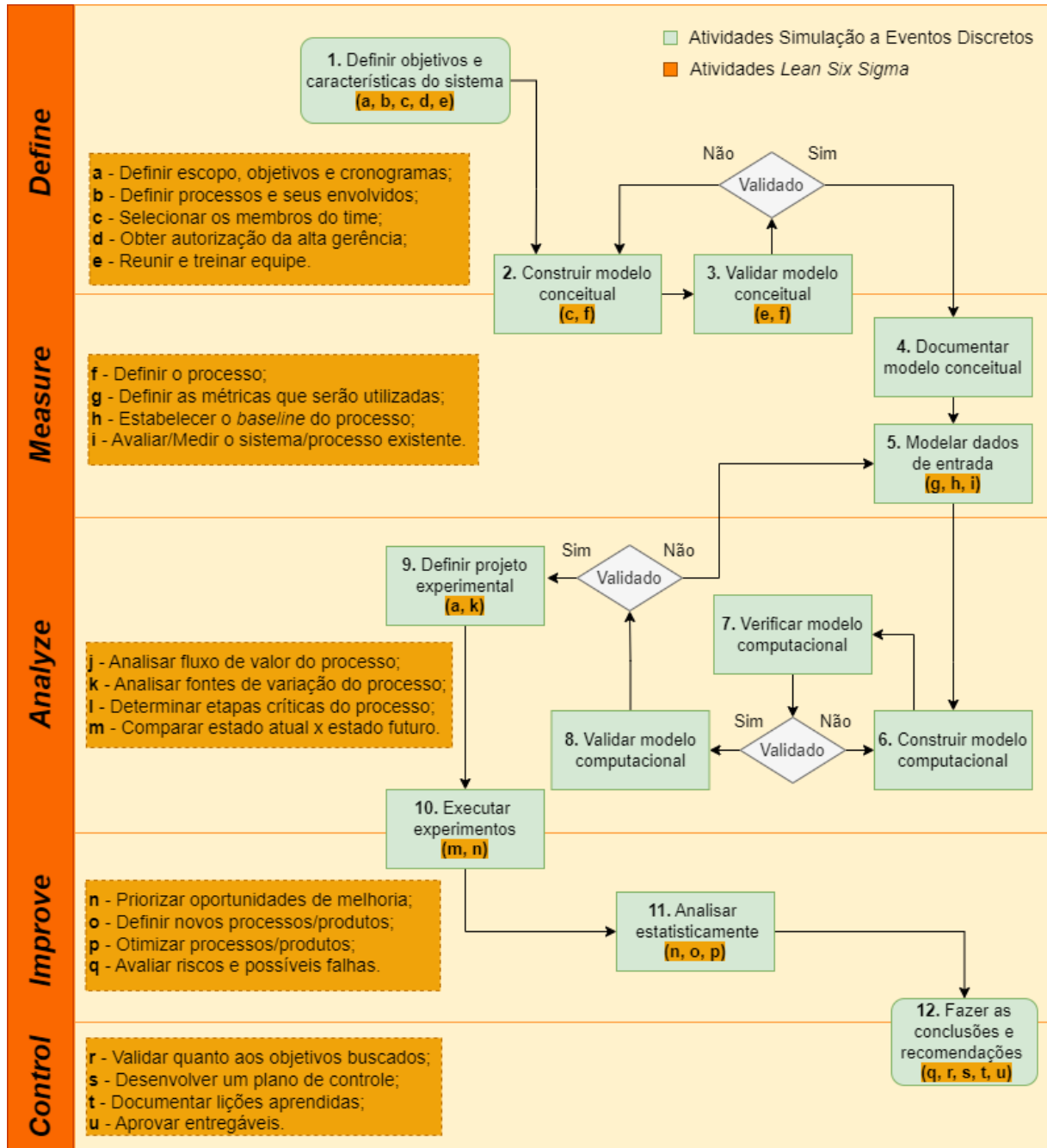


Figura 5.4 – *Framework* para condução de projetos de SED integrando LSS

Fonte: elaborado pelo autor

O novo *framework* possui as mesmas 12 etapas de um projeto de SED, mas apenas oito dessas etapas trazem associações de conceitos LSS. Por fim, recebeu novas cores para as atividades LSS de forma a ressaltar que as letras, dentro das caixas que contém as etapas de SED, fazem referência a essas atividades, conforme sugeriu um dos especialistas.

Embora tenham sido validadas estatisticamente, as ferramentas mapeadas na RSL não serão incorporadas ao *framework* proposto, pois podem variar de acordo com a complexidade de cada projeto e fixá-las às etapas não seria justificável, dado que o objetivo do *framework* é atender a projetos de Simulação a Eventos Discretos e *Lean Six Sigma* de forma abrangente. Sendo assim, a partir desta validação inicial, o referido *framework* pode ser aplicado a objetos de estudo e então ser posto à prova quanto a sua real eficiência.

## 6. CONCLUSÕES

Apesar da ampla aplicabilidade e das inúmeras publicações sobre SED, nota-se que a maioria dos métodos de modelagem e simulação foram elaborados baseados principalmente na construção de modelos computacionais. A literatura indica que, as etapas que contém as atividades referentes a construção de um modelo computacional se mostram muito mais sólidas do que as outras. Nesse contexto, destaca-se a simplicidade das etapas que antecedem e sucedem a construção de um modelo computacional. Os métodos de modelagem e simulação existentes fornecem diretrizes do que deve ser feito, mas não detalham a maneira de fazer, deixando a cargo do profissional de simulação a *expertise* de definição, análise e interpretação do problema.

Considerando essa lacuna apresentada na literatura identificou-se a oportunidade de criar um *framework* que integrasse, nas etapas de projetos de SED, os conceitos e atividades utilizadas no LSS, que é um método robusto de análise e resolução de problemas. Este é um tema que tem se popularizado entre os autores e apresenta uma tendência de crescimento nas publicações acadêmicas nos últimos anos.

Para que se cumprisse esse objetivo, foi realizada uma revisão sistemática de literatura, em seis bases de dados, buscando trabalhos que abordavam de forma conjunta SED e LSS. Os resultados forneceram 25 artigos que atendiam aos critérios de seleção e para a leitura desses, foram criadas questões de pesquisas que nortearam as análises realizadas. O objetivo dessas questões visava reunir informações no sentido de entender o estado da arte a respeito dos temas abordados, descobrir como ocorreu a integração entre SED e LSS, a forma como LSS e o DMAIC foram utilizados, quais as ferramentas envolvidas nesse processo, em quais fases do

DMAIC os modelos de SED foram aplicados, e por fim, os principais elementos encontrados em trabalhos, que apresentavam algum tipo de *framework*.

Essa última questão de pesquisa tinha como um de seus objetivos saber se algum dos trabalhos selecionados apresentava a proposta feita por esta dissertação, que é a de construir um *framework* integrando LSS a SED, de maneira que os dois métodos fossem executados em um mesmo projeto, de forma complementar. Nada foi encontrado ao nível de detalhe que este estudo propõe. Alguns trabalhos davam mais ênfase ao método de SED e outros ao LSS. Então, para que o *framework* fosse criado, era necessário descobrir quais tendências ou melhores práticas estavam sendo utilizadas em cada método, e isso foi abordado pelas demais questões de pesquisa, que forneceram *insights* para *layout*, exibição de conceitos e agrupamentos de atividades, por exemplo.

No que se refere a SED, as análises foram feitas baseadas no método proposto por Montevechi *et al.* (2015), que divide as etapas de um projeto de modelagem e simulação em três grandes fases: Concepção, Implementação e Análise. Essas fases são um conjunto de atividades que tem por objetivo: definir o escopo do projeto, criar um modelo conceitual, transformar o modelo conceitual em modelo computacional, executar experimentos e analisar seus resultados. Já as análises referentes ao LSS foram feitas com base no método proposto por Pyzdek e Keller (2010), que determina atividades-chaves para o avanço de fases dentro da estrutura DMAIC e as principais ferramentas utilizadas para isso.

Os resultados das análises serviram para propor uma versão inicial do *framework*. Para isso, os conceitos de ambos os métodos foram colocados lado a lado e então associados por similaridade de objetivos. As etapas do projeto de SED foram enquadradas dentro da estrutura DMAIC e as atividades referentes ao LSS foram incorporadas a cada etapa do projeto de SED, de maneira que fosse possível relacionar a etapa do projeto de SED, com a fase DMAIC e as atividades sugeridas pertinentes a essa fase. É válido ressaltar, que as ferramentas também foram associadas as fases e etapas, mas não foram incorporadas ao *framework* pois o autor entende que cada projeto pode necessitar de ferramentas diferentes, dependendo do seu nível de complexidade, portanto não faria sentido defini-las no *framework*.

Sugeridas as atividades para as grandes fases de Concepção, Implementação e Análise, bastava então saber se essas associações faziam sentido para outros profissionais e se possuíam significância do ponto de vista estatístico. Dessa forma, foram selecionados especialistas das áreas de LSS e de SED para avaliarem o *framework* proposto, essa avaliação foi feita por meio de um questionário criado no *Google Forms*. Esse formulário continha perguntas referentes ao nível de concordância das associações feitas para as atividades e as ferramentas.

De posse das respostas, os dados foram tratados e submetidos a testes estatísticos, com a finalidade de validar as associações feitas em cada etapa. Os resultados mostraram que 33% das associações de atividades não tiveram significância estatística. As etapas sem essa significância foram: Etapa 4 (Documentar modelo conceitual) na grande fase de Concepção, e as Etapas 6 (Construir modelo computacional), Etapa 7 (Verificar modelo computacional) e Etapa 8 (Validar modelo conceitual), na grande fase de Implementação. A falta de significância estatística para essas etapas não significa que as associações feitas estão erradas, mas podem indicar que as próprias atividades de um projeto de SED podem ser suficientes naquelas fases, não sendo necessário complementos, portanto foram mantidas assim na versão final do *framework*. Esse resultado vai de encontro com a hipótese levantada no início do trabalho, de que as etapas que compreendem as atividades referentes a construção, verificação e validação de um modelo computacional (grande fase de Implementação) são as mais robustas em projetos de modelagem e simulação.

Com isso, conclui-se que as sugestões de atividades LSS dadas as fases de Definição do problema e seus indicadores (grande fase de Concepção) e Análise e interpretação dos resultados (grande fase de Análise) foram bem recebidas pela comunidade e se mostram potencialmente úteis na execução de projetos de SED. Dessa forma, o *framework* final foi construído mantendo as associações LSS feitas nas etapas 1, 2, 3, 5, 9, 10, 11, 12 e deixando apenas as atividades referentes a SED nas etapas 4, 6, 7 e 8.

Em relação as ferramentas mapeadas na RSL, os resultados mostraram que existe uma diferença de escolha quando o foco dos projetos é apenas LSS e quando o foco é LSS e SED. O Quadro 2.2 de Antony *et al.* (2018), exibe um ranqueamento das ferramentas utilizadas em projetos LSS. Todos os primeiros colocados diferem das ferramentas ranqueadas por este estudo, com exceção da fase *Analyze*. Em *Define*, tem-se: P-map (Quadro 2.2) e *Project Charter* (RSL). Em *Measure*, tem-se: Coleta de Dados (Quadro 2.2) e P-map (RSL). Em *Analyze*, tem-se: gráfico de Pareto (Quadro 2.2) e gráfico de Pareto/diagrama de Ishikawa/*Brainstorming* (RSL). Em *Improve*, tem-se: *Brainstorming* (Quadro 2.2) e DOE (RSL). E, finalmente, em *Control*: Monitoramento e Plano de controle (Quadro 2.2) e *Control Chart* (RSL). Nesse sentido, conclui-se que, ainda que as ferramentas se assemelhem, os projetos que integram LSS e SED priorizam ferramentas diferentes dos projetos que abordam apenas o LSS.

Mesmo não fazendo parte do *framework* proposto, este trabalho apresenta uma sugestão de priorização de ferramentas, baseadas nas melhores práticas. Essas ferramentas, somadas as atividades LSS incluídas nas etapas de execução de um projeto de SED, podem ser muito úteis

aos profissionais de modelagem e simulação para auxiliar na definição e resolução dos problemas que motivaram a criação de um modelo computacional.

Portanto, conclui-se que o objetivo deste trabalho foi cumprido, uma vez que se preenche uma lacuna na literatura quanto a abordagem integrada de SED e LSS, propondo um *framework* que permite a execução conjunta dos dois métodos em um mesmo projeto de modelagem e simulação, trazendo a robustez dos conceitos, atividades e ferramentas utilizadas no LSS e no DMAIC, para as grandes fases de Concepção e Análise, dos projetos de SED.

## 6.1. Sugestões para trabalhos futuros

Pode-se destacar algumas oportunidades de pesquisa com foco em aprimorar a abordagem proposta e expandir seu escopo de atuação. A seguir são listadas tais oportunidades:

- Aplicar o *framework* a objetos de estudo: Submeter o *framework* desenvolvido e validado estatisticamente em casos reais de modelagem e simulação com o propósito de testar sua eficácia;
- Explorar as vantagens e limitações do *framework* proposto com o objetivo de aprimorá-lo;
- Utilizar a modelagem e simulação na fase de *Analyze*, dentro da estrutura DMAIC, para definição e validação de causa raiz;
- Utilizar os métodos de modelagem e simulação na fase de *Control*, dentro da estrutura DMAIC, em conjunto com o plano de controle para antecipação de falhas e validação de fatores críticos a serem controlados;
- Utilização de métodos de Gestão de Projetos, tais como PMBOK®, na aplicação do *framework* proposto.

## REFERÊNCIAS

- AGUWA, C.; OLYA, M. H.; MONPLAISIR, L. Modeling of fuzzy-based voice of customer for business decision analytics. **Knowledge-Based Systems**, v. 125, p. 136–145, 2017.
- AL-AOMAR, R.; YOUSSEF, M. A. Achieving Six Sigma rating in a system simulation model. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 2, n. 2, p. 190–206, 2006.
- ALLEN, D. K.; LAURE, P. “Exploiting lean six-sigma quality tools to improve test and other processes”. **IEEE**, p. 509-514. 2006
- ALLEN, M.; WIGGLESWORTH, M. J. Innovation leading the way: Application of lean manufacturing to sample management. **Journal of Biomolecular Screening**, v. 14, n. 5, p. 515–522, 2009.
- AL-SAMARRAIE, H.; HURMUZAN, S. A review of brainstorming techniques in higher education. **Thinking Skills and Creativity**, v. 27, n. December 2017, p. 78–91, 2018.
- AMARAL, J. V. S. DO; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C.; SOUSA JUNIOR, W. T. Metamodel-based simulation optimization: A systematic literature review. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 114, n. October 2020, 2022.
- ANTONY, J.; PALSUK, P.; GUPTA, S.; MISHRA, D.; BARACH, P. Six Sigma in healthcare: a systematic review of the literature. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 35, n. 5, p. 1075–1092, 2018.
- ANTONY, J.; KUMAR, M.; LABIB, A., “Gearing six sigma into UK manufacturing SMEs: results from a pilot study”, **Journal of the Operational Research Society**, Vol. 59 No. 4, pp. 482-493, 2008.
- ANTONY, J.; KUMAR, M.; MADU, C. N. “Six sigma in small-and medium-sized UK manufacturing enterprises: Some empirical observations”, **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 22 n. 8, p. 860-874, 2005.
- ANTONY, J.; LIZARELLI, F. L.; FERNANDES, M. M. A Global Study Into the Reasons for Lean Six Sigma Project Failures: Key Findings and Directions for Further Research. **IEEE Transactions on Engineering Management**, p. 1–16, 2020.
- ARAFEH, M.; BARGHASH, M. A.; SALLAM, E.; ALSAMHOURI, A. *Six Sigma* applied to reduce patients’ waiting time in a cancer pharmacy. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 8, n. 2, p. 105–124, 2014.
- ARAFEH, M.; BARGHASH, M. A.; HADDAD, N.; MUSHARBASH, N.; NASHAWATI, D.; AL-BASHIR, A.; ASSAF, F. Using Six Sigma DMAIC methodology and Discrete Event Simulation to reduce patient discharge time in king hussein cancer center. **Journal of Healthcare Engineering**, v. 2018, 2018.
- BADILLA-MURILLO, F.; VARGAS-VARGAS, B.; VÍQUEZ-ACUÑA, O.; GARCÍA-

- SANZ-CALCEDO, J. Analysis of the installed productive capacity in a medical angiography room through Discrete Event Simulation. **Processes**, v. 8, n. 6, 2020.
- BAJAJ, S.; GARG, R.; SETHI, M. Total quality management: a critical literature review using Pareto analysis. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 67, n. 1, p. 128–154, 2018.
- BALCI, O. A life cycle for modeling and simulation. **Simulation**, v. 88, n. 7, p. 870–883, 2012.
- BANKS, J. Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice. **John Wiley & Sons**, New York, 1998.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete Event System Simulation**. 5. ed. New Jersey: Pearson, 2010.
- BARIL, C.; GASCON, V.; MILLER, J.; CÔTÉ, N. Use of a discrete-event simulation in a Kaizen event: a case study in healthcare. **European Journal of Operational Research**, v. 249, p. 327–339, 2016.
- BARLAS, P.; HEAVEY, C. Automation of input data to discrete event simulation for manufacturing: A review. **International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing**, v. 07, n. 01, p. 1–27, 2016.
- BENJAMIN, S. J.; MARATHAMUTHU, M. S.; MURUGAIAH, U. The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 21, n. 4, p. 419-435, 2015.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.
- BREYFOGLE, F. W. Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods, **John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA**, 2nd edition, 2003.
- CAROTENUTO, P.; GIORDANI, S.; ZACCARO, A. A simulation based approach for evaluating the impact of maritime transport on the inventory levels of an oil supply chain. **Transportation Research Procedia**, v. 3, n. July, p. 710–719, 2014.
- CARVALHO, R.; LOBO, M.; OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, A. R.; LOPES, F.; SOUZA, J.; ... FREITAS, A. Analysis of root causes of problems affecting the quality of hospital administrative data: A systematic review and Ishikawa diagram. **International Journal of Medical Informatics**, v. 156, 2021.
- CELANO, G.; COSTA, A.; FICHERA, S.; TRINGALI, G. Linking Six Sigma to simulation: A new roadmap to Improve the quality of patient care. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v. 25, n. 4, p. 254–273, 2012.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**. 4. ed. São Paulo: Elsevier, 2015.
- CRIDDLE, J.; HOLT, J. E. Use of Simulation Software in Optimizing PACU Operations and Promoting Evidence-Based Practice Guidelines. **Journal of Perianesthesia Nursing**, v. 33, n. 4, p. 420–425, 2018.

DE KONING, H.; DE MAST, J. “A rational reconstruction of Six-Sigma’s breakthrough cookbook,” **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 23, n. 7, p. 766–787, 2006.

EITEL, D. R. et al. Improving Service Quality by Understanding Emergency Department Flow: A White Paper and Position Statement Prepared For the American Academy of Emergency Medicine. **Journal of Emergency Medicine**, v. 38, n. 1, p. 70–79, 2010.

EL-BANNA, M. Patient discharge time improvement by using the six sigma approach: A case study. **Quality Engineering**, v. 25, n. 4, p. 401–417, 2013.

FERRIN, D. M.; MILLER, M. J.; MUTHLER, D. Lean Sigma and simulation, so what’s the correlation? V2. Proceedings - **Winter Simulation Conference**, v. 2005, p. 2011–2015, 2005.

FISHMAN, G. S. Discrete-Event Simulation: modeling, programming and analysis. 1. ed. New York: **Springer**, 2001.

FURTERER, S. L.; SCHNEIDER, K.; KEY, M. B.; ZALEWSKI, D.; LAUDENBERGER, M. Implementing Lean Six Sigma and discrete-event simulation for tutoring operations in higher education institutions. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 10, n. 4, p. 909–927, 2019.

GHANE, K. “A model and system for applying lean six sigma to agile software development using hybrid simulation”, in Technology Management Conference (ITMC), 2014 **IEEE International** p. 1-4, IEEE, 2014.

GREASLEY, A.; OWEN, C. Modelling people’s behaviour using discrete-event simulation: a review. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 38, n. 5, p. 1228–1244, 2018.

GUIMARÃES, A. M. C.; LEAL, J. E.; MENDES, P. Discrete-event simulation software selection for manufacturing based on the maturity model. **Computers in Industry**, v. 103, p. 14–27, 2018.

HEJAZI, T. H. State-dependent resource reallocation plan for health care systems: A simulation optimization approach. **Computers and Industrial Engineering**, v. 159, n. December 2020, p. 107502, 2021.

HUANG, Y.; KLASSEN, K. J. Using six sigma, lean, and simulation to improve the phlebotomy process. **Quality Management Journal**, 23(2), 6-21, 2016

HUSSEIN, N. A.; ABDELMAGUID, T. F.; TAWFIK, B. S.; AHMED, N. G. Mitigating overcrowding in emergency departments using Six Sigma and simulation: A case study in Egypt. **Operations Research for Health Care**, v. 15, p. 1–12, 2017.

IMPROTA, G.; GUIZZI, G.; RICCIARDI, C.; GIORDANO, V.; PONSIGLIONE, A. M.; CONVERSO, G.; TRIASSI, M. Agile Six Sigma in healthcare: Case study at santobono pediatric hospital. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 3, 2020.



IN, J. Introduction of a pilot study. **Korean Journal of Anesthesiology**, v. 70, n. 6, p. 601–605, 2017.

JENSEN, W. A.; JONES-FARMER, L. A.; CHAMP, C. W.; WOODALL, W. H. Effects of parameter estimation on control chart properties: A literature review. **Journal of Quality Technology**, v. 38, n. 4, p. 349–364, 2006.

KAMBLI, A.; SINHA, A. A.; SRINIVAS, S. Improving campus dining operations using capacity and queue management: A simulation-based case study. **Journal of Hospitality and Tourism Management**, v. 43, n. February, p. 62–70, 2020.

KUBALA, M.; GARDNER, J. R.; CRIDDLE, J.; WARD, A.; RICHTER, G. T. Utilizing process improvement strategies to generate clinic templates and improve patient flow in pediatric otolaryngology. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, v. 147, n. October 2020, p. 110779, 2021.

KUMAR, S.; MCCREARY, M. L.; NOTTESTAD, D. A. Quantifying supply chain trade-offs using six sigma, simulation, and designed experiments to develop a flexible distribution network. **Quality Engineering**, v. 23, n. 2, p. 180–203, 2011.

LAUREANI, A.; ANTONY, J. “Standards for lean six sigma certification”, **International Journal of Productivity and Performance Management**, Vol. 61 No. 1, pp. 110-120. 2012

LAW, A. M. **How to build valid and credible simulation models**. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings...** Austin, TX: 2009.

LAW, A. M. **Simulation Modeling and Analysis**. 5. ed. Boston: McGraw-Hill Science, 2014.

LIKER, J. **O modelo toyota de produção**. São Paulo: Bookman, 2004, p. 307.

MAKINDE, O.; SELEPE, R.; MUNYAI, T.; RAMDASS, K.; NESAMVUNI, A. Improving the Supply Chain Performance of an Electronic Product-Manufacturing Organisation Using DMAIC Approach. **Cogent Engineering**, v. 9, n. 1, 2022.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; LIMA, E. P.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; COSTA, S. E. G.; MARTINS, R. A.; SOUSA, R.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MISHRA, P.; SHARMA, R. K. A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 31, n. 5, p. 522–546, 2014.

MITROFF, I. I., BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. On Managing Science in the Systems Age: Two Schemas for the Study of Science as a Whole Systems Phenomenon. **Interfaces**, v. 4, n. 3, p. 46–58, 1974.

MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213–228, 2016.

- MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F.; OLIVEIRA, M. L. O.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings**. Baltimore, MD: 2010.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PEREIRA, T. F.; SILVA, C. E. S.; MIRANDA, R. C.; SCHEIDEGGER, A. P. G. Identification of the main methods used in simulation projects. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings**. Huntington Beach, CA: 2015.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. Application of design of experiments on the simulation of a process in automotive industry. In: Winter Simulation Conference, p. 1601-1609. **IEEE**, 2007.
- MONTEVECHI, J. A. B.; GABRIEL, G. T.; CAMPOS, A. T.; SANTOS, C. H. DOS; LEAL, F.; MACHADO, M. E. Using Generative Adversarial Networks to Validate Discrete Event Simulation Models. In: Winter Simulation Conference, p. 2772-2783. **IEEE**, 2022.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.
- MOURTZIS, D. Simulation in the Design and Operation of Manufacturing Systems: State of the Art and New Trends. **International Journal of Production Research** 58 (7): 1927–1949. 2020.
- NANCE, R. E.; SARGENT, R. G. Perspectives on the Evolution of Simulation. **Operations Research**, v. 50, p. 161–172, 2002.
- NEDRA, A.; NÉJIB, S.; BOUBAKER, J.; MORCHED, C. An Integrated Lean Six Sigma Approach to Modeling and Simulation: A Case Study from Clothing SME. **Autex Research Journal**, p. 1–7, 2021.
- NEDRA, A.; NÉJIB, S.; XU, J.; CHEIKHROUHOU, M. New Lean Six Sigma readiness assessment model using fuzzy logic: Case study within clothing industry. **Alexandria Engineering Journal**, v. 61, n. 11, p. 9079–9094, 2022.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- OLIVEIRA, J. B.; LIMA, R. S.; MONTEVECHI, J. A. B. Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation: A systematic literature review. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 62, p. 166–191, 2016.
- ORTIZ-BARRIOS, M.; ALFARO-SAIZ, J. J. An integrated approach for designing in-time and economically sustainable emergency care networks: A case study in the public sector. **PLoS ONE**, v. 15, n. 6 June, p. 1–28, 2020.
- PEPPER, M. P. J.; SPEDDING, T. A. The evolution of lean Six Sigma. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 27, n. 2, p. 138–155, 2010.
- PEREIRA, S. M. C.; LESLIE, G. Hypothesis testing. **Australian Critical Care**, v. 22, n. 4, p. 187–191, 2009.
- POLITIS, N. S.; COLOMBO, P.; COLOMBO, G.; M. REKKAS, D. Design of experiments (DoE) in pharmaceutical development. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, v. 43,

n. 6, p. 889–901, 2017.

PYZDEK, T.; KELLER, P. A. *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*, **McGraw-Hill**, New York, NY, USA, 2003.

PYZDEK, T.; KELLER, P. *The Six Sigma Handbook*, 3. Ed., **McGraw-Hill Companies**, 2010.

RESÉNDIZ, J. G.; SOTO, K. C. A.; VARGAS, A. R.; RIVERA, H. H.; GUTIÉRREZ, T. C. Integrating Simulation-Based Optimization for Lean Logistics: A Case Study. **Applied Sciences**, v. 8, p. 1–18, 2018.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, p. 278–290, 2008.

ROBINSON, S.; WORTHINGTON, C.; BURGESS, N.; RADNOR, Z. J. Facilitated modelling with discrete-event simulation: Reality or myth? **European Journal of Operational Research**, v. 234, p. 231–240, 2014.

RODIČ, B. Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. **Organizacija**, v. 50, p. 193–207, 2017.

SAIDANI, M.; KIM, H.; KIM, J. Designing optimal COVID-19 testing stations locally: A discrete event simulation model applied on a university campus. **PLoS ONE**, v. 16, n. 6 June, p. 1–16, 2021.

SANTOS, C. H. DOS; MONTEVECHI, J. A. B.; DE QUEIROZ, J. A.; MIRANDA, R. C.; LEAL, F. Decision support in productive processes through DES and ABS in the Digital Twin era: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, 2021.

SARGENT, R. G. An interval statistical procedure for use in validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v. 1, p. 1–6, 2014.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v. 7, n. 1, p. 12–24, 2013.

SARGENT, R. G.; GOLDSMAN, D. M.; YAACOUB, T. **A tutorial on the operational validation of simulation models**. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings...** Washington, D.C.: 2016.

SCHEIDEGGER, A. P. G.; PEREIRA, T. F.; DE OLIVEIRA, M. L. M.; BANERJEE, A.; MONTEVECHI, J. A. B. An introductory guide for hybrid simulation modelers on the primary simulation methods in industrial engineering identified through a systematic review of the literature. **Computers & Industrial Engineering**, 124, 474–492, 2018.

SCHLÖGL, A. et al. Quality control of polysomnographic sleep data by histogram and entropy analysis. **Clinical Neurophysiology**, v. 110, n. 12, p. 2165–2170, 1999.

SHARDA, B.; BURY, S. J. Evaluating production improvement opportunities in a chemical plant: A case study using discrete event simulation. **Journal of Simulation**, v. 6, n. 2, p. 81–91, 2012.

SINGH, M.; RATHI, R. "A structured review of Lean Six Sigma in various industrial sectors", **International Journal of Lean Six Sigma**, Vol. 10 No. 2, pp. 622-664., 2019.

SMITH, B. Lean and Six Sigma-a One-two Punch. **Quality Progress**, 36(4), 37-41, 2003.

SNEE, R.D. "Lean six sigma—getting better all the time", **International Journal of Lean Six Sigma**, Vol. 1 No. 1, pp. 9-29, 2010.

SOUSA JUNIOR, W. T.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C.; CAMPOS, A. T. Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 128, p. 526-540, 2019.

SOUTHARD, P. B.; CHANDRA, C.; KUMAR, S. RFID in healthcare: A Six Sigma DMAIC and simulation case study. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v. 25, n. 4, p. 291–321, 2012.

TAKO, A. A.; ROBINSON, S. Model development in discrete-event simulation and system dynamic: an empirical study of expert modellers. **European Journal of Operational Research**, v. 207, p. 784 –794, 2010.

TAYLOR, S. J. E.; ROBINSON, S. So where to next? A survey of the future for discrete-event simulation. **Journal of Simulation**, v. 1, n. 1, p. 1–6, 2006.

TELLIS, R. et al. Identifying Areas for Operational Improvement and Growth in IR Workflow Using Workflow Modeling, Simulation, and Optimization Techniques. **Journal of Digital Imaging**, v.34, p. 75-84, 2021.

TRIEBIG, C.; KLÜGL, F. Elements of a documentation framework for agent-based simulation models. **Cibernetics and Systems: an International Journal**, v. 40, p. 441–474, 2009.

TURNER, C. J.; HUTABARAT, W.; OYEKAN, J. Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, v. 46, n. 6, p. 882–894, 2016.

TURRIONI, J.; MELLO, C. Metodologia De Pesquisa Em Engenharia de Produção:Estratégias, Métodos E Técnicas Para Condução De Pesquisas Quantitativas E Qualitativas. **Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção**, v. 1, p. 191, 2012.

URIARTE, A. G.; NG, A. H.; MORIS, M. U. Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 25, p. 586–593, 2018.

VENKATADRI, V. et al. Simulation based alternatives for overall process improvement at the cardiac catheterization lab. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 19, n. 7, p. 1544–1557, 2011.

WOLLMANN, D.; TORTATO, U. Proposal for a model to hierarchize strategic decisions according to criteria of value innovation, sustainability and budgetary constraint. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 278–289, 2019.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. O Surgimento da Produção Enxuta. In: **A Máquina que mudou o mundo**, Ed. Campus Ltda, p. 37-59, 2004.

YANG, R. J. An investigation of stakeholder analysis in urban development projects: Empirical or rationalistic perspectives. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 5, p. 838–849, 2014.

## APÊNDICE A – Questionário submetido aos especialistas

**Etapa 1- Objetivos e definições do sistema:** *"consiste em definir o problema que será estudado, conhecer o sistema, descrever suas ações, indicar suas características, definir os objetivos e as especificações da simulação, estabelecer o processo a ser simulado".*

Você concorda que a **Etapa 1** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Definição do escopo do projeto, objetivos e cronogramas;
- Definição do processo de forma holística e seus envolvidos;
- Seleção dos membros do time;
- Obtenção de autorização da alta gerência (sponsors);
- Reunião e treinamento da equipe.

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Project charter e Análise de stakeholders*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 1 (Objetivos e definições do sistema)**?

**Etapa 2- Construção do modelo conceitual:** *"trata-se de uma representação gráfica, matemática ou lógica de um determinado estudo, que descreve os objetivos, as entradas e saídas, conteúdo, pressupostos e simplificações do sistema real. É certamente o aspecto mais importante de um projeto de simulação. Nesta etapa costuma-se observar o sistema e a rotina, esboçar e corrigir os modelos".*

Você concorda que a **Etapa 2** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Seleção dos membros do time (Consultar os representantes do time, determinados pela Etapa 1, que conheçam o processo e a rotina);
- Definição do processo (escolha do processo que será objeto de estudo).

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Observação do sistema; SIPOC; P-map e VSM*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 2 (Construção do modelo conceitual)**?

**Etapa 3- Validação do modelo conceitual:** *"essa etapa garante que as teorias e premissas referentes ao modelo estão corretas e que sua representação pode atender seu propósito. É de suma importância que o modelo conceitual seja validado, pois um modelo conceitual inválido pode impactar negativamente em diversos aspectos do projeto e confiabilidade dos resultados. É comum nessa etapa apresentar o modelo construído ao especialista do sistema e conduzir as correções, caso necessário".*

Você concorda que a **Etapa 3** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Reunião e treinamento da equipe (Validação ou modificação do modelo pelos membros da equipe);
- Definição do processo (formalização da validação do modelo construído).

Você concorda que a ferramenta mapeada na RSL: VSM, pode ser utilizada para a execução da **Etapa 3 (Validação do modelo conceitual)**?

**Etapa 4- Documentação do modelo conceitual:** *"validado o modelo conceitual, é necessário fazer sua documentação para que sirva de base na construção do modelo computacional. Quaisquer alterações que tornem o modelo computacional divergente do modelo conceitual devem ser atualizadas na documentação, de forma que fique registrado e a informação seja confiável".*

Você concorda que a **Etapa 4** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Definição das métricas que serão utilizadas no projeto.

**Etapa 5- Modelagem dos dados de entrada:** *"a modelagem dos dados de entrada consiste na coleta de dados e o ajuste da distribuição de probabilidade a ser usada no modelo para imitar o comportamento aleatório e então inferir o comportamento da população a partir das amostras. Para o cumprimento desta etapa é usual observar o sistema, apontar os locais necessários para coleta de dados, obter dados históricos da empresa, analisar quais dados ainda precisam ser coletados, definir forma de coleta de dados, preparar material para coleta, definir períodos a serem coletados, coletar e tratar os dados estatisticamente".*

Você concorda que a **Etapa 5** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Definição das métricas que serão utilizadas no projeto;
- Estabelecimento do baseline do processo;
- Avaliação/Medição do sistema/processo existente.

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Análise de tempos e movimentos, Estratificação, Estatística descritiva, Análise de Capacidade, Cartas de controle e 5 Porquês*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 5 (Modelagem dos dados de entrada)**?

**Etapa 6- Construção do modelo computacional:** *"nesta etapa, o modelo conceitual deve ser transformado em um modelo computacional através de um software de simulação. O desenvolvimento de modelos computacionais é considerado iterativo, pois um processo relativamente simples é estendido, verificado e refinado gradualmente. Para a execução*

*dessa etapa é necessário definir o software de simulação a ser utilizado e garantir que os dados estejam prontos".*

Você concorda que a **Etapa 6** do método de modelagem e simulação está relacionada com a utilização das seguintes atividades do DMAIC:

- Análise do fluxo de valor do processo (utilização do modelo conceitual para a elaboração do modelo computacional);
- Análise das fontes de variações do processo (a partir das iterações durante a construção do modelo computacional).

**Etapa 7- Verificação do modelo computacional:** *"a verificação significa garantir que o programa do modelo computacional e sua implementação estejam corretos. Uma vez que o processo de construção de um modelo computacional não é linear, desde o início de seu desenvolvimento, a verificação pode ocorrer de forma simultânea".*

Você concorda que a **Etapa 7** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Determinação das etapas críticas do processo.

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Análise da base de dados; SIPOC; P-map; VSM*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 7 (Verificação do modelo computacional)**?

**Etapa 8- Validação do modelo computacional:** *"é uma etapa que determina se o modelo de simulação é uma representação precisa do sistema para os objetivos específicos do estudo. Quando qualquer alteração é feita no modelo, a verificação e a validação devem ser realizadas novamente. Esse processo é repetido até que um modelo de simulação válido seja obtido. Essa validação pode ser feita tanto de maneira quantitativa quanto qualitativa, em geral se usa a combinação de ambas as técnicas".*

Você concorda que a **Etapa 8** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Análise do fluxo de valor do processo;
- Análise das fontes de variações do processo;
- Comparativo da diferença entre: estado atual x estado futuro.

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Teste de hipóteses, Brainstorming, Diagrama de Ishikawa, Análise de Capacidade*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 8 (Validação do modelo computacional)**?



**Etapa 9- Definição do projeto experimental:** *"é o planejamento dos experimentos que serão realizados para explorar o modelo. O DOE tem se mostrado de grande impacto no auxílio a tomada dessas decisões. O planejamento de experimentos simulados fornece caminhos eficientes para estimar os efeitos das mudanças dos inputs sobre os outputs do modelo. Para isso é necessário levantar quais cenários deverão ser simulados junto ao cliente, definir cenários interessantes, sob a visão da simulação e preparar os experimentos".*

Você concorda que a **Etapa 9** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Definição do escopo do projeto, objetivos e cronogramas (revisitar o início do projeto e criar cenários de testes alinhados com os objetivos preestabelecidos);
- Análise das fontes de variações do processo.

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Brainstorming, Diagrama de Ishikawa, Gráfico de Pareto, DOE*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 9 (Definição do projeto experimental)**?

**Etapa 10- Execução dos experimentos:** *"consiste basicamente em executar o modelo criado, organizar os resultados obtidos e gerar relatórios com essas informações".*

Você concorda que a **Etapa 10** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Comparativo da diferença entre: estado atual x estado futuro;
- Priorização de oportunidades de melhoria.

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Análise de Capacidade, Gráfico de Pareto, Estudo Piloto*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 10 (Execução dos experimentos)**?

**Etapa 11- Análise estatística:** *"a etapa de análise em um projeto de simulação tem a função de fornecer as informações necessárias para fazer recomendações. A análise é uma atividade muito importante, pois, a partir dela, os dados obtidos pela simulação são interpretados e transformados em recomendações. Os resultados devem ser estudados, interpretados e posteriormente apresentados aos clientes".*

Você concorda que a **Etapa 11** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Priorização de oportunidades de melhoria;
- Definição de novos processos ou projetos de produto;
- Otimização das configurações de processos/produtos.

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Teste de hipóteses; FMEA; DOE; Gráfico de Pareto*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 11 (Análise estatística)**?

**Etapa 12- Conclusões e recomendações:** *"a partir dos resultados do modelo devem ser feitas as conclusões e recomendações com melhorias que podem ser implementadas no sistema real".*

Você concorda que a **Etapa 12** do método de modelagem e simulação está relacionada com as seguintes atividades do DMAIC:

- Avaliação de riscos e possíveis falhas;
- Validação quanto aos objetivos buscados;
- Desenvolvimento e implementação do plano de controle;
- Documentação das lições aprendidas;
- Aprovação de entregáveis.

Você concorda que as ferramentas mapeadas na RSL: *Documentação detalhada; Cartas de controle; FMEA*, podem ser utilizadas para a execução da **Etapa 12 (Conclusões e recomendações)**?

Todas as perguntas tiveram como opções de respostas as alternativas:

- Concordo totalmente.
- Concordo parcialmente.
- Não concordo nem discordo.
- Discordo parcialmente.
- Discordo totalmente.

## APÊNDICE B – Testes estatísticos com Valor-P < 0.05

### Etapas 1, 2 e 3

#### Teste e IC para Uma Proporção

##### Método

p: proporção de eventos  
O método exato é usado para esta análise.

##### Estatísticas Descritivas

N	Evento	Amostra p	Limite inferior de 95% para p
23	23	1.000000	0.877877

##### Teste

Hipótese nula  $H_0: p = 0.7$

Hipótese alternativa  $H_1: p > 0.7$

Valor-p  
0.000

### Etapas 5, 9 e 12

#### Teste e IC para Uma Proporção

##### Método

p: proporção de eventos  
O método exato é usado para esta análise.

##### Estatísticas Descritivas

N	Evento	Amostra p	Limite inferior de 95% para p
23	22	0.956522	0.809796

##### Teste

Hipótese nula  $H_0: p = 0.7$

Hipótese alternativa  $H_1: p > 0.7$

Valor-p  
0.003

### Etapas 10 e 11

#### Teste e IC para Uma Proporção

##### Método

p: proporção de eventos  
O método exato é usado para esta análise.

##### Estatísticas Descritivas

N	Evento	Amostra p	Limite inferior de 95% para p
23	21	0.913043	0.750751

##### Teste

Hipótese nula  $H_0: p = 0.7$

Hipótese alternativa  $H_1: p > 0.7$

Valor-p  
0.016

Figura B.1 – Etapas com significância estatística para a pesquisa

Fonte: elaborado pelo autor

## APÊNDICE C – Testes estatísticos com Valor-P > 0.05

### Etapa 4

#### Teste e IC para Uma Proporção

##### Método

p: proporção de eventos  
O método exato é usado para esta análise.

##### Estatísticas Descritivas

N	Evento	Amostra p	Limite inferior de 95% para p
23	14	0.608696	0.416845

##### Teste

Hipótese nula  $H_0: p = 0.7$   
Hipótese alternativa  $H_1: p > 0.7$

Valor-p  
0.880

### Etapa 6

#### Teste e IC para Uma Proporção

##### Método

p: proporção de eventos  
O método exato é usado para esta análise.

##### Estatísticas Descritivas

N	Evento	Amostra p	Limite inferior de 95% para p
23	20	0.869565	0.696362

##### Teste

Hipótese nula  $H_0: p = 0.7$   
Hipótese alternativa  $H_1: p > 0.7$

Valor-p  
0.054

### Etapa 7

#### Teste e IC para Uma Proporção

##### Método

p: proporção de eventos  
O método exato é usado para esta análise.

##### Estatísticas Descritivas

N	Evento	Amostra p	Limite inferior de 95% para p
23	15	0.652174	0.459544

##### Teste

Hipótese nula  $H_0: p = 0.7$   
Hipótese alternativa  $H_1: p > 0.7$

Valor-p  
0.771

### Etapa 8

#### Teste e IC para Uma Proporção

##### Método

p: proporção de eventos  
O método exato é usado para esta análise.

##### Estatísticas Descritivas

N	Evento	Amostra p	Limite inferior de 95% para p
23	19	0.826087	0.645068

##### Teste

Hipótese nula  $H_0: p = 0.7$   
Hipótese alternativa  $H_1: p > 0.7$

Valor-p  
0.136

Figura C.1 – Etapas sem significância estatística para a pesquisa

Fonte: elaborado pelo autor

## APÊNDICE D – Resultados acadêmicos

### i. Periódicos

#### Submetidos/em revisão

LÚCIO, J. S.; MIRANDA, R. C. Análise de frameworks que integram os métodos Lean Six Sigma e Simulação a Eventos Discretos. **Revista Produção Online**, 2023.

LÚCIO, J. S.; MIRANDA, R. C.; SANTOS, C. H. Bringing together Lean Six Sigma and Discrete Event Simulation: a systematic literature review. **Journal of Simulation**, 2023.

### ii. Congressos

#### Publicados/aceitos

LÚCIO, J. S.; MIRANDA, R. C. **Análise de frameworks que integram as metodologias Lean Six Sigma e Simulação a Eventos Discretos: Uma revisão sistemática de literatura**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção 2022. Anais... Foz do Iguaçu, Brasil: 2022

#### Submetidos/em revisão

LÚCIO, J. S.; MIRANDA, R. C.; VIERA, T. A.; MEDEIROS, A. L. **Principais ferramentas utilizadas no Lean Six Sigma aplicadas a projetos de Simulação a Eventos Discretos**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção 2023. Anais... Fortaleza, Brasil: 2023

LÚCIO, J. S.; MIRANDA, R. C.; LOPES, G. F.; MONTEVECHI, A. A.; VIERA, T. A. **Comportamento da Modelagem e Simulação em projetos que integram Lean Six Sigma e Simulação a Eventos Discretos**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional 2023. Anais... Fortaleza, Brasil: 2023