

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

Jonathan Serafim Lúcio
serafim.epr@gmail.com

Rafael de Carvalho Miranda
rafael.miranda@unifei.edu.br

José Arnaldo Barra Montevechi
montevechi@gmail.com

Tháyna Alcântara Viera
thaynaengmec@gmail.com

Guilherme Ferreira Lopes
gf.lopes@yahoo.com.br

Universidade Federal de Itajubá
Avenida BPS, 1303, Itajubá – MG

RESUMO

O artigo aborda a aplicação de um *framework* que integra Simulação a Eventos Discretos (SED) e *Lean Six Sigma* (LSS) em uma empresa do setor automotivo. O estudo descreve detalhadamente a aplicação das etapas DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve* e *Control*) e a criação, validação e verificação de modelos conceituais e computacionais, bem como suas análises estatísticas. A integração do *framework* permitiu que a construção dos modelos fosse direcionada especificamente para os problemas identificados pelo LSS. Isso facilitou a criação de cenários para testar as causas raízes e soluções propostas. Os resultados foram muito positivos, demonstrando que o projeto se tornou mais assertivo. Isso destacou a eficácia da integração de SED e LSS na resolução de problemas complexos e na melhoria de processos industriais, tornando mais eficiente a execução do projeto e economizando recursos.

PALAVRAS-CHAVE. *Framework, Simulação a Eventos Discretos, Lean Six Sigma, DMAIC.*

Tópicos: POI – PO na indústria

ABSTRACT

The article discusses the application of a framework that integrates Discrete Event Simulation (DES) and Lean Six Sigma (LSS) in an automotive company. The study details the application of the DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, and Control*) stages and the creation, validation, and verification of conceptual and computational models, as well as their statistical analyses. The integration of the framework allowed the model construction to be specifically directed towards the problems identified by LSS. This facilitated the creation of scenarios to test the root causes and proposed solutions. The results were very positive, demonstrating that the project became more assertive. This highlighted the effectiveness of integrating DES and LSS in solving complex problems and improving industrial processes, making the project execution more efficient and saving resources.

KEYWORDS. *Framework, Discret Event Simulation, Lean Six Sigma, DMAIC.*

Paper topics: ORI – OR in industry

1. Introdução

Este artigo explora a aplicação de um *framework* inovador que integra Simulação a Eventos Discretos (SED) e *Lean Six Sigma* (LSS), visando oferecer uma abordagem abrangente e prática para a solução de problemas complexos de produção. A proposta desse *framework* surge da necessidade de preencher uma lacuna comum encontrada em projetos de SED, que muitas vezes se concentram apenas na criação de modelos computacionais, deixando de lado a resolução eficaz dos problemas que motivaram o projeto. O *framework* aplicado oferece um passo a passo para a criação de modelos computacionais mais assertivos, focado nas causas raiz do problema, possibilitando resultados mais tangíveis e impactantes para as organizações.

O foco deste estudo é a aplicação desse *framework* em uma indústria automotiva que estava enfrentando dificuldades para atender à demanda de um cliente específico por conta da variabilidade na produção. Para enfrentar esse desafio, um grupo de consultores foi contratado para realizar um trabalho de modelagem e simulação, identificar os gargalos operacionais e sugerir soluções. Essa oportunidade permitiu a aplicação do *framework*, que combina os passos para a execução de projetos de SED com a estrutura DMAIC e as atividades do LSS.

O objetivo deste artigo é demonstrar a utilidade e praticidade da execução conjunta de projetos de SED e LSS, por meio de um *framework* que facilita a integração harmoniosa desses dois métodos, juntando os benefícios do uso da SED [Santos et al. 2021] com os impactos trazidos pelo LSS [Pongboonchai-Empl et al., 2023]. O estudo evidencia que é viável executar ambos os métodos simultaneamente, compartilhando informações que são comuns a algumas etapas.

Embora esse *framework* seja único, a abordagem integrada de SED e LSS não é algo inédito, [Lúcio e Miranda 2022] e [Lúcio et al. 2023] reúnem uma coletânea de trabalhos que utilizaram de alguma maneira esses dois métodos em conjunto. Os autores afirmam que essa abordagem conjunta fornece diretrizes para o desenvolvimento e avaliação de cenários de melhoria, utilizando dados numéricos em vez de intuições. Isso permite prever o desempenho esperado e evitar problemas e custos associados a modificações reais [Hussein et al., 2017]. [Kambli, Sinha e Srinivas 2020] afirmam que a integração da estrutura DMAIC com a modelagem SED é eficaz para entender e melhorar a gestão de filas e o tempo de espera dos clientes. [Celano et al. 2012] concordam que a estrutura DMAIC simplifica a criação de modelos SED. [Arafeh et al. 2014] usaram essas abordagens para reduzir o tempo de preparação de prescrição médica em uma farmácia oncológica, identificando requisitos de pessoal. [Baril et al. 2016] relatam que unidades de saúde utilizam SED e LSS para testar soluções e treinar funcionários, encorajando melhorias contínuas no sistema.

Para cumprir com os objetivos, este trabalho está dividido em 5 seções. A seção 2 explora uma breve revisão sobre LSS e SED. A seção 3 apresenta o método de pesquisa utilizado. A seção 4 aborda a aplicação e os resultados, e a seção 5 apresenta as conclusões do artigo e sugestões para trabalhos futuros, bem como os agradecimentos e as referências utilizadas neste estudo.

2. Referencial teórico

Lean Six Sigma e Simulação a Eventos Discretos são métodos amplamente reconhecidos e aplicados para a melhoria contínua de processos em empresas de bens e serviços. O LSS combina a redução de variabilidade, característica do *Six Sigma* (SS), com a eliminação de desperdícios e atividades sem valor agregado, princípios fundamentais da filosofia *Lean* [Singh e Rathi, 2019], [Pongboonchai-Empl et al., 2023]. Essa integração visa aprimorar o desempenho, eficiência e satisfação do cliente, resultando em excelência operacional [Snee, 2010].

O LSS oferece uma combinação robusta de medição de qualidade, eficiência de processos, responsividade e redução de custos. Enquanto o *Lean* se concentra na eliminação de atividades sem valor agregado, o SS foca na redução de defeitos e variabilidade em processos de fabricação e serviços [Antony et al., 2005]. A estrutura DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) do SS é uma ferramenta essencial para o controle de projetos, garantindo um processo estruturado para a resolução de problemas [Pyzdek e Keller, 2010].

A SED, por sua vez, é uma técnica poderosa para modelar e analisar o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo. A SED representa ocorrências que mudam o estado de um modelo em pontos discretos no tempo, proporcionando uma ferramenta gráfica e visual que facilita a compreensão de processos complexos [Law, 2014], [Tako e Robinson, 2010]. Esta técnica é especialmente útil em contextos em que os problemas são subjetivos, complexos ou mal definidos, permitindo o desenvolvimento e teste de soluções operacionais antes de sua implementação [Saidani, Kim e Kim, 2021], [Robinson et al., 2014].

A integração entre SED e LSS oferece diversos benefícios, especialmente em ambientes complexos. [Arafteh et al. 2018] destacam que essa abordagem foi crucial para resolver problemas no processo de alta de pacientes em um hospital, no qual a SED permitiu testar soluções identificadas na fase *Analyze/Improve* do LSS. A construção de um modelo de simulação detalhado serviu como uma ferramenta realista para gerar sugestões e soluções, maximizando os resultados da iniciativa de melhoria de processos. [Sharda e Bury 2012] enfatizam que as melhores práticas baseadas em SS são essenciais para a execução bem-sucedida de projetos de simulação, garantindo a sustentabilidade dos modelos para futuros esforços de melhoria. [Nedra et al. 2021] também apoiam a integração de LSS e simulação em seus processos.

3. Método de pesquisa

O método utilizado no estudo de caso foi a aplicação de um *framework* que integra SED e LSS, baseado nos trabalhos de [Lúcio e Miranda 2022] e [Lúcio et al. 2023]. O *framework* foi construído relacionando os conceitos de execução de um projeto de SED, baseado no método proposto por [Montevecchi et al. 2015], com os conceitos de LSS, em especial a estrutura DMAIC, apresentados por [Pyzdek e Keller 2010].

O *framework* foi segmentado nas cinco fases do DMAIC e apresentado em formato de fluxograma. As etapas para condução de um projeto de SED foram representadas por caixas contendo letras que simbolizam as atividades do LSS que podem ser realizadas simultaneamente. A presença repetida de atividades do LSS dentro das caixas não implica na necessidade de executá-las novamente; é mais provável que tal repetição denote a solicitação de informações relacionadas àquela atividade específica. O objetivo é auxiliar a resolução de problemas e tornar mais assertiva a construção dos modelos conceituais e computacionais, bem como as análises estatísticas de um projeto de SED.

Após o desenvolvimento inicial do *framework*, procedeu-se à sua avaliação e validação por meio de consulta a especialistas das áreas de Simulação e LSS. Foram elaboradas perguntas para medir o nível de concordância ou discordância em relação às associações propostas. O questionário foi respondido por 23 avaliadores. As respostas foram analisadas estatisticamente e serviram para reformular o *framework*, removendo algumas associações que não tiveram julgamento favorável. Sua versão final é exibida pela Figura 1.

A Etapa 1 do projeto de SED é realizada durante a fase de *Define*. As Etapas 2 e 3 começam na fase de *Define* e se estendem até a fase de *Measure*, pois englobam elementos de ambas as fases. As Etapas 4 e 5 são exclusivas da fase de *Measure*, tendo somente a Etapa 5 associada a atividades LSS. As Etapas de 6 a 9 são todas conduzidas durante a fase de *Analyze*, no entanto os especialistas julgaram que as Etapas 6, 7 e 8 do método tradicional de modelagem e simulação eram suficientes para uma execução integrada entre SED e LSS. A Etapa 10 começa na fase de *Analyze* e finaliza na fase de *Improve*. A Etapa 11 é inteiramente realizada durante a fase de *Improve*, enquanto a atividade 12 tem 20% de suas ações executadas na fase de *Improve* e 80% na fase de *Control*.

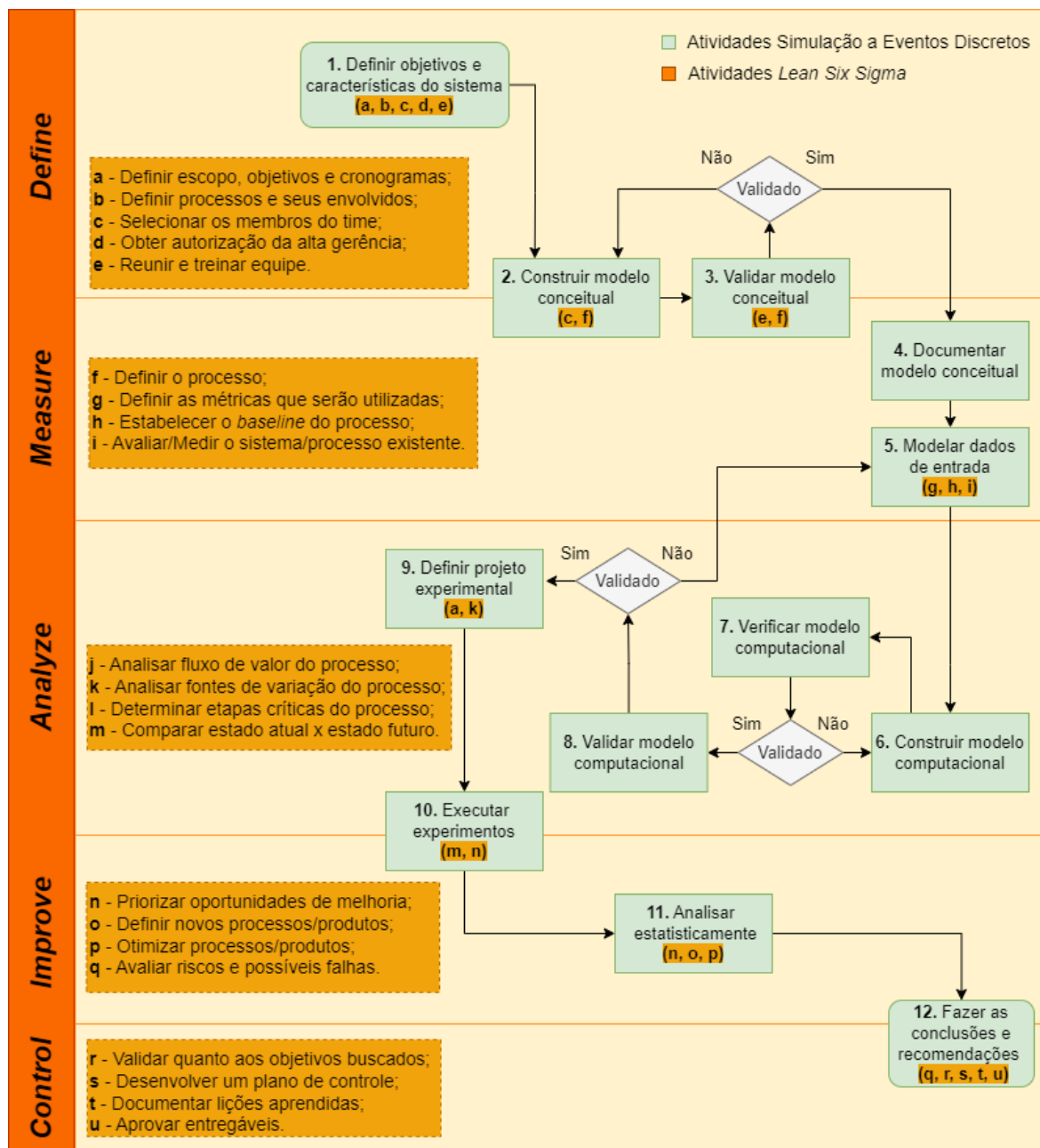


Figura 1 – *Framework* para condução de projetos de SED integrando LSS
Fonte: autores

4. Aplicação e resultados

Esta seção trata de como o projeto foi desenvolvido e o *framework* utilizado. As etapas e atividades propostas pelo *framework* foram organizadas em quadros para uma melhor compreensão. Na disposição, as atividades de um projeto de SED ocupam a coluna à esquerda, as do LSS ficam na coluna central, enquanto a coluna à direita indica em qual fase do DMAIC essas atividades se encaixam.

4.1. Etapa 1 - Definir objetivos e características do sistema (*Define*)

O Quadro 1 reúne as orientações para a execução da Etapa 1, Definir objetivos e características do sistema.

Quadro 1 – Relação SED x LSS x DMAIC para a Etapa 1

SED	LSS	DMAIC
1. Objetivos e definição do sistema.	a. Definir escopo, objetivos e cronogramas.	Define
	b. Definir processos e <i>stakeholders</i> .	Define
	c. Selecionar membros do time.	Define
	d. Obter autorização dos <i>sponsors</i> .	Define
	e. Reunir e treinar equipe.	Define

Fonte: autores

Seguindo as sugestões indicadas pelo *framework*, a primeira atividade para cumprir a Etapa 1 foi a definição do escopo, objetivos e cronogramas do projeto (a), assim como os processos a serem modelados e seus envolvidos (b). A unidade selecionada para a execução do projeto foi a planta de São Paulo, com os processos de Fundição, Espumação e Montagem. A família de produtos escolhida foi a da Linha 1, especificamente os produtos XPT0 e XPT1.

O produto XPT1 passa por um processo adicional externo antes de entrar na Montagem, e é nessa etapa que estão as suspeitas de problemas. Os indicadores de desempenho escolhidos para serem monitorados foram o *lead time* das peças, a produção de itens por tipo e a taxa de agregação de valor (TAV). O objetivo do estudo era resolver o problema de variabilidade na entrega do produto XPT1 para um determinado cliente.

Com o cronograma definido, os membros do time que executariam o projeto foram selecionados (c). Foram criadas duas frentes: uma de consultores, composta pelo time de especialistas em Simulação e LSS, e outra pelos colaboradores e especialistas da empresa. Ambos tinham hierarquia e distribuição de cargos bem definidos, com o apoio da alta gerência (d). A partir daí, ocorreram reuniões para a obtenção de dados e o acompanhamento do projeto (e). Para o registro de todas essas informações, foi utilizada a ferramenta *Project Charter* ou Carta de Projeto, concluindo assim a Etapa 1.

4.2. Etapa 2 - Construção do modelo conceitual (*Define/Measure*)

Para a execução da Etapa 2 do projeto, Construção do modelo conceitual, foram sugeridas as atividades referentes ao time selecionado (c) e a escolha do processo a ser modelado (f), conforme indica o Quadro 2.

Quadro 2 – Relação SED x LSS x DMAIC para a Etapa 2

SED	LSS	DMAIC
2. Construção do modelo conceitual.	c. Selecionar membros do time.	Define
	f. Escolher o processo.	Measure

Fonte: autores

A presença repetida de atividades do LSS, como é o caso do item (c), não implica na necessidade de executá-las novamente; provavelmente, alguma informação referente a ela seria novamente utilizada, nesse caso, contatar os envolvidos no projeto e definir os processos que serão modelados. Após essa definição, ocorreu uma visita técnica à empresa para mapeamento desses processos. Além disso, também foram fornecidos documentos como folha de métodos e procedimentos de operação padrão como complementos. De posse dessas informações, o time de consultores utilizou a técnica IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods - Simulation*), uma ferramenta de mapeamento desenvolvida especificamente para a utilização em projetos de simulação, para transformar o mapeamento realizado em modelos conceituais. A Figura 2 mostra parte do processo de Fundição como exemplo.

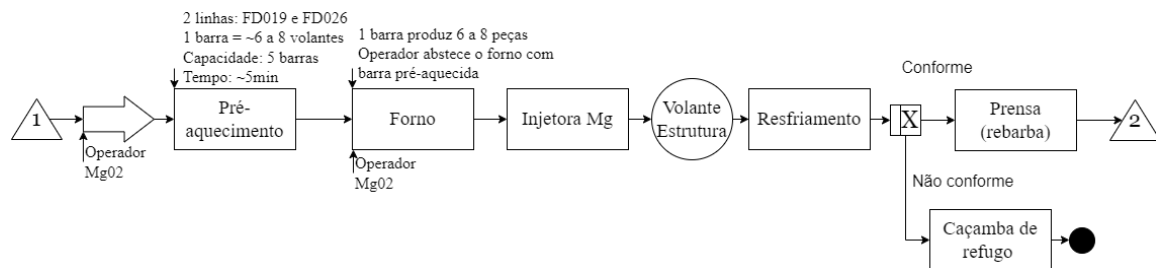


Figura 2 – Recorte do Modelo conceitual da Fundição
Fonte: autores

4.3. Etapa 3 - Validação do modelo conceitual (Define/Measure)

Para a execução da Etapa 3 do projeto, Validação do modelo conceitual, foram sugeridas as atividades referentes às reuniões e treinamento das equipes (e) e escolha do processo (f), conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Relação SED x LSS x DMAIC para a Etapa 3

SED	LSS	DMAIC
3. Validação do modelo conceitual.	e. Reunir e treinar equipe.	Define
	f. Escolher o processo.	Measure

Fonte: autores

Foram feitas reuniões com os especialistas responsáveis por cada processo escolhido, para que avaliassem e validassem o modelo conceitual construído pelo time de consultores. Após algumas correções nos fluxos do processo, o modelo foi aprovado e representava o que de fato acontecia na empresa.

4.4. Etapa 4 - Documentação do modelo conceitual (Measure)

Para a execução da Etapa 4 do projeto, Documentação do modelo conceitual, não foram sugeridas atividades referentes ao LSS, pois essa é uma etapa autossuficiente. A documentação foi realizada de duas maneiras: compondo o relatório final para o cliente e criando um arquivo, armazenado na nuvem, com acesso livre para todos os responsáveis pelo projeto.

4.5. Etapa 5 - Modelagem dos dados de entrada (Measure)

Para a execução da Etapa 5 do projeto, Modelagem dos dados de entrada, foram sugeridas atividades referentes à definição das métricas utilizadas (g) para focar nos dados que tinham relação com os indicadores definidos no início do projeto, estabelecimento do *baseline* do processo (h) e avaliação/medição do processo existente (i), para avaliação e entendimento da situação que o processo se encontrava. Ao mesmo tempo que esses dados serviriam de entrada para o modelo computacional, eles foram úteis para medir o tamanho do problema. Uma cronoanálise foi realizada para os dados que não possuíam histórico na empresa. As atividades relacionadas pelo *framework* são indicadas pelo Quadro 4.

Quadro 4 – Relação SED x LSS x DMAIC para a Etapa 5

SED	LSS	DMAIC
5. Modelagem dos dados de entrada.	g. Definir as métricas utilizadas.	Measure
	h. Estabelecer o baseline do processo.	Measure
	i. Avaliar/Medir o processo existente.	Measure

Fonte: autores

Baseado no mapeamento feito para a criação do modelo conceitual (Etapa 2), um *Value Stream Mapping* (VSM) do cenário atual foi construído para estabelecimento do *baseline* do processo. Um recorte mais detalhado desse VSM permite entender o tamanho do problema

vivenciado pela empresa. Os dados específicos do fluxo, para o processo selecionado, foram apresentados na Figura 3.

O percentual máximo de scraps previsto em contrato era de 2,5%; no entanto, um levantamento histórico revelou que o índice real tinha sido pelo menos três vezes maior do que o estipulado.



Figura 3 – Ilustração do problema com o processo externo
Fonte: autores

Assim que as peças chegam ao processo externo, elas são processadas durante dois dias úteis antes de retornarem à empresa. Foi notada uma discrepância entre a quantidade de produtos enviados ao fornecedor e a quantidade recebida pela empresa: apenas 62,4% dos produtos retornam em condições de entrar no processo de montagem. Como resultado, a montagem se tornou o gargalo operacional da empresa.

4.6. Etapas de 6 a 8 – Construção, Verificação e Validação do modelo computacional (Analyze)

Essas etapas seguiram estritamente o fluxo de um projeto de SED convencional. O modelo foi dividido em três partes, começando pela Fundição, seguida pela Espumação e, finalmente, pela Montagem, conforme ilustrado na Figura 4. O *software* utilizado foi o FlexSim na versão 23.0.2.



Figura 4 – Modelo computacional da Fundição, Espumação e Montagem
Fonte: autores

Após a confirmação da verificação das lógicas, a etapa seguinte foi validar o modelo computacional, garantindo que as atividades do modelo representassem fielmente as atividades do sistema real. Os históricos de produção das três áreas modeladas foram fornecidos, permitindo a comparação dos resultados da média de 60 replicações dos modelos com a produção real no período de referência escolhido. Como os dados apresentavam distribuição normal, foi realizado o teste estatístico "1 sample t" por meio do *software* Minitab. A hipótese testada era de que a média das replicações não apresentava diferença estatisticamente significativa em relação aos valores alvo fornecidos (Produção real). Todos os modelos foram validados, e os itens considerados nessa etapa de validação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Etapa de validação estatística dos modelos computacionais

Modelo	Prod. Real	Prod. Simul. média	Desv.Pad	P-value (1 sample t)	Validado?
Fundição	7993	8004,0	218,1	0,777	Sim
Espumação	10895	10893,6	61,2	0,454	Sim
Montagem	5349	5443,4	153,7	0,438	Sim

Fonte: autores

4.7. Etapa 9 – Definição do projeto experimental (Analyze)

Após a validação do modelo, é necessário definir quais cenários serão testados. Em projetos convencionais de SED, é muito comum a utilização da técnica de “*what if*”, que basicamente se baseia em tentativa e erro. Uma desvantagem dessa técnica é o potencial gasto de tempo na criação de cenários que podem não impactar significativamente os resultados. Para minimizar esse problema, na execução da Etapa 9 - Definição de projeto experimental - foram relacionadas atividades do LSS que restringem as opções de teste, garantindo que todas tenham relação com a definição do escopo e objetivos do projeto (a) e sejam baseadas nas fontes de variação do processo (k). O Quadro 5 apresenta os conceitos utilizados nessa etapa.

Quadro 5 – Relação SED x LSS x DMAIC para a Etapa 9

SED	LSS	DMAIC
9. Definição do projeto experimental.	a. Definir escopo, objetivos e cronogramas.	Analyze
	k. Analisar fontes de variação do processo.	Analyze

Fonte: autores

Para identificar e tratar a causa raiz do problema, os responsáveis pelos processos foram reunidos. Baseando-se em suas expertises, foi realizado um *brainstorming* para coletar o máximo de *insights* possíveis. Em seguida, foi utilizado um Diagrama de Causa e Efeito para elencar e classificar os pontos levantados. As possíveis causas são apresentadas na Figura 5.

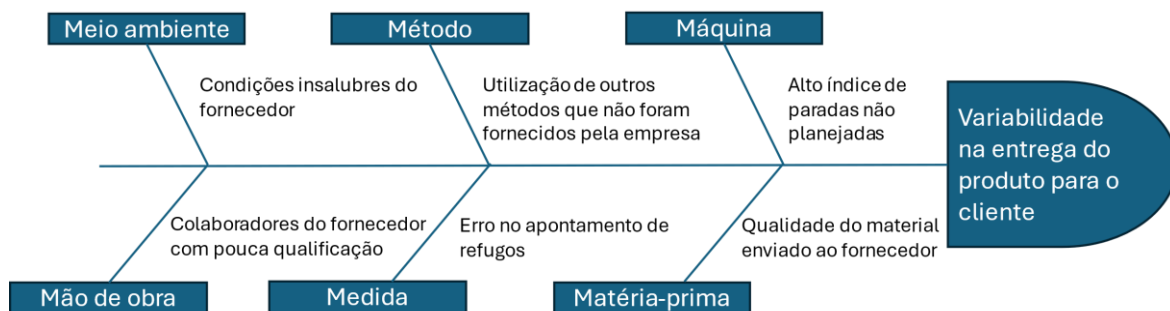


Figura 5 – Diagrama de Causa e Efeito

Fonte: autores

Existem métodos quantitativos e qualitativos para validação de causa raiz. Neste caso, devido à complexidade de testar quantitativamente algumas das causas levantadas, optou-se pelo critério qualitativo. Dos 6 M's mapeados, apenas Medida, Matéria-prima e Máquina poderiam ter origem na empresa. Como todos os outros estavam de alguma forma relacionados ao fornecedor externo, a empresa e o time de consultores chegaram ao consenso de que a causa raiz estava ligada ao fornecedor externo, especificamente no quesito "mão de obra". Decidiu-se que os testes de cenários deveriam focar nesse aspecto.

4.8. Etapa 10 – Executar experimentos (Analyze/Improve)

Para a execução da Etapa 10 do projeto, Executar experimentos, foram sugeridas atividades referentes à comparação dos cenários (m) e escolha das melhores alternativas (n), conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Relação SED x LSS x DMAIC para a Etapa 10

SED	LSS	DMAIC
10. Execução dos experimentos.	m. Comparar: estado atual x estado futuro. n. Priorizar oportunidades de melhoria.	Analyze Improve

Fonte: autores

Com a definição da causa raiz, o processo de criação dos cenários foi simplificado, já que as modificações foram baseadas nas ações realizadas pela mão de obra do processo externo. Assim, foram desenvolvidos dois cenários: o primeiro envolvia a substituição do fornecedor externo por um capaz de atender a uma taxa mínima de 2,5% de *scraps* e realizar o processo 50% mais rápido; o segundo cenário considerava a internalização desse processo externo, com uma taxa de produção de 11 produtos por hora por linha produtiva. Esses dois cenários futuros foram comparados com o cenário *baseline* para evidenciar os impactos das mudanças.

A Tabela 2 mostra os resultados do cenário *Baseline*, que retrata como a empresa funcionava naquela ocasião.

Tabela 2 – Resultados médios do cenário *Baseline*

<i>Baseline</i>	Itens produzidos	Lead time (dias)	TAV (%)
Produto XPT0	1323	14,48	0,13
Produto XPT1	8436	9,29	0,16
Produção final	9759	9,92	0,15

Fonte: autores

Nesse cenário, a taxa de *scrap* é de 8,23% e o *lead time* de produção é de dois dias úteis. A produção final foi de 9759 itens, com um *lead time* médio de 9,92 dias e uma TAV de 0,15%.

A Tabela 3 mostra os resultados do Cenário 1, que é como a empresa deveria funcionar, caso os *scraps* fossem no máximo 2,5% e o *lead time* de produção fosse de um dia útil.

Tabela 3 – Resultados médios do Cenário 1

Cenário 1	Itens produzidos	Lead time (dias)	TAV (%)
Produto XPT0	2289	6,63	0,27
Produto XPT1	8767	7,91	0,19
Produção final	11056	7,63	0,20

Fonte: autores

Para esse cenário, a produção final foi de 11056 itens, com um *lead time* médio de 7,63 dias e uma TAV de 0,20%.

A Tabela 4 apresenta os resultados do Cenário 2, que ilustra como a empresa deveria operar se as atividades do processo externo fossem internalizadas, com uma taxa de produção de 11 produtos por hora por linha. Cada linha é composta por um conjunto de máquinas e operadores capazes de realizar essa tarefa.

Tabela 4 – Resultados médios do Cenário 2

Cenário 2	Itens produzidos	Lead time (dias)	TAV (%)
Produto XPT0	2562	8,3	0,20
Produto XPT1	9169	6,15	0,25
Produção final	11731	6,63	0,24

Fonte: autores

É importante frisar que, nesse cenário, outros microcenários foram testados, avaliando a taxa de utilização da linha de produção. Os testes consistiram em encontrar uma quantidade de linhas cuja utilização ficasse em torno de 85% e, ainda assim, fosse capaz de atender à demanda.

Operando com quatro linhas produtivas, o resultado da produção final foi de 11731 itens, com um *lead time* médio de 6,63 dias e uma TAV de 0,24%.

4.9. Etapa 11 – Análise estatística (*Improve*)

Para a execução da Etapa 11 do projeto, Análise estatística, foram sugeridas atividades referentes à priorização das oportunidades de melhoria (n) no sentido de escolher o melhor cenário, definir novos processos ou produtos (o), baseado nos resultados dos testes, e otimizar processos e produtos (p) dentro do cenário escolhido. Essas relações são indicadas pelo Quadro 7.

Quadro 7 – Relação SED x LSS x DMAIC para a Etapa 11

SED	LSS	DMAIC
11. Análise estatística.	n. Priorizar oportunidades de melhoria.	<i>Improve</i>
	o. Definir novos processos/produtos.	<i>Improve</i>
	p. Otimizar processos e produtos.	<i>Improve</i>

Fonte: autores

Para a avaliação dos resultados, foi utilizada a estatística descritiva. Percentuais simples foram calculados comparando a diferença entre o Cenário 'X' e o *Baseline*, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Comparação dos resultados em relação ao *Baseline*

Cenários	Itens produzidos	<i>Lead time</i> (dias)	TAV (%)
<i>Baseline</i>	9759	9,92	0,15
Cenário 1	+13%	-23%	+33%
Cenário 2	+20%	-33%	+60%

Fonte: autores

Para o time de consultores, a escolha dependia única e exclusivamente dos resultados obtidos pelo modelo, sem considerar uma análise de viabilidade financeira dos cenários. Portanto, o cenário estável com maior produção, menor *lead time* e maior TAV foi indicado como a possível solução para a empresa.

Nesse caso, o Cenário 2, que consistia na internalização do processo externo, foi o selecionado. Nele foram registrados 20% a mais de itens produzidos, um *lead time* 33% menor e 60% de ganho em relação a TAV. No entanto, esse não era um cenário simples de implementar durante a execução do projeto. Portanto, a ação tomada pela empresa na fase de *Improve* foi buscar um novo fornecedor e preparar a rescisão do contrato com o fornecedor atual, o que é mais condizente com o Cenário 1.

4.10. Etapa 12 – Conclusões e recomendações (*Control*)

Para a execução da Etapa 12 do projeto, Conclusões e recomendações, foram sugeridas atividades referentes à avaliação de riscos e possíveis falhas (q) para ponderar as consequências de buscar um novo fornecedor ou internalizar o processo externo; validar os objetivos buscados (r), aqueles definidos na primeira etapa do projeto; criar/implantar plano de controle (s) tanto para a manutenção do modelo computacional quanto para o monitoramento dos *scraps* e internalização do processo externo; documentar lições aprendidas (t) por meio de um relatório ou artigo científico; e aprovar entregáveis (u) como: modelos prontos, cenários de testes, treinamento para utilização do *software*/modelo, apresentações de resultados e relatório técnico com o registro de todas as ações executadas do começo ao fim do projeto. Conforme relaciona o Quadro 8.

Quadro 8 – Relação SED x LSS x DMAIC para a Etapa 12

SED	LSS	DMAIC
12. Conclusões e recomendações.	q. Avaliar riscos e possíveis falhas.	<i>Control</i>
	r. Validar os objetivos buscados.	<i>Control</i>
	s. Criar/Implantar plano de controle.	<i>Control</i>
	t. Documentar lições aprendidas.	<i>Control</i>

A conclusão dos consultores para os especialistas da empresa é que, embora a Montagem fosse o atual gargalo operacional, isso acontecia em decorrência de um processo externo que não cumpria sua função, e que conforme o nível de produtos na entrada da Montagem aumentava, a produção acompanhava esse aumento, indicando que o processo era capaz de produzir mais. Também foram ponderados os cenários propostos, no sentido de considerar os valores investidos para obter os resultados esperados, além das dificuldades de implantação, tanto trocando o fornecedor, quanto internalizando o processo. Dessa forma, foi levantada a possibilidade de implementar um cenário híbrido como piloto, rodando a internalização com apenas uma linha, e trocando o fornecedor. Também foi tratada a possibilidade de executar um novo projeto com o objetivo de otimizar esse cenário híbrido.

5. Conclusões

Este artigo apresentou um relato detalhado sobre a aplicação de um framework desenvolvido para integrar os métodos SED e LSS. Essa proposta emergiu de uma lacuna identificada nos métodos tradicionais de modelagem e simulação, especialmente no que diz respeito ao processo de resolução do problema que deu origem ao projeto.

A ideia era executar os dois métodos de maneira complementar, utilizando informações comuns ao desenvolvimento de suas etapas. Como estudo de caso, o *framework* foi aplicado em uma empresa automobilística que enfrentava dificuldades para atender a demanda de um cliente específico devido à variabilidade na sua produção.

Durante a aplicação do *framework* foi possível perceber que os dois métodos compartilhavam várias características e dados comuns. A integração possibilitou que as etapas da SED ocorressem simultaneamente com as fases do DMAIC, integrando as atividades do LSS, o que proporcionou uma abordagem mais coesa e eficiente para a resolução do problema.

Uma das grandes vantagens que esse *framework* proporcionou foi na fase de *Analyze*, na qual se cria o modelo computacional. Ele orientou a construção do modelo *baseline* com base no problema e indicadores definidos na fase de *Define* e instruiu a construir os cenários de testes somente após a validação de causa raiz do problema. Isso evitou que cenários referentes a problemas em outras áreas como Fundição e Espumação fossem construídos e testados, desperdiçando um tempo valioso.

Uma dificuldade observada é que conceitualmente, um projeto LSS combate somente um problema por projeto, já a SED não tem essa limitação, inclusive não é incomum tentar resolver mais de um problema. Esse alinhamento inicial com a empresa precisa ser feito para não gerar expectativas que não possam ser alcançadas.

Em conclusão, a integração dos métodos SED e LSS por meio do *framework* demonstrou ser uma abordagem eficaz, permitindo a execução simultânea das etapas de ambos os métodos e gerando resultados mais robustos, uma vez que se preocupa em encontrar a causa raiz do problema e atuar sobre ele, como foi o caso da empresa estudada.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio à esta e outras pesquisas.

Referências

Antony, J., Kumar, M., Madu, C. N. (2005). 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.

- Arafeh, M., Barghash, M. A., Sallam, E., Alsamhour, A. (2014). 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.
- Baril, C., Gascon, V., Miller, J., Côté, N. (2016). 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.
- Celano, G.; Costa, A.; Fichera, S.; Tringali, G. (2012). 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.
- Hussein, N. A., Abdelmaguid, T. F., Tawfik, B. S., Ahmed, N. G. (2017). 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.
- Kambli, A., Sinha, A. A., Srinivas, S. (2020). 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.
- Law, A. M. (2014). *Simulation Modeling and Analysis*. 5. ed. Boston: McGraw-Hill Science.
- Lúcio, J. S. e Miranda, R. C. (2022). Análise de frameworks que integram as metodologias Lean Six Sigma e Simulação a Eventos Discretos: uma revisão sistemática de literatura, In: *Anais do XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Foz do Iguaçu, Brasil.
- Lúcio, J. S., Miranda, R. C., Viera, T. A., Medeiros, A. L. (2023). Principais ferramentas utilizadas no Lean Six Sigma aplicadas a projetos de Simulação a Eventos Discretos. In: *Anais do XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Fortaleza, Brasil.
- Montevecchi, J. A. B., Pereira, T. F., Silva, C. E. S., Miranda, R. C., Scheidegger, A. P. G. (2015). Identification of the main methods used in simulation projects. In: *Winter Simulation Conference*. Proceedings. Huntington Beach, CA.
- Nedra, A., Néjib, S., Boubaker, J., Morched, C. (2021). An Integrated Lean Six Sigma Approach to Modeling and Simulation: A Case Study from Clothing SME. *Autex Research Journal*, p. 1–7.
- Pongboonchai-empl, T., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Komkowski, T., e Tortorella, G. L. (2023). Integration of Industry 4.0 technologies into Lean Six Sigma DMAIC: A systematic review. *Production Planning & Control*, pp.1-26
- Pyzdek, T. e Keller, P. (2010). *The Six Sigma Handbook*, 3. Ed., McGraw-Hill Companies.
- Robinson, S. e Worthington, C., Burgess, N., Radnor, Z. J. (2014). Facilitated modelling with discrete-event simulation: Reality or myth? *European Journal of Operational Research*. v. 234, p. 231–240.
- Saidani, M., Kim, H., Kim, J. (2021). 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.
- Santos, C. H. Dos, Montevecchi, J. A. B., De Queiroz, J. A., Miranda, R. C., Leal, F. (2021). Decision support in productive processes through DES and ABS in the Digital Twin era: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*.
- Singh, M. e Rathi, R. (2019). A structured review of Lean Six Sigma in various industrial sectors, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 10 No. 2, pp. 622-664.
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma—getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 1 No. 1, pp. 9-29.

Tako, A. A. e Robinson, S. (2010). 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.