

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**INTEGRAÇÃO DE LEAN SIX SIGMA E METODOLOGIAS ÁGEIS NA
INDÚSTRIA QUÍMICA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE SINERGIAS
E IMPACTOS EM MELHORIA CONTÍNUA**

Daniele de Toledo Ferreira de Andrade

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos

Orientador: Prof. Fabio Bentes Freire

São Carlos – SP

2025

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Fabio Bentes Freire, DEQ/UFSCar

Convidado: Prof.^a Mônica Lopes Aguiar, DEQ/UFSCar

Professor da Disciplina: Prof.^a Rosineide Gomes da Silva Cruz, DEQ/UFSCar

Trabalho de Graduação apresentado no dia 15 de julho de 2025 perante a seguinte banca examinadora:

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela dádiva da vida e pela oportunidade de estar aqui apresentando este trabalho, concluindo mais uma etapa tão importante da minha vida.

Agradeço de coração à minha mãe, minha maior incentivadora, que sempre acreditou no meu potencial e me ensinou que nada é impossível quando se tem dedicação e persistência. Seu exemplo de força e coragem me inspira a ser perseverante, independentemente dos desafios que surgirem.

Agradeço também ao meu noivo, que sempre esteve ao meu lado, me apoiou incondicionalmente e nunca permitiu que eu desistisse. Sua presença e incentivo constantes me deram forças para seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

Sou imensamente grata a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui: aos meus colegas, pelas trocas e pelo apoio ao longo dessa jornada; aos professores que tive durante a graduação, que me ensinaram muito além do que se aprende em sala de aula; e, em especial, ao meu professor orientador, Fabio, pela paciência, pelos ensinamentos e por estar sempre disponível para me orientar com dedicação e comprometimento.

A todos que fizeram parte desta caminhada, meu mais sincero muito obrigada. Sem cada um de vocês, eu não estaria aqui.

RESUMO

A busca contínua por excelência operacional, qualidade e inovação na indústria química tem impulsionado o uso de metodologias consolidadas de melhoria contínua, como o Lean Six Sigma (LSS), combinadas a abordagens mais recentes, como as metodologias ágeis. A integração entre LSS e ágil visa unir a estrutura disciplinada e a redução de variabilidade do LSS à flexibilidade e capacidade de adaptação do ágil, ampliando os resultados das iniciativas de melhoria contínua. Este Trabalho de Graduação teve como objetivo investigar, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática, como a integração dessas metodologias pode potencializar ganhos em eficiência, reduzir desperdícios, aumentar a produtividade e favorecer maior engajamento das equipes em ambientes industriais complexos e altamente regulados. Foram analisados estudos de casos, artigos e publicações técnicas que discutem práticas, sinergias, desafios e resultados observados na aplicação dessas abordagens. Os resultados apontam que a integração contribui para ciclos mais curtos de melhoria, maior alinhamento com as necessidades do cliente e melhor adaptação às constantes mudanças do mercado, além de expor fatores críticos para o sucesso e barreiras que precisam ser superadas para a adoção eficaz. Conclui-se que a implementação integrada de Lean Six Sigma e metodologias ágeis representa uma estratégia promissora para as indústrias que buscam excelência operacional.

Palavras-chave: Lean Six Sigma. Metodologias ágeis. Melhoria contínua. Indústria química. Integração de metodologias.

ABSTRACT

The continuous pursuit of operational excellence, quality, and innovation in the chemical industry has driven the adoption of established continuous improvement methodologies, such as Lean Six Sigma (LSS), combined with more recent approaches like agile methodologies. The integration of LSS with agile aims to unite the disciplined structure and variability reduction of LSS with the flexibility and adaptability of agile, enhancing the outcomes of continuous improvement initiatives. This undergraduate thesis aimed to investigate, through a systematic literature review, how integrating these methodologies can boost efficiency gains, reduce waste, increase productivity, and promote greater team engagement in complex and highly regulated industrial environments. Case studies, scientific articles, and technical publications discussing practices, synergies, challenges, and observed results in the application of these approaches were analyzed. The results indicate that integration contributes to shorter improvement cycles, better alignment with customer needs, and greater adaptation to constant market changes, while also exposing critical success factors and barriers that need to be overcome for effective adoption. It is concluded that the integrated implementation of Lean Six Sigma and agile methodologies represents a promising strategy for industries seeking operational excellence.

Keywords: Lean Six Sigma. Agile methodologies. Continuous improvement. Chemical industry. Methodologies integration.

SUMÁRIO

BANCA EXAMINADORA.....	2
AGRADECIMENTOS.....	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	7
NOMENCLATURA.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. CONCEITOS DE MELHORIA CONTÍNUA.....	11
2.2. FUNDAMENTOS E FERRAMENTAS DO LEAN SIX SIGMA.....	13
2.3. PRINCÍPIOS DAS METODOLOGIAS ÁGEIS.....	15
2.4. DIFERENÇAS E PONTOS DE SINERGIA ENTRE LSS E AGILE.....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
4.1. ANÁLISE COMPARATIVA DAS ABORDAGENS.....	19
4.2. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO CONJUNTA OU COMPLEMENTAR.....	20
4.3. IMPACTOS OBSERVADOS NA INDÚSTRIA QUÍMICA.....	22
4.4. DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES.....	24
5. CONCLUSÕES.....	26
5.1. SÍNTESE DOS ACHADOS.....	26
5.2. CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA.....	27
5.3. LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS.....	28
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

LISTA DE TABELAS E QUADROS

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Principais diferenças entre Lean Six Sigma e Metodologias Ágeis 16

NOMENCLATURA

Abreviações

AM	Agile Manufacturing (Manufatura Ágil)
CTQ	Critical to Quality (Característica Crítica para Qualidade)
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)
DPMO	Defects Per Million Opportunities (Defeitos por Milhão de Oportunidades)
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Análise de Modos e Efeitos de Falha)
LSS	Lean Six Sigma
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Eficiência Global dos Equipamentos)
SCRUM	Scrum (Framework ágil de gestão de projetos)
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers (Fornecedores, Entradas, Processo, Saídas e Clientes)
SMED	Single-Minute Exchange of Die (Troca Rápida de Ferramentas)
VSM	Value Stream Mapping (Mapeamento do Fluxo de Valor)
VOC	Voice of the Customer (Voz do Cliente)

Símbolos e Unidades

kW	Quilowatt
Lead time	Tempo entre início e conclusão de processo
Tempo de ciclo	Tempo para completar uma etapa do processo ou tarefa

1. INTRODUÇÃO

Independentemente do ramo industrial, a busca por eficiência operacional, qualidade e inovação nos processos produtivos, incentiva as organizações a buscarem a adoção de metodologias de melhoria contínua bem estruturadas a fim de implementarem uma melhor gestão dos seus processos. No contexto da indústria química, esse desafio se torna ainda mais crítico devido à complexidade de suas operações e elevada regulamentação, bem como à necessidade constante de otimizar custos, minimizar riscos e assegurar elevados padrões de qualidade. Uma alternativa para alcançar essas metas é através do Lean Six Sigma (LSS) que, em poucas palavras, pode ser definido como uma metodologia que combina duas abordagens bem estabelecidas, Lean e Six Sigma, para melhorar os processos de negócios, tornando-os mais eficientes, com menos desperdícios, e mais consistentes em qualidade.

O Lean Six Sigma desempenha um papel fundamental na indústria química, abordando a complexidade inerente ao setor, as demandas regulatórias e a necessidade de precisão operacional. Por meio de seu foco combinado na eliminação de desperdícios (Lean) e na redução de variações no processo (Six Sigma), o LSS apoia o desenvolvimento de sistemas de produção estáveis, eficientes e de alta qualidade. Em um campo onde até mesmo pequenos desvios podem impactar a segurança, a integridade do produto e a conformidade, as ferramentas do LSS permitem a tomada de decisões baseada em dados e a melhoria contínua. Ao otimizar processos, melhorar a produtividade e minimizar defeitos, o Lean Six Sigma ajuda as empresas químicas a aumentar a produtividade, reduzir custos e manter a competitividade em um mercado altamente regulamentado e impulsionado pela inovação.

Portanto, o Lean Six Sigma (LSS) tem se consolidado como uma das principais abordagens para a eliminação de desperdícios, redução de variabilidade e aumento da produtividade (PUSHUG et al., 2024; NANDAKUMAR, SALEESHYA e HARIKUMAR, 2020). Combinando os princípios do pensamento enxuto com a análise estatística rigorosa do Six Sigma, o LSS oferece um framework robusto e estruturado de melhoria contínua, sendo amplamente adotado em indústria, como a química, devido à sua capacidade de gerar ganhos mensuráveis e trazer uma melhora nos processos,

Por outro lado, as metodologias ágeis, tradicionalmente aplicadas no desenvolvimento de software, têm ganhado espaço em ambientes industriais como alternativa complementar para enfrentar desafios relacionados à velocidade de entrega,

adaptabilidade às mudanças e foco no cliente (TRIPATHI et al.,2021; MUNDRA, MISHRA e MISHRA, 2021). A incorporação de práticas como sprints, squads e gestão visual por meio de frameworks como Scrum e Kanban, ainda que inicialmente distantes da lógica sequencial do LSS, têm se mostrado úteis na flexibilização da gestão de projetos de melhoria, favorecendo ciclos curtos de aprendizado e maior engajamento dos times.

Diante desse cenário, diferentes estudos vêm destacando a potencial sinergia entre o Lean Six Sigma e as metodologias ágeis, sugerindo que a integração dessas abordagens pode ampliar significativamente os resultados em iniciativas de melhoria contínua, especialmente em setores complexos como o químico (AMARAL et al., 2025; ORTEGA, AMRANI e VALLESPER, 2022). Essa perspectiva híbrida visa combinar a estrutura, disciplina e foco em dados do LSS com a adaptabilidade, colaboração e rapidez proporcionadas pelo mindset ágil.

Algumas pesquisas recentes demonstram, por exemplo, que a integração dessas metodologias contribui para o aumento do desempenho organizacional e inovação nos modelos operacionais (AMARAL et al., 2025), além de evidenciar desafios estruturais e culturais que precisam ser superados para uma adoção eficaz (SINGH, KASWAN e RATHI, 2024). Tais estudos reforçam a importância de entender os fatores críticos de sucesso, barreiras e práticas recomendadas para a implementação de modelos híbridos em ambientes industriais altamente regulados.

Diante disso, este Trabalho de Graduação tem como objetivo central investigar, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática, como a integração entre o Lean Six Sigma e as metodologias ágeis pode potencializar os resultados de iniciativas de melhoria contínua na indústria química. Pretende-se, com este estudo, mapear os principais estudos sobre o tema, identificar as abordagens mais utilizadas, avaliar suas aplicabilidades e propor diretrizes que possam subsidiar a adoção estratégica de modelos híbridos voltados à excelência operacional no setor químico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCEITOS DE MELHORIA CONTÍNUA

A melhoria contínua é um princípio central na gestão da qualidade que busca o aperfeiçoamento constante dos processos organizacionais, produtos e serviços. Se baseia em iniciativas para identificar e eliminar ineficiências, melhorar o desempenho e atender às necessidades dos clientes de forma cada vez mais eficiente. O objetivo da melhoria contínua é criar processos mais ágeis, menos suscetíveis a falhas e mais orientados à excelência operacional, utilizando técnicas que permitam à organização evoluir de maneira incremental e sustentável.

Entre as abordagens que incorporam os princípios da melhoria contínua destaca-se o Kaizen, filosofia originária do Japão que significa "mudança para melhor". O Kaizen propõe a realização contínua de pequenas melhorias, incentivando a participação proativa de todos os colaboradores no aperfeiçoamento dos fluxos de trabalho. Essa prática enfatiza a eliminação de desperdícios e a busca pela eficiência, promovendo mudanças incrementais que, ao longo do tempo, resultam em avanços significativos na performance organizacional. Aplicado em diversos setores produtivos, o Kaizen é reconhecido como um dos pilares fundamentais das abordagens enxutas e essencial para fomentar uma cultura organizacional voltada à excelência (NIKIFOROVA e BICEVSKA, 2018).

Nesse contexto, o Lean Manufacturing, ou manufatura enxuta, surge como uma evolução prática do princípio Kaizen, estruturado a partir do Sistema Toyota de Produção. O Lean tem como foco principal a eliminação de desperdícios em todas as etapas produtivas, visando gerar valor para o cliente utilizando o mínimo de recursos possíveis (PACHECO, 2014). Segundo CORRÊA JÚNIOR e BORGES (2018), os princípios fundamentais do Lean incluem a produção puxada, o fluxo de valor, o fluxo contínuo e a busca pela perfeição. Esses princípios são operacionalizados por meio de práticas como o mapeamento do fluxo de valor (VSM), o 5S e o Just-in-Time, resultando na melhoria da eficiência operacional, na redução de custos e no aumento da competitividade organizacional (FERREIRA e CUNHA, 2022).

Paralelamente, o Six Sigma emergiu como uma metodologia orientada a dados, desenvolvida pela Motorola na década de 1980, com o propósito de melhorar a qualidade dos processos através da redução da variabilidade e da eliminação de defeitos (CORRÊA JÚNIOR e BORGES, 2018). Utilizando ferramentas estatísticas avançadas, o Six Sigma

busca atingir níveis de qualidade extremamente elevados, limitando a ocorrência de defeitos a no máximo 3,4 por milhão de oportunidades (DPMO) (PACHECO, 2014). Estruturado em torno do ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), o Six Sigma promove uma abordagem disciplinada e rigorosa para a solução de problemas complexos e para o aprimoramento contínuo dos processos produtivos (PUSHUG et al., 2024).

A integração dos conceitos de Lean Manufacturing e Six Sigma deu origem ao Lean Six Sigma (LSS), uma abordagem híbrida que combina a eliminação de desperdícios características do Lean com a precisão estatística e o rigor analítico do Six Sigma (PUSHUG et al., 2024).

Segundo NANDAKUMAR, SALEESHYA e HARIKUMAR (2020), a implementação do Lean Six Sigma (LSS) contribui para que grandes organizações alcancem competitividade global, graças à sua capacidade de promover melhorias mensuráveis em qualidade e eficiência.. Essa combinação permite às organizações não apenas reduzir custos e melhorar a qualidade dos produtos, mas também aumentar a satisfação dos clientes.

Nos últimos anos, uma tendência crescente tem sido a integração do Lean Six Sigma com metodologias ágeis, no intuito de aliar eficiência operacional à flexibilidade e à capacidade de rápida adaptação às mudanças (TRIPATHI et al.,2021). O Lean Six Sigma, com sua estrutura robusta para o controle e melhoria contínua dos processos, complementa-se com as metodologias ágeis, que oferecem ciclos curtos de entrega e forte orientação para as necessidades do cliente.

Segundo MUNDRA, MISHRA e MISHRA (2021), a sinergia entre Lean e Six Sigma é amplamente reconhecida como uma estratégia de melhoria contínua capaz de reduzir custos, aumentar a produtividade e aprimorar a qualidade dos produtos no setor industrial. Embora sejam abordagens complementares — o Six Sigma elimina defeitos, mas não otimiza o fluxo dos processos, enquanto o Lean melhora o fluxo, mas não assegura controle estatístico —, ambas apresentam limitações quando aplicadas isoladamente.

Nenhuma delas, por si só, é suficiente para atender às exigências do mercado atual, que demanda simultaneamente eficiência, qualidade e flexibilidade. Nesse cenário, as metodologias ágeis (Agile Manufacturing – AM) surgem como solução, oferecendo capacidade de reconfiguração e flexibilidade operacional para ambientes voláteis. No entanto, apesar de sua responsividade, o AM carece da eficiência promovida pelo Lean. A

integração entre LSS e AM, portanto, permite que as organizações entreguem produtos e serviços com maior rapidez, sem comprometer a qualidade e mantendo competitividade nos custos. Essa combinação proporciona uma abordagem abrangente, alinhando melhoria contínua, agilidade e excelência operacional.

A combinação entre Lean Six Sigma (LSS) e metodologias ágeis tem se mostrado uma estratégia eficaz na gestão de projetos, especialmente em contextos com alta variabilidade e necessidade de adaptação contínua. Segundo AMARAL et al. (2025), a divisão da etapa de melhoria em sprints oferece uma abordagem mais ágil e interativa, permitindo respostas rápidas às mudanças identificadas durante o processo. A substituição de marcos fixos por revisões a cada sprint promove uma avaliação mais contínua e adaptativa, alinhando os princípios ágeis de revisão e adaptação..

A integração entre o backlog ágil e as entregas do LSS garante que os objetivos de melhoria contínua estejam alinhados às necessidades específicas do projeto, promovendo uma atuação mais responsiva e orientada a resultados. Essa aplicação conjunta não apenas otimiza o uso de recursos e melhora o gerenciamento do progresso, como também fortalece a capacidade das equipes em lidar com desafios operacionais de maneira ampla, promovendo ganhos sustentáveis em eficiência, qualidade e adaptabilidade (AMARAL et al., 2025).

2.2. FUNDAMENTOS E FERRAMENTAS DO LEAN SIX SIGMA

O Lean Six Sigma (LSS) é uma metodologia híbrida que integra os princípios do Lean Manufacturing e do Six Sigma, com o objetivo de aprimorar a eficiência dos processos e a qualidade dos produtos ou serviços. Enquanto o Lean foca na eliminação de desperdícios e na maximização do valor para o cliente, o Six Sigma concentra-se na redução da variabilidade dos processos por meio de técnicas estatísticas avançadas (SOUZA et al., 2016).

O Lean Manufacturing, originado no Sistema Toyota de Produção, busca identificar e eliminar atividades que não agregam valor ao produto ou serviço, promovendo a eficiência operacional por meio de práticas como o mapeamento do fluxo de valor, a produção puxada e a padronização de processos (CORRÊA JÚNIOR e BORGES, 2018). Já o Six Sigma, desenvolvido pela Motorola nos anos 1980, utiliza métodos estatísticos para identificar e eliminar causas de defeitos e variabilidade, buscando atingir um nível de

qualidade próximo à perfeição, com apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (PACHECO, 2014).

A sinergia entre essas abordagens permite que as organizações alcancem melhorias significativas em termos de qualidade, eficiência e satisfação do cliente. O LSS combina a eliminação de desperdícios do Lean com a precisão e o controle estatístico do Six Sigma, oferecendo uma estrutura robusta para a resolução de problemas complexos (PUSHUG et al., 2024; NANDAKUMAR, SALEESHYA e HARIKUMAR, 2020).

A aplicação efetiva do Lean Six Sigma exige o domínio de ferramentas e técnicas específicas, que auxiliam tanto no diagnóstico quanto na implementação de melhorias.

- DMAIC: O ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) é a espinha dorsal dos projetos Six Sigma. Ele fornece uma estrutura lógica e sequencial para a solução de problemas e otimização de processos (CORRÊA JÚNIOR e BORGES, 2018).
- Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM): Utilizado para representar graficamente o fluxo de materiais e informações, o VSM ajuda a identificar desperdícios e gargalos nos processos (PUSHUG et al., 2024).
- FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falha): Ferramenta preventiva usada para antecipar possíveis falhas nos processos ou produtos, avaliando criticidade e risco associado a cada falha (FERREIRA e CUNHA, 2022).
- Diagrama de Pareto: Auxilia na priorização de problemas, com base na ideia de que 80% dos efeitos vêm de 20% das causas (NIKIFOROVA e BICEVSKA, 2018).
- 5S: O 5S promove a organização e disciplina no ambiente de trabalho. Seus cinco pilares — Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke — têm como foco a criação de ambientes limpos, organizados e padronizados (NIKIFOROVA e BICEVSKA, 2018).
- Poka-Yoke: Dispositivos à prova de erro, utilizados para evitar falhas humanas e garantir que as atividades sejam executadas corretamente desde a primeira vez (NIKIFOROVA e BICEVSKA, 2018).
- SIPOC: Representa o fluxo macro de um processo, identificando fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes. É útil nas etapas iniciais do DMAIC para delimitar escopo e entendimento geral (NANDAKUMAR, SALEESHYA e HARIKUMAR, 2020).

O domínio dessas ferramentas proporciona uma base sólida para a execução de projetos Lean Six Sigma, favorecendo decisões embasadas em dados e promovendo

ganhos sustentáveis em desempenho organizacional. No entanto, essas representam apenas algumas das diversas ferramentas disponíveis dentro da metodologia. A escolha das ferramentas mais adequadas deve considerar as características específicas de cada processo e os tipos de problemas enfrentados, sendo possível utilizar outras técnicas conforme a complexidade, a natureza da causa raiz ou o estágio do projeto. A flexibilidade na aplicação das ferramentas é um dos fatores que tornam o Lean Six Sigma uma abordagem poderosa e adaptável para a melhoria contínua.

2.3. PRINCÍPIOS DAS METODOLOGIAS ÁGEIS

As metodologias ágeis surgiram como uma resposta à rigidez e morosidade dos modelos tradicionais de gestão de projetos, notadamente o modelo em cascata, amplamente utilizado até o início dos anos 2000. O Manifesto Ágil, publicado em 2001, delineou princípios que reorientaram o desenvolvimento de software e, posteriormente, influenciaram a gestão de processos industriais e de negócios. Em sua essência, as metodologias ágeis valorizam a adaptabilidade, a colaboração e a entrega incremental de valor ao cliente (TRIPATHI et al.,2021).

No contexto da indústria e da gestão de melhoria contínua, esses princípios assumem uma relevância crescente, especialmente em ambientes dinâmicos e de alta complexidade (AMARAL et al., 2025). Entre os princípios fundamentais das metodologias ágeis destacam-se:

- Foco na entrega contínua de valor: Em vez de esperar longos ciclos de desenvolvimento, as metodologias ágeis preconizam entregas incrementais e frequentes, aumentando a velocidade de percepção de valor por parte do cliente (TRIPATHI et al.,2021).
- Adaptação a mudanças: Diferentemente dos métodos tradicionais, onde as mudanças são evitadas, o ágil acolhe a mudança como uma vantagem competitiva. Essa adaptabilidade é crítica em setores onde regulamentações e expectativas de clientes evoluem rapidamente (AMARAL et al., 2025).
- Colaboração intensiva: Equipes ágeis são autônomas e multifuncionais, enfatizando a comunicação contínua entre membros da equipe e com as partes interessadas, garantindo que o conhecimento flua e os problemas sejam solucionados de maneira colaborativa (AMARAL et al., 2025).

- Feedback rápido e ciclos curtos de aprendizado: Iterações curtas permitem a experimentação e o ajuste contínuo, proporcionando aprendizado acelerado e incremento progressivo na qualidade e no alinhamento com as necessidades do cliente (AMARAL et al., 2025).

Tais princípios são operacionalizados por meio de frameworks como o Scrum, que organiza o trabalho em ciclos de desenvolvimento curtos denominados sprints, e o Kanban, que promove a visualização e controle do fluxo de trabalho de forma contínua e adaptativa (AMARAL et al., 2025). Em ambientes industriais, a incorporação desses princípios possibilita maior agilidade na implementação de melhorias de processos e maior aderência às exigências de inovação constante.

2.4. DIFERENÇAS E PONTOS DE SINERGIA ENTRE LSS E AGILE

Embora Lean Six Sigma (LSS) e as metodologias ágeis tenham origens distintas e enfoques próprios, como apresentado no Quadro 2.1, há uma convergência entre essas abordagens na busca por maior eficiência, qualidade e adaptabilidade organizacional.

Quadro 2.1. Principais diferenças entre Lean Six Sigma e Metodologias Ágeis.

Aspecto	Lean Six Sigma (LSS)	Metodologias Ágeis
Origem	Manufatura e engenharia de processos	Desenvolvimento de software
Objetivo Principal	Redução de desperdícios e variabilidade para aumento da eficiência e qualidade	Entrega rápida de valor e adaptação contínua às mudanças
Estrutura de Trabalho	Ciclo DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) baseado em dados e análise estatística	Ciclos iterativos e incrementais (sprints), orientados a feedback rápido
Foco Temporal	Longo prazo, projetos estruturados e analíticos	Curto prazo, foco na entrega rápida e frequente
Base de Decisão	Dados quantitativos e rigor estatístico	Colaboração e adaptação com base em feedback qualitativo e interações constantes
Ritmo de Mudança	Melhorias incrementais planejadas	Mudanças frequentes e adaptativas, conforme necessidades emergentes

Fonte: Elaboração da autora

Enquanto o LSS baseia-se em ciclos mais longos, com rigorosa análise estatística e foco na estabilidade dos processos, o ágil privilegia a flexibilidade e a capacidade de adaptação em resposta rápida a mudanças de requisitos e de mercado.

Apesar das diferenças, LSS e Agile compartilham fundamentos que, quando integrados, podem resultar em um modelo híbrido altamente eficiente:

- Foco no cliente: Ambas as metodologias priorizam a entrega de valor ao cliente, ainda que o façam por caminhos diferentes — o LSS busca eficiência e qualidade, enquanto o Ágil enfatiza a adaptação contínua às necessidades do cliente (TRIPATHI et al., 2021; PACHECO, 2014; NANDAKUMAR, SALEESHYA e HARIKUMAR, 2020).
- Cultura de melhoria contínua: O conceito de Kaizen, fundamental no Lean, tem paralelo nos processos de retrospectiva das metodologias ágeis, onde equipes avaliam e ajustam continuamente suas práticas (NIKIFOROVA e BICEVSKA, 2018; AMARAL et al., 2025).
- Trabalho em equipe e colaboração: Tanto o LSS quanto o Ágil reconhecem que a excelência em processos é atingida por meio de equipes motivadas, colaborativas e engajadas (AMARAL et al., 2025).
- Entrega incremental: A filosofia de dividir melhorias em incrementos manejáveis é presente tanto no Scrum, com seus sprints, quanto em iniciativas Lean orientadas por eventos Kaizen rápidos e focados (NIKIFOROVA e BICEVSKA, 2018; AMARAL et al., 2025).
- Visibilidade e gestão visual: O uso de painéis Kanban, prática comum nas metodologias ágeis, complementa as ferramentas Lean de gestão visual de fluxo e indicadores de desempenho (PUSHUG et al., 2024; AMARAL et al., 2025).

Conforme MUNDRA, MISHRA e MISHRA (2021), a combinação de Lean Six Sigma e Agile favorece uma abordagem mais abrangente, na qual a estrutura e o rigor do LSS proporcionam a base necessária para melhorias robustas e sustentáveis, enquanto o Ágil confere a flexibilidade necessária para reagir rapidamente às mudanças e estimular a inovação.

Esta integração tem se mostrado particularmente eficaz em ambientes industriais complexos, onde a necessidade de inovação contínua deve coexistir com o rigor da qualidade e da conformidade regulatória (PUSHUG et al., 2024; AMARAL et al., 2025; ORTEGA, AMRANI e VALLESPER, 2022; NANDAKUMAR, SALEESHYA e HARIKUMAR, 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão bibliográfica sistematizada, com o objetivo de reunir, analisar e discutir publicações acadêmicas relevantes acerca da integração entre as metodologias Lean Six Sigma e Ágil, com foco na aplicação na indústria química e de processos. A revisão teve como finalidade identificar sinergias, desafios e impactos resultantes da combinação dessas abordagens.

As principais bases de dados utilizadas para a coleta de material foram: Portal de Periódicos da CAPES, SciELO e ScienceDirect, devido à sua ampla cobertura de publicações científicas na área de Engenharia, Gestão de Processos e Qualidade. A escolha dessas bases visou garantir a confiabilidade, diversidade e atualidade dos artigos selecionados.

A estratégia de busca contemplou o uso de palavras-chave combinadas de forma variável, incluindo os termos: Lean Six Sigma, Agile, Chemical Industry, Process Industry. Para assegurar a atualidade das publicações, foi aplicado um filtro temporal, restringindo os resultados a artigos publicados a partir de 2020.

Após a extração dos artigos com base nos critérios descritos, foi realizado um processo de triagem qualitativa. Cada artigo identificado foi lido e avaliado de forma resumida quanto à sua relevância para os objetivos deste trabalho. A avaliação foi realizada com base em critérios como: alinhamento com o tema central, profundidade da abordagem metodológica e aplicabilidade na indústria química. Com base nesses critérios, os artigos foram classificados em uma escala de 0 a 10, sendo que os artigos com nota mais próxima de 10 foram considerados mais relevantes e, portanto, utilizados como base principal para a construção dos capítulos teóricos e da discussão.

Além da busca geral pelas palavras-chave principais, pesquisas complementares foram realizadas conforme a necessidade de aprofundamento de tópicos específicos presentes na estrutura do trabalho. Esses tópicos incluíram, entre outros, Kaizen, SIPOC, e Metodologias Ágeis, de forma a embasar adequadamente os conceitos e modelos apresentados em cada seção deste trabalho. Nesses casos, foram utilizadas tanto as mesmas bases de dados já mencionadas quanto, ocasionalmente, fontes secundárias confiáveis para fins conceituais. Por fim, os dados extraídos foram organizados e analisados de maneira a permitir uma compreensão integrada da literatura disponível, identificando pontos de convergência, lacunas e oportunidades para estudos futuros, com foco no aprimoramento de práticas de melhoria contínua na indústria química.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ANÁLISE COMPARATIVA DAS ABORDAGENS

A literatura revisada demonstra que a integração entre Lean Six Sigma (LSS) e metodologias ágeis é uma tendência crescente em organizações que buscam otimizar processos com foco tanto em eficiência quanto em flexibilidade. Lean e Six Sigma, por si só, são metodologias amplamente consolidadas na indústria e em serviços, enquanto as abordagens ágeis surgem como resposta às mudanças rápidas de mercado e à necessidade de entregas interativas e colaborativas. A integração entre esses modelos permite unir a disciplina analítica e estatística do LSS com a adaptabilidade e a rapidez das abordagens ágeis, potencializando os resultados em termos de melhoria contínua, tempo de resposta e orientação ao cliente (TRIPATHI et al., 2021; AMARAL et al., 2025).

No capítulo 2.4 (DIFERENÇAS E PONTOS DE SINERGIA ENTRE LSS E AGILE), vemos que apesar das diferenças estruturais e conceituais entre Lean Six Sigma (LSS) e metodologias ágeis, há diversos pontos de convergência que tornam a integração dessas abordagens não apenas possível, mas desejável em contextos organizacionais dinâmicos. O LSS baseia-se em ciclos definidos, uso intensivo de dados e ferramentas estatísticas para promover estabilidade e excelência operacional. Já as metodologias ágeis priorizam entregas iterativas, feedback constante e flexibilidade para mudanças, o que permite maior velocidade de adaptação e foco na experiência do cliente.

As diferenças entre essas abordagens, longe de representarem conflitos, criam complementaridades. Enquanto o LSS parte da premissa de que a variabilidade é um inimigo da qualidade e deve ser rigorosamente controlada, o ágil reconhece que mudanças são inevitáveis e devem ser acolhidas e gerenciadas rapidamente. No entanto, ambos valorizam a entrega de valor ao cliente e o envolvimento das equipes, sendo esse um ponto central de sinergia.

A disciplina do ciclo DMAIC do LSS — Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar — pode ser enriquecida com práticas ágeis como sprints, reuniões diárias, gestão visual com quadros Kanban e retrospectivas frequentes, criando um ambiente que favorece tanto a estabilidade quanto a inovação. Em contrapartida, a estrutura oferecida pelo LSS pode ajudar equipes ágeis a tomar decisões mais robustas e baseadas em dados, promovendo maior maturidade na resolução de problemas e redução de desperdícios nos processos.

Estudos como os de MUNDRA et al. (2021) e TRIPATHI et al. (2021) apontam que essa integração promove uma abordagem mais holística de melhoria contínua, unindo rigor metodológico à capacidade de adaptação frente à volatilidade dos mercados. Já AMARAL et al. (2025) demonstram, na prática, que a combinação de sprints ágeis com etapas do DMAIC resultou em ganhos expressivos de produtividade e engajamento de equipes em empresas brasileiras.

Além disso, o uso combinado de ferramentas analíticas do LSS — como FMEA, análise de Pareto, VSM e controle estatístico de processos — com instrumentos ágeis de priorização e comunicação, permite um ciclo de melhoria mais curto, validado em tempo real com as partes interessadas, e sustentado por dados quantitativos e qualitativos.

Na prática, essa integração requer não apenas o domínio técnico das ferramentas envolvidas, mas também uma mudança de mentalidade organizacional, que aceite o paradoxo entre controle e flexibilidade como um fator estratégico. Isso inclui o incentivo à experimentação com segurança, ciclos curtos de aprendizado e a valorização do erro como insumo para inovação — elementos historicamente mais presentes em ambientes ágeis, mas que podem e devem ser incorporados em projetos Lean Six Sigma.

Portanto, a intersecção entre LSS e Agile não deve ser vista como uma fusão artificial de métodos distintos, mas sim como uma evolução natural da melhoria contínua em resposta às demandas do século XXI, onde excelência operacional e agilidade de negócio não são mais objetivos isolados, mas sim interdependentes.

4.2. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO CONJUNTA OU COMPLEMENTAR

Os estudos apontam diversos benefícios na aplicação conjunta do Lean Six Sigma com metodologias ágeis. De acordo com AMARAL et al. (2025), a integração dessas abordagens no processo de gestão de pedidos resultou em melhorias expressivas no desempenho operacional da empresa analisada. Houve redução significativa do tempo de ciclo, aumento da eficiência do processo e avanços nos principais indicadores críticos de qualidade (CTQ), especialmente nos setores de atendimento ao cliente, planejamento e logística. A análise identificou uma taxa de defeitos de 409.491 por milhão de oportunidades e uma capacidade sigma inicial de 1,5, que, após as ações de melhoria, foi elevada para 3,88. O uso de sprints ágeis durante a fase de melhoria permitiu respostas mais rápidas às mudanças e maior alinhamento com as entregas do ciclo DMAIC, favorecendo decisões mais assertivas e uma cultura organizacional orientada à melhoria

contínua. Esses resultados demonstram o potencial da abordagem integrada como modelo replicável para outros processos e contextos industriais.

Essa sinergia é reforçada por TRIPATHI et al. (2021), que mostram que a integração de práticas enxutas, verdes e ágeis, apoiadas em tecnologias da Indústria 4.0, favorece ganhos sustentáveis e maior alinhamento com os objetivos estratégicos das organizações. O modelo proposto pelos autores, validado por especialistas da indústria e da academia, combina a eliminação de desperdícios com a adaptação ágil e o uso de tecnologias inteligentes, permitindo uma gestão mais sustentável e responsiva frente aos desafios contemporâneos da manufatura.

A análise conduzida por CORRÊA JÚNIOR e BORGES (2018), com base em quatro estudos de caso, evidencia de forma contundente os benefícios da aplicação integrada das metodologias Lean e Six Sigma em diferentes contextos organizacionais. Dentre os resultados financeiros mais expressivos, destaca-se o caso de uma empresa do setor automotivo, que obteve um retorno de R\$ 1.000.000,00 a partir de um investimento de R\$ 550.000,00, e de uma empresa do setor de serviços, cujo retorno anual ultrapassou R\$ 4.000.000,00 frente a um investimento inicial de R\$ 1.500.000,00. Em uma distribuidora de gás liquefeito de petróleo, observou-se aumento da margem líquida e redução de 30% no tempo médio de saída dos veículos, resultando em um ganho financeiro anual de R\$ 66.812,40.

Adicionalmente, uma indústria de corte e dobra de aço obteve uma redução de 72,68% na perda metálica, gerando economia de R\$ 22.988,87, enquanto uma indústria metalúrgica alcançou redução de 15% nos custos logísticos após a aplicação do ciclo DMAIC. Para além dos indicadores quantitativos, os estudos também relataram melhorias qualitativas, como padronização dos processos, maior controle operacional, incremento na satisfação dos clientes, redução de conflitos internos e fortalecimento da cultura de melhoria contínua e do conhecimento técnico das equipes.

Outro exemplo relevante é o estudo conduzido por PUSHUG et al. (2024), que aplicou o DMAIC em uma linha de empacotamento de detergente em pó de uma indústria equatoriana. O OEE (Overall Equipment Effectiveness) aumentou de 62,42% para 77,58%, superando em 5% a meta inicial. A disponibilidade das máquinas subiu de 81,52% para 88,84%, enquanto o desempenho foi elevado de 76,60% para 87,58%, com a qualidade mantida próxima de 100%. O tempo médio de troca de formato caiu de 55 para 34 minutos, por meio da implementação de ferramentas como SMED, padronização de parâmetros e sistemas à prova de erro (Poka-Yoke). Houve também redução do custo por

embalagem (de USD 0,524 para USD 0,478), resultando em economia mensal estimada de USD 71.442,05, além de ganhos energéticos com redução média de 10,4 kW por final de semana.

Complementando essa discussão, o estudo de LUIZ et al. (2020) relata a aplicação do Lean Six Sigma em uma indústria química com foco na redução de perdas no processo de envase de lubrificantes. O índice de retrabalho caiu de 6,26% para 0,48%, representando uma redução de aproximadamente 92%, e o tempo de ciclo do processo foi reduzido em 10,4%, aumentando a produtividade. As causas principais estavam relacionadas a desvios nos parâmetros de pesagem, que foram eliminados com a padronização de procedimentos e capacitação das equipes. A aplicação estruturada de ferramentas como SIPOC, Mapeamento de Processo, Diagrama de Causa e Efeito, 5 Porquês e Matriz de Priorização foi essencial para a sustentação das melhorias. O estudo reforça a eficácia do Lean Six Sigma na resolução de problemas operacionais complexos e na consolidação de uma cultura de melhoria contínua em contextos industriais com alta exigência técnica.

4.3. IMPACTOS OBSERVADOS NA INDÚSTRIA QUÍMICA

O estudo conduzido por MUNDRA et al. (2021) apresenta um modelo estruturado para identificar e classificar os principais habilitadores (enablers) que influenciam a implementação integrada das metodologias Lean Six Sigma (LSS) e Agile Manufacturing (AM). Por meio da aplicação do Interpretive Structural Modeling (ISM) e da análise MIC-MAC, os autores identificaram 18 fatores críticos, dentre os quais se destacam o comprometimento da alta gestão e a cultura organizacional como os elementos com maior poder de direcionamento e menor dependência em relação aos demais. Esses dois habilitadores foram posicionados na base da estrutura hierárquica do modelo, indicando que sua integração é fundamental para o sucesso da aplicação conjunta do LSS e do AM.

Além disso, o estudo mostrou que não há habilitadores autônomos, ou seja, todos os fatores são interdependentes e devem ser considerados de forma integrada. A proposta resultou na construção de um framework prático e visual, que oferece às organizações um guia estruturado para a adoção dessas metodologias em ambientes de manufatura dinâmica, reforçando o potencial competitivo da combinação entre eficiência operacional, flexibilidade e qualidade.

Complementarmente, no estudo conduzido por FERREIRA e CUNHA (2022), realizado com consultores atuantes em empresas portuguesas, foram identificadas as ferramentas mais críticas para a implementação eficaz do Lean Six Sigma. Destacam-se Hoshin Kanri, Voice of the Customer (VOC), mapeamento do fluxo de valor (VSM), 5S, brainstorming, diagrama de Pareto e análise de causa raiz. Essas ferramentas foram avaliadas quanto à frequência de uso, dificuldade de aplicação e impacto percebido, sendo que muitas delas foram classificadas como "quick wins", de fácil implementação e com resultados ágeis.

Além de promoverem decisões baseadas em dados, essas ferramentas são compatíveis com a lógica interativa, colaborativa e incremental das metodologias ágeis, reforçando a sinergia entre LSS e abordagens flexíveis de gestão. Por outro lado, ferramentas como FMEA e TPM apresentaram maior resistência na aplicação por exigirem mudanças estruturais mais profundas. Os resultados fornecem subsídios relevantes para a priorização estratégica de ferramentas em contextos organizacionais que buscam eficiência com agilidade.

No campo da transformação digital, o estudo de ORTEGA, AMRANI e VALLESPER (2022) demonstra que a integração entre práticas Lean e tecnologias da Indústria 4.0 gera impactos positivos no desempenho organizacional. Entre os principais ganhos observados estão a redução do lead time, custos e estoques, além de melhorias em qualidade, flexibilidade, manutenção preditiva e rastreabilidade. A pesquisa destaca que a maturidade Lean é essencial para o sucesso da transformação digital e propõe um modelo que apoia decisões gerenciais de forma estratégica e sustentável.

A análise conduzida por SOUZA et al. (2016) reforça a aplicabilidade e versatilidade do LSS em diferentes contextos organizacionais. O levantamento de artigos em periódicos internacionais mostrou que a metodologia tem sido empregada com sucesso em setores como mineração, serviços de saúde, logística e cadeia de suprimentos. Os principais impactos observados incluem ganhos em produtividade, segurança, qualidade e agilidade dos processos, além de integração com outras áreas organizacionais, contribuindo para a redução de custos e aumento da satisfação do cliente.

Outro achado relevante desse estudo é que cerca de metade dos artigos analisados utilizou métodos empíricos, o que reforça a confiabilidade dos resultados relatados e evidencia o potencial do LSS para apoiar a concepção de sistemas complexos voltados à excelência operacional.

Por fim, o estudo de TORTORELLI e ARANTES (2024) analisou a aplicação do Lean Six Sigma na indústria de processos químicos no Brasil, com foco nas barreiras enfrentadas e nos impactos observados quando a metodologia é implementada com sucesso. Os resultados indicam que organizações que superaram resistências internas apresentaram melhorias significativas na produtividade e no desempenho dos processos.

O sucesso da aplicação esteve fortemente associado ao envolvimento dos colaboradores, à realização de treinamentos adequados e à existência de uma cultura organizacional orientada à melhoria contínua. Em contrapartida, nos casos em que persistiram barreiras como a ausência de apoio da alta liderança, falhas na comunicação e baixa maturidade organizacional, os projetos não geraram resultados expressivos, sendo em alguns casos interrompidos antes de atingir seus objetivos. Esses achados reforçam a importância dos fatores estruturais e culturais para a efetividade do LSS em contextos industriais complexos.

4.4. DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES

Embora a integração entre Lean Six Sigma (LSS) e metodologias ágeis apresenta benefícios comprovados em termos de eficiência, flexibilidade e orientação ao cliente, sua aplicação prática ainda encontra barreiras relevantes. SINGH, KASWAN e RATHI (2024), por meio das técnicas ISM-MICMAC, identificam e hierarquizam os principais obstáculos à implementação integrada, destacando a ausência de suporte efetivo da alta gestão, a resistência cultural à mudança e falhas de comunicação interdepartamental como os fatores mais críticos. Esses elementos comprometem a coerência das ações de melhoria e dificultam o alinhamento entre as equipes envolvidas. O modelo proposto pelos autores reforça que a superação desses entraves requer uma liderança comprometida, treinamentos contínuos e o estabelecimento de metas e objetivos claros e compartilhados entre os níveis organizacionais.

PACHECO (2014) amplia a discussão ao apontar que a coexistência de múltiplas abordagens de gestão pode dar origem a subculturas organizacionais distintas e, por vezes, conflitantes. Nesse sentido, a integração eficaz entre LSS e metodologias ágeis demanda uma análise contextualizada dos tipos de problemas enfrentados e a definição clara de qual abordagem deve assumir a condução conforme a natureza do desafio — seja ele mais exploratório, voltado à inovação, ou mais estruturado, com foco em estabilidade e controle. O autor recomenda que a implantação ocorra de forma incremental, por meio de

projetos-piloto em processos de alta visibilidade e impacto estratégico, o que facilita o aprendizado organizacional e a replicabilidade de boas práticas. Além disso, é essencial estabelecer uma infraestrutura de governança que contemple papéis bem definidos, mecanismos de coordenação e indicadores integrados.

Com base nos achados de TORTORELLI e ARANTES (2024), reforça-se a necessidade de criar mecanismos institucionais que sustentem as iniciativas de melhoria contínua, como repositórios de conhecimento acessíveis, programas de incentivo e reconhecimento, além do alinhamento explícito entre os projetos LSS-Ágil e os objetivos estratégicos da organização. Em particular na indústria química, onde a complexidade dos processos exige rigor técnico e resposta rápida às demandas do mercado, a sinergia entre essas abordagens deve ser orientada não apenas à eficiência operacional, mas também à inovação, sustentabilidade e ao desenvolvimento de uma cultura organizacional adaptativa.

5. CONCLUSÕES

O Lean Six Sigma se destaca como uma metodologia importante na indústria química, onde a complexidade operacional, os rigorosos requisitos regulatórios e os altos padrões de qualidade e segurança são a norma. Ao combinar os princípios de redução de desperdícios do Lean com a precisão e o foco em dados do Six Sigma, o LSS oferece uma abordagem estruturada e eficaz para alcançar melhorias. Sua aplicação permite que as empresas químicas aumentem a eficiência dos processos, reduzam a variabilidade, reduzam custos e garantam a consistência da qualidade do produto, mantendo a conformidade e a segurança. À medida em que crescem a concorrência global e as expectativas dos clientes, a adoção de estratégias como o Lean Six Sigma vai além somente da excelência operacional, ela se torna, também, um fator chave para sustentar a competitividade no setor químico. A seguir, são feitas conclusões específicas deste trabalho:

5.1. SÍNTESE DOS ACHADOS

A presente revisão evidenciou que a integração entre Lean Six Sigma (LSS) e metodologias ágeis representa uma estratégia promissora para a melhoria contínua de processos em ambientes industriais complexos e altamente regulamentados, como a indústria química. A literatura analisada revela que, embora LSS e ágil possuam origens distintas, seus pontos de convergência oferecem potencial elevado para ganhos de eficiência, qualidade e agilidade (MUNDRA et al., 2021; TRIPATHI et al., 2021; AMARAL et al., 2025).

Entre as principais sinergias identificadas, destacam-se:

- Entrega incremental e ciclos curtos de melhoria: as metodologias ágeis, por meio de sprints, permitem ajustes rápidos e contínuos, enquanto o ciclo DMAIC do LSS garante a estruturação rigorosa das ações de melhoria (AMARAL et al., 2025).
- Foco no cliente e no valor agregado: ambas as abordagens priorizam a geração de valor para o cliente, sendo o LSS centrado na eliminação de desperdícios e redução de variabilidade, e o ágil voltado à adaptação às mudanças e atendimento rápido às necessidades do mercado (TRIPATHI et al., 2021).
- Complementaridade de ferramentas: a integração de técnicas como Value Stream Mapping (VSM), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), 5S, Kanban e

Poka-Yoke fortalece tanto a análise quanto a execução de melhorias (NIKIFOROVA; BICEVSKA, 2018; PUSHUG et al., 2024).

- Resultados mensuráveis: estudos empíricos demonstram que a aplicação conjunta dessas metodologias possibilita ganhos substanciais em indicadores como sigma, tempo de ciclo, Overall Equipment Effectiveness (OEE) e redução de custos (PUSHUG et al., 2024; AMARAL et al., 2025).

Exemplificando, Amaral et al. (2025) demonstraram aumento significativo da capacidade sigma de processos de gestão de pedidos em uma empresa do setor de sementes, elevando o índice de 1,5 para 3,88, com expressiva redução do tempo de ciclo e dos defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), ao aplicar o DMAIC aliado a sprints ágeis. Da mesma forma, Pushug et al. (2024) relataram, em uma linha de envase de detergente em pó, incremento de 15% na performance geral, redução de até 20% no consumo de energia e economia mensal de mais de USD 70 mil, a partir da aplicação do DMAIC com práticas Lean como Poka-Yoke e padronização.

Contudo, diversos desafios para a integração foram identificados, especialmente em contextos de alta regulamentação, como a indústria química, onde as exigências de rastreabilidade, documentação e cumprimento rigoroso de normas podem dificultar a aplicação de ciclos ágeis curtos (SINGH; KASWAN; RATHI, 2024). Além disso, limitações culturais, baixa maturidade em metodologias ágeis e resistência à mudança são barreiras recorrentes apontadas pela literatura (SINGH; KASWAN; RATHI, 2024; PACHECO, 2014).

5.2. CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA

Este estudo oferece importantes contribuições práticas para profissionais e organizações que atuam na melhoria de processos, especialmente na indústria química. Primeiramente, reforça-se a viabilidade de aplicar modelos híbridos que combinem os fundamentos do Lean Six Sigma (LSS) com a lógica incremental e colaborativa das metodologias ágeis. Tal combinação viabiliza não apenas ganhos operacionais, mas também uma gestão de mudanças mais fluida, adaptável e engajadora.

A análise dos estudos revela que empresas que implementaram a integração LSS-Ágil conseguiram ganhos expressivos de produtividade, qualidade e retorno financeiro, mesmo em setores altamente regulados e tecnicamente complexos (CORRÊA JÚNIOR; BORGES, 2018; PUSHUG et al., 2024). Assim, organizações que enfrentam

desafios semelhantes podem se beneficiar da adoção progressiva dessa abordagem integrada, iniciando com projetos-piloto, escolhendo ferramentas adequadas ao seu contexto e investindo na capacitação dos times envolvidos. A aplicação bem-sucedida do LSS em uma indústria química brasileira, conforme relatado por LUIZ et al. (2020), comprova que melhorias estruturais e sustentáveis podem ser alcançadas mesmo em realidades com limitações orçamentárias e operacionais.

Além dessas evidências, a partir dos achados desta revisão sistemática, é possível elencar diretrizes práticas para organizações químicas que desejam adotar modelos híbridos Lean Six Sigma-Ágil, potencializando a eficiência operacional e a capacidade de adaptação sem comprometer os rigorosos requisitos de qualidade e segurança do setor:

- Implementar projetos-piloto em processos críticos e de alta visibilidade, de forma a avaliar barreiras, validar práticas e gerar resultados que fortaleçam a cultura de melhoria contínua.
- Combinar backlog ágil com objetivos do DMAIC, garantindo que as tarefas priorizadas reflitam impactos tangíveis sobre métricas de qualidade, tempo de ciclo e redução de custos (AMARAL et al., 2025).
- Treinar equipes multidisciplinares em práticas Lean, ferramentas estatísticas e metodologias ágeis, fomentando cultura colaborativa e competências essenciais para lidar com processos complexos e regulamentados (SINGH et al., 2022).
- Integrar indicadores de desempenho ágeis e LSS, como lead time, DPMO, sigma e OEE, permitindo acompanhamento em tempo real e alinhamento entre progresso operacional e metas estratégicas (PUSHUG et al., 2024; TRIPATHI et al., 2021).
- Fortalecer liderança e governança, assegurando patrocínio de gestores seniores, definição clara de papéis e comunicação efetiva para superar resistências culturais e consolidar a integração metodológica (MUNDRA et al., 2021; SINGH; KASWAN; RATHI, 2024).

Essas diretrizes, embasadas em estudos de diferentes setores industriais, mostram-se aplicáveis à indústria química, desde que adaptadas à complexidade dos processos, às exigências legais e às características específicas do setor.

5.3. LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

Como limitação principal deste trabalho, destaca-se o fato de que, embora a análise tenha sido fundamentada em artigos acadêmicos relevantes e atualizados, a maioria dos

estudos analisados concentra-se em setores diversos como TI, manufatura, logística e serviços, havendo ainda uma lacuna de publicações específicas voltadas à indústria química. Além disso, muitos dos artigos possuem natureza teórica ou exploratória, o que limita a generalização dos resultados em diferentes realidades produtivas.

Outro ponto crítico refere-se à escassez de estudos de integração LSS-Ágil em contextos industriais fortemente regulados, com exigência de rastreabilidade, controle estatístico, segurança de processos e conformidade ambiental — características comuns à indústria química. Essa lacuna evidencia a necessidade de pesquisas que investiguem como adaptar a flexibilidade das metodologias ágeis sem comprometer os rigorosos padrões de conformidade exigidos pelo setor.

Dessa forma, sugerem-se como direções futuras para pesquisa:

- Realização de estudos empíricos aplicados especificamente ao setor químico, analisando a viabilidade, barreiras e impactos da integração LSS-Ágil em processos químicos regulados;
- Desenvolvimento de frameworks práticos, adaptados à realidade de empresas químicas, com diretrizes claras para implementação gradual de metodologias híbridas;
- Investigação sobre o papel das tecnologias da Indústria 4.0 (como IoT, Big Data, sistemas MES e analytics preditivo) na mediação dessa integração, conforme apontado por ORTEGA; AMRANI e VALLESPER (2022);
- Análises comparativas entre empresas que adotam abordagens puramente LSS, puramente ágeis e híbridas, avaliando indicadores como tempo de ciclo, qualidade, retorno financeiro e satisfação do cliente;
- Estudos sobre a influência da cultura organizacional e da liderança na adoção de modelos híbridos, com foco na construção de ambientes colaborativos e orientados a resultados sustentáveis.

Conclui-se, portanto, que a convergência entre Lean Six Sigma e metodologias ágeis representa uma oportunidade estratégica para promover inovação e excelência operacional na indústria química, desde que haja preparo organizacional, liderança ativa e alinhamento metodológico para a condução dessa integração.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste Trabalho de Graduação (TG) proporcionou a oportunidade de aprofundar o conhecimento sobre metodologias de melhoria contínua, com especial atenção à integração entre Lean Six Sigma e abordagens ágeis em contextos industriais complexos. O desenvolvimento da pesquisa reforçou a importância de soluções híbridas para lidar com os desafios multifacetados da indústria química, onde a busca por eficiência deve coexistir com elevados padrões de qualidade, rastreabilidade e adaptação a regulações rigorosas.

A formação em Engenharia Química da UFSCar foi essencial para sustentar a análise crítica e sistemática das metodologias estudadas. Ao longo do curso, os conhecimentos adquiridos em disciplinas como operações unitárias, controle de processos, engenharia econômica e estatística aplicada ofereceram uma base sólida para compreender os fundamentos técnicos dos sistemas produtivos e os critérios que regem sua melhoria.

Ao abordar um tema interdisciplinar e atual, este trabalho também contribuiu para a consolidação de uma visão mais abrangente sobre o papel do engenheiro químico na transformação e na inovação organizacional. A aplicação de metodologias de gestão de processos e projetos, tradicionalmente associadas à engenharia de produção e à tecnologia da informação, revelou-se extremamente pertinente ao cotidiano da indústria química, que cada vez mais exige profissionais com habilidades analíticas, sistêmicas e colaborativas.

Além disso, o tema explorado neste trabalho complementa a formação acadêmica ao estimular o pensamento estratégico e a capacidade de tomada de decisão com base em dados. A abordagem Lean-Ágil, quando bem conduzida, viabiliza entregas mais rápidas, decisões mais alinhadas às necessidades do cliente e maior envolvimento das equipes, características que dialogam diretamente com os desafios enfrentados na atuação prática de engenheiros químicos em fábricas, centros de pesquisa e ambientes regulados.

Conclui-se, portanto, que o estudo desenvolvido não apenas se beneficiou da formação técnica e científica oferecida pela UFSCar, como também contribuiu para expandi-la. Ao integrar os conhecimentos da engenharia química com ferramentas de gestão e melhoria contínua, o trabalho reforça o papel estratégico do engenheiro químico na construção de processos mais eficientes, inovadores e sustentáveis, condizentes com as demandas da indústria e com os compromissos da engenharia com o desenvolvimento tecnológico e social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, C. S. do; COTAET, O. V.; BOCHETTI, F. A. S.; BERSSANETI, F. T. Combining Lean Six Sigma and agile approach to optimize order management: action research in a Brazilian company. *International Journal of Lean Six Sigma*, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 346–377, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2023-0182>. Acesso em: 17 maio 2025.

CORRÊA JÚNIOR, M. B.; BORGES, W. da S. A aplicação das metodologias Lean Seis Sigma: uma análise comparativa de estudos de casos publicados em periódicos. *Revista GeTeC: Gestão, Tecnologia e Ciências*, Monte Carmelo, v. 7, n. 15, p. 37-57, 2018. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/1188/862>. Acesso em: 17 maio 2025.

FERREIRA, D.; CUNHA, P. Ranking critical tools in the implementation of Lean Six Sigma as an integrated management system in Portugal. *arXiv preprint arXiv:2212.00088*, [S.l.], 30 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.00088>. Acesso em: 17 maio 2025.

LUIZ, L. C.; TYBUSZEUSKY, J. M. L.; DE GENARO CHIROLI, D. M. Implementação da metodologia Lean Six Sigma em uma indústria química. *Navus – Revista de Gestão e Tecnologia*, Tubarão, v. 10, p. 1–18, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.22279/navus.2020.v10.p01-18.1202>. Acesso em: 18 maio 2025.

MUNDRA, N.; MISHRA, R. P.; MISHRA, A. Enablers for Lean Six Sigma and Agile Implementation: An Interpretive Structural Modeling Approach. In: DWIVEDI, M. M.; CHANDRA, A.; KANKAR, P. K. (ed.) *Recent Advances in Mechanical Engineering*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2021. p. 377–384. DOI: 10.1007/978-981-15-8704-7_47. Acesso em: 17 maio 2025.

NANDAKUMAR, N.; SALEESHYA, P. G.; HARIKUMAR, P. Bottleneck identification and process improvement by Lean Six Sigma DMAIC methodology. *Materials Today: Proceedings*, [S.l.], v. 24, pt. 2, p. 1217–1224, 2020. ISSN 2214-7853. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.436>. Acesso em: 17 maio 2025.

NIKIFOROVA, A.; BICEVSKA, Z. Application of LEAN principles to improve business processes: a case study in Latvian IT company. *Baltic Journal of Modern Computing*, Riga, v. 6, n. 3, p. 247–270, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22364/bjmc.2018.6.3.03>. Acesso em: 17 maio 2025.

ORTEGA, I. U.; AMRANI, A. Z.; VALLESPER, B. Modeling integration of Lean and technologies of Industry 4.0 for enterprise performance. In: IFAC CONFERENCE ON MANUFACTURING MODELLING, MANAGEMENT AND CONTROL – MIM 2022, 10., 2022, Nantes, França. Anais [...]. [S.l.]: IFAC, 2022. p. 2067–2072. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.012>. Acesso em: 17 maio 2025.

PACHECO, D. A. de J. Teoria das restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. *Production*, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 940–956, out./dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132014005000002>. Acesso em: 17 maio 2025.

PUSHUG, Juan et al. Powder Detergent Packaging Line Improvement by Lean Six Sigma DMAIC Methodology. *Enfoque UTE*, Quito, v. 15, n. 1, p. 28-35, março 2024. Disponível em: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422024000100028&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 17 maio 2025.

SINGH, M.; KASWAN, M. S. S.; RATHI, R. Empirical analysis of strategies to overcome the barriers of LSS implementation in Indian small manufacturing enterprises: an application of ISM-MICMAC. *International Journal of Lean Six Sigma*, [S.l.], v. 15, n. 4, p. 886–905, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2023-0099>. Acesso em: 17 maio 2025.

SOUZA, W. S. et al. Lean Seis Sigma: uma análise das contribuições de revistas internacionais sobre essa metodologia. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 8., 2016, São Cristóvão. Anais eletrônicos... São Cristóvão: DEPRO/UFS, 2016. p. 592-602. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/7743>. Acesso em: 17 maio 2025.

TORTORELLI, C.; ARANTES, A. Barriers to implementing Lean Six Sigma in the chemical process industry: the case of Brazil. *Sustainability*, Basel, v. 16, n. 24, p. 1–22, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su162411257>. Acesso em: 18 maio 2025.

TRIPATHI, V. et al. An innovative agile model of smart lean–green approach for sustainability enhancement in Industry 4.0. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, Basel, v. 7, n. 4, p. 1–22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/joitmc7040215>. Acesso em: 17 maio 2025.