

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO LACERDA SANTOS

**ABORDAGEM LEAN SIX SIGMA APLICADA AO PLANEJAMENTO E CONTROLE
DA PRODUÇÃO: PESQUISA-AÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

CURITIBA

2024

BRUNO LACERDA SANTOS

**ABORDAGEM LEAN SIX SIGMA APLICADA AO PLANEJAMENTO E CONTROLE
DA PRODUÇÃO: PESQUISA-AÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Lean Six Sigma approach applied to Production Planning and Control: Action
Research in civil construction**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil -
PPGEC da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Janine Nicolosi Corrêa

CURITIBA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba**



BRUNO LACERDA SANTOS

**ABORDAGEM LEAN SIX SIGMA APLICADA AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO:
PESQUISA-AÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Construção Civil.

Data de aprovação: 05 de Abril de 2024

Dra. Janine Nicolosi Correa, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Alfredo Iarozinski Neto, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Rodrigo Eduardo Catai, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Sergio Scheer, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 05/04/2024.

Dedico este trabalho à minha família, minha
fundação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao PPGEC-UTFPR pela oportunidade de desenvolver este trabalho e de cursar as disciplinas. Certamente o conhecimento adquirido será um divisor de águas na minha carreira como profissional.

Agradeço, também, a minha orientadora Prof^a Dr^a. Janine Nicolosi Corrêa por aceitar o desafio de me guiar nesta jornada e compartilhar um pouco do seu conhecimento.

À minha família, em especial à minha mãe, Prof^a Dr^a. Adriana de Paula Lacerda Santos, que foi muito mais que uma consultora.

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende e não há sucesso no que não se gerencia.”

William Edwards Deming

RESUMO

A indústria da Construção Civil, essencial para a economia e geração de empregos, enfrenta desafios em planejamento e controle operacional, com pouca adoção de metodologias como o Lean Six Sigma. Essa dissertação teve como objetivo implantar e avaliar a metodologia DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve e Control) em duas empresas da construção civil visando melhorar o processo de planejamento e controle da produção. Utilizando a abordagem de Pesquisa-ação, a metodologia DMAIC foi aplicada em cenários reais para identificar falhas e propor melhorias. As aplicações atingiram os objetivos estabelecidos, indicando que é possível a aplicação do DMAIC na construção civil. Entretanto, a pesquisa aponta dificuldades na coleta de dados e manutenção do fluxo de informações, que afetaram diretamente a capacidade de medição e análise, essenciais para o avanço das fases subsequentes do DMAIC. A cultura organizacional se mostrou uma dificuldade para a análise de riscos e implementação de indicadores de desempenho, o que se mostrou um desafio para a sustentação das melhorias. Como conclusão, o estudo ressalta que a eficácia do DMAIC na construção civil depende crucialmente da qualificação dos gestores, do uso de tecnologias adequadas como sistemas ERP e do envolvimento efetivo de toda a cadeia operacional no processo de planejamento e controle. Constata-se a adoção de práticas que fortalecem a cultura de monitoramento e gestão de dados, como o uso de dashboards e a padronização de processos e materiais, para facilitar a implementação e customização de acordo com as necessidades dos projetos.

Palavras-chave: Construção Civil; Lean Construction; Lean Six Sigma; DMAIC.

ABSTRACT

The Construction Industry, essential for the economy and job creation, faces challenges in operational planning and control, with little adoption of methodologies such as Lean Six Sigma. This dissertation aimed to implement and evaluate the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) in two construction companies to improve the process of planning and controlling production. Using the Action Research approach, the DMAIC methodology was applied in a real scenario to identify flaws and propose improvements. The applications achieved the established objectives, indicating that the application of DMAIC in construction is feasible. However, the research points out difficulties in data collection and maintaining information flow, which directly affected the ability to measure and analyze, essential for the advancement of the subsequent phases of DMAIC. The organizational culture did not favor risk analysis or the implementation of performance indicators, which posed a challenge for sustaining improvements. In conclusion, the study emphasizes that the effectiveness of DMAIC in construction critically depends on the qualification of managers, the use of appropriate technologies such as ERP systems, and the effective involvement of the entire operational chain in the planning and control process. The adoption of practices that strengthen the culture of monitoring and data management is recommended, such as the use of dashboards and the standardization of processes and materials, to facilitate implementation and customization according to project needs.

Keywords: Civil Construction; Lean Construction; Lean Six Sigma; DMAIC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de vida de um projeto	23
Figura 2 - Gráfico do nível de custos e pessoas x tempo.....	24
Figura 3 - Ciclo de planejamento e controle	27
Figura 4 - Interação entre Lean Production e Seis Sigma em um processo	34
Figura 5 - O ciclo PDCA	35
Figura 6 - Melhoramento contínuo.....	36
Figura 7 - Diagrama de Ishikawa	40
Figura 8 – SIPOC	43
Figura 9 - Clusterização por palavras chaves.....	46
Figura 10 - Clusterização por país	47
Figura 11 - Clusterização por autor	48
Figura 12 - Clusterização por autor	50
Figura 13 - Clusterização por autor	50
Figura 14 - Caracterização da pesquisa caracterização da pesquisa.....	54
Figura 15 – <i>Dashboard</i>	67
Figura 16 - Fluxograma do processo de gestão de obras	74
Figura 17 - Controle do PPCs dos terceiros por meio da ferramenta Last Planner System	87
Figura 18 – Distorções no mês de agosto de 2023 da obra corrente	88
Figura 19 - Orçamento paramétrico.....	88
Figura 20 - Roadmap - Aplicação do DMAIC segundo Werkema (2012b).....	91
Figura 21 - Roadmap demarcado.....	95
Figura 22 - Roadmap com marcação das etapas onde foram encontradas dificuldades	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução do PIB brasileiro	18
Tabela 2 - 5W2H.....	42
Tabela 3 - Exemplo de matriz GUT.....	42
Tabela 4 - Fases e etapas da pesquisa.....	55
Tabela 5 - Questionário semanal utilizado	56
Tabela 6 - Roteiro das entrevistas semiestruturada	58
Tabela 7 - Recorrência das causas.....	62
Tabela 8 - Resumo da aplicação do diagrama de Ishikawa nas causas mais significativas.....	64
Tabela 9 - 5W1H para apresentação de plano de ação	65
Tabela 10 - Obras analisadas	69
Tabela 11 - Custo Previsto X Custo Realizado	69
Tabela 12 - Aplicação da Matriz SIPOC no estudo de caso	72
Tabela 13 - Stakeholders entrevistados	73
Tabela 14 - Compilação das respostas obtidas nas entrevistas	75
Tabela 15 - Metas definidas	77
Tabela 16 - Causas levantadas.....	79
Tabela 17 - Causas priorizadas	80
Tabela 18 - Causas fundamentais.....	81
Tabela 19 - Resultado do brainstorming	82
Tabela 20 - Soluções escolhidas	83
Tabela 21 - Análise de riscos	84
Tabela 22 - Quadro de cotação de esquadrias de alumínio.....	85
Tabela 23 - Redução das esquadrias.....	85
Tabela 24 - Soluções implantadas	86
Tabela 25 – OCAP.....	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Índice de Confiança do empresário da Construção Civil.....	19
Gráfico 2 - Publicações por ano.....	44
Gráfico 3 - Publicações por país.....	45
Gráfico 4 - Número de publicações por universidade	45
Gráfico 5 - Publicações por ano.....	49
Gráfico 6 - Publicações por país.....	49
Gráfico 7 - Gráfico de Pareto das causas identificadas.....	63
Gráfico 8 - Evolução do PPC no decorrer da pesquisa	66
Gráfico 9 - Histograma de respostas	75
Gráfico 10 - Dados compilados.....	76
Gráfico 11 - Atraso na entrega dos projetos.....	77
Gráfico 12 - Distorção de prazo orçamento	78
Gráfico 13 - Distorção de prazo de projetos	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5W2H	What?, When?, Why? Who?, Where?, How? e How much?
A.A.	Ao Ano
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve, Control
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
FLP	Filosofia Lean Production
GUT	Gravidade, Urgência e Tendência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCC	Índice Nacional da Construção Civil
JIT	Just in Time
LSS	Lean Six Sigma
OCAP	Out of Control Action Plan
PCP	Planejamento e controle da produção
PDCA	Plan (planejar), Do (fazer), Control (controlar), Act (agir)
PMI	Project Management Institute
PPC	Porcentagem do planejamento concluído
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Costumers
STP	Sistema Toyota de Produção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos da pesquisa	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
1.2	Justificativa.....	18
1.3	Delimitação da Pesquisa	21
1.4	Estrutura do Trabalho	21
2	REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1	Referencial Teórico	22
2.1.1	Gestão de projetos	22
2.1.2	Planejamento e Controle da Produção (PCP)	26
2.1.3	Lean Production	27
2.1.4	Lean Construction	29
2.1.5	Planejamento e Controle de Obras	31
2.1.6	Lean Six Sigma	33
<u>2.1.6.1</u>	<u>O Ciclo PDCA.....</u>	<u>34</u>
<u>2.1.6.2</u>	<u>O DMAIC</u>	<u>36</u>
2.1.6.2.1	<i>Define: definir com precisão o escopo do projeto.....</i>	<i>37</i>
2.1.6.2.2	<i>Measure: determinar a localização ou foco do problema</i>	<i>37</i>
2.1.6.2.3	<i>Analyse: determinar as causas do problema prioritário.....</i>	<i>38</i>
2.1.6.2.4	<i>Improve: propor, avaliar, e implementar soluções para o problema prioritário.....</i>	<i>38</i>
2.1.6.2.5	<i>Control: garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo.....</i>	<i>39</i>
2.1.6.2.6	<i>Ferramentas da qualidade.....</i>	<i>39</i>
2.2	Revisão Bibliométrica e de Conteúdo	44
2.2.1	Bibliometria.....	44
2.2.2	Análise de conteúdo das publicações	50
3	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	53
3.1	Classificação da Pesquisa.....	53
3.2	Etapas da Pesquisa.....	54
3.2.1	Etapa 1: Identificação do problema	55
3.2.2	Etapa 2: Exploração do tema	57
3.2.3	Etapa 3: Escolha de método de pesquisa	57

3.2.4	Etapa 4: Definição da unidade de análise e meta a ser atingida.....	57
3.2.5	Etapa 5: Mensuração dos dados reais que envolvem o PCP.....	58
3.2.6	Etapa 6: Análise dos dados.....	58
3.2.7	Etapa 7: Implantação das ações de melhoria.....	59
3.2.8	Etapa 8: Controle do desempenho das ações implantadas	59
3.2.9	Etapa 9: Discussão dos resultados	59
3.2.10	Etapa 10: Considerações finais e conclusão	60
4	APLICAÇÃO, RESULTADOS E ANÁLISES	61
4.1	Pesquisa-Ação: Estudo Piloto.....	61
4.1.1	Resultados e Análise dos dados	61
4.1.2	Define	61
4.1.3	Measure	62
4.1.4	Analyse.....	62
4.1.5	Improve	65
4.1.6	Control.....	66
4.2	Abordagem Lean Six Sigma Aplicada ao Planejamento e Controle da Produção: Pesquisa-Ação	68
4.2.1	Resultados e Análise dos Dados.....	68
<u>4.2.1.1</u>	<u>Define</u>	<u>68</u>
<u>4.2.1.2</u>	<u>Measure</u>	<u>72</u>
<u>4.2.1.3</u>	<u>Analyse.....</u>	<u>79</u>
<u>4.2.1.4</u>	<u>Improve</u>	<u>81</u>
<u>4.2.1.5</u>	<u>Control.....</u>	<u>84</u>
4.3	Discussão	90
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
5.1	Conclusão Sobre os Objetivos.....	98
5.2	Conclusão da Revisão da Literatura.....	99
5.3	Conclusão Sobre o Método de Pesquisa	100
5.4	Conclusão Sobre o Estudo Piloto.....	101
5.5	Conclusão Sobre a Pesquisa-Ação	102
5.6	Limitações da Pesquisa.....	103
5.7	Proposta de Trabalhos Futuros	104
	REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil no Brasil tem enfrentado desafios cada vez mais complexos na busca por maior eficiência e qualidade em seus projetos. Além das características inerentes a produção por projetos como o alto grau de diferenciação, o mercado brasileiro sofre com as oscilações entre a taxa básica de juros Selic e alta nos insumos básicos da construção (AZEVEDO, 2020).

A pandemia de coronavírus em 2020 causou grandes impactos na indústria. Além do confinamento, os preços dos materiais e equipamentos aumentaram em 29,9% entre agosto de 2019 e agosto de 2020 (CBIC, 2021). Considerando que os ciclos de construção de empreendimentos variam, em média, de 12 a 36 meses entre concepção e finalização, muitas incorporadoras sem uma gestão suficientemente madura enfrentaram o risco de falência. Esses desafios financeiros sublinharam a importância de uma gestão eficaz para a sobrevivência e sucesso no setor.

No início de 2024, a inflação no setor da construção, conforme indicada pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), registrou uma taxa anual inferior a 4%. No entanto, o custo de captação de recursos financeiros alcançou o nível mais elevado desde julho de 2016, com a taxa média de juros para financiamento imobiliário destinado a pessoas físicas marcando 10,77% ao ano. Esse incremento nos juros implica em uma redução considerável na viabilidade de projetos no mercado da construção, os quais dependem substancialmente de financiamento externo para sua execução (REXPARTS, 2024).

Neste contexto, o controle dos projetos dentro da indústria da construção civil, tido por muitos como luxo, deixou de ser um diferencial e se tornou fundamental para a perenidade dentro do mercado imobiliário (JULIANI e de OLIVEIRA, 2020; LIMA et al., 2011).

A gestão de projetos pode ser definida como “a aplicação do conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto para atender aos seus requisitos” e possui quatro funções básicas: planejamento, liderança, organização e controle. Cada uma dessas funções deve ser aplicada dentro do ciclo de vida de um projeto que inicia na fase de concepção inicial e finaliza – no caso da construção civil – apenas com o término da operação do produto (PMI, 2021).

Os processos de planejamento são aqueles que buscam estabelecer o escopo do esforço, quais os seus objetivos e qual o plano de ação a ser seguido para

seu sucesso. Após o ciclo de planejamento, ocorre o ciclo de controle, estes são definidos como os processos que monitoram e analisam o processo a fim de identificar desvios no plano inicial (SAKR e NASSAR, 2022; PMI, 2021).

No contexto da produção em canteiros da construção civil, Ballard (1996) propõe que o planejamento e controle sejam divididos em três categorias diferentes: estratégico, tático e operacional desde uma visão geral do projeto como um todo e a definição dos objetivos principais, chegando até no plano semanal de trabalhos com a definição dos trabalhos versus equipes e acompanhamento da produção.

Dentro da gestão na construção civil, uma das filosofias mais difundidas no mercado é o Lean Construction. Esta, parte dos preceitos da evolução do Toyotismo dentro da indústria seriada, o Lean Production, e tem como principais bases a redução do desperdício por meio das atividades que não agregam valor, aumento contínuo do valor agregado ao cliente final, redução da variabilidade, redução dos tempos de ciclo e número de etapas (OHNO, 1997; KOSKELA, 1992; WOMACK et al., 2004).

Apesar de atual dentro da construção de civil, a filosofia Lean Production é vista nos dias atuais como uma base para as filosofias e ferramentas mais modernas aplicadas na indústria seriada (HUSSAIN et al. 2023). A disponibilidade de dados, resultado da revolução tecnológica e da indústria 4.0, permitiu a difusão de ferramentas pautadas em preceitos estatísticos como é o caso do Six Sigma.

O Six Sigma é uma metodologia de gestão estruturada que visa aprimorar a qualidade dos processos, eliminar defeitos e reduzir a variabilidade dos produtos e serviços (ANTONY et al., 2017). O principal objetivo do Six Sigma é atingir um nível de qualidade em que a probabilidade de ocorrerem defeitos ou erros em um processo seja extremamente baixa, chegando a uma taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) (DIXT et al., 2017). Para alcançar esse objetivo, o Six Sigma utiliza uma abordagem baseada em dados, combinando técnicas estatísticas e ferramentas de melhoria contínua como o DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) (HUSSAIN et al., 2023).

Dentro da primeira etapa do método DMAIC (Define), o escopo do projeto deve ser definido com precisão. Aqui, cabe um entendimento do problema e definição de qual o objetivo meta ao final do processo. Deve-se, também, avaliar quais os históricos da situação, retorno econômico e impacto sobre o cliente, com o objetivo de entender se o projeto é prioritário e se os gestores patrocinarão o processo (WERKEMA, 2012b).

Um dos diferenciais do DMAIC é a adoção de indicadores estatísticos para análise de problemas e resultados (LIN, 2022). Neste contexto, a fase de aferição dos indicadores (Measure) é fundamental para confiabilidade do processo. Nela, deve-se avaliar se os dados disponíveis são confiáveis ou se é necessário iniciar uma nova coleta de novos dados. A confiabilidade dos dados é prerequisite para um bom resultado na identificação e solução dos problemas identificados durante a etapa de definição (SAKR e NASSAR, 2022).

Para determinar as causas do problema prioritário, deve ser realizada a análise do processo gerador do problema (Analyze). O resultado esperado é a identificação e organização das causas potenciais dos problemas. Uma vez que as causas fundamentais dos problemas prioritários foram levantadas, a etapa de melhoramento (Improve) inicia pela geração de ideias que visam a eliminação dessas causas (SINDHWANI, 2021). A última etapa do DMAIC (Control) busca avaliar se de fato a meta foi atingida em larga escala (SREEDHARAN et al., 2018). Para a padronização dos processos é comum a adoção de procedimentos padrão e a implementação de Poka Yokes (dispositivos anti erro). Por fim, deve-se implementar um plano para monitoramento do desempenho dos processos e das metas já considerando ações caso surjam problemas na continuidade das atividades.

Neste contexto, esta dissertação explora a aplicação do Lean Six Sigma na construção civil, especialmente no contexto do Planejamento e Controle da Produção (PCP). A pesquisa-ação realizada abrange a aplicação DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) no PCP de empresas de construção de edifícios residenciais.

Para tanto, o problema de pesquisa investigado teve a seguinte questão: qual o comportamento da abordagem Lean Six Sigma aplicada no planejamento e controle de obras de construção civil?

1.1 Objetivos da pesquisa

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é implantar ações que possam melhorar o desempenho do PCP na construção civil utilizando a ferramenta DMAIC da abordagem Lean Six Sigma.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Realizar a Revisão Sistemática da Literatura e análise de conteúdo sobre PCP e Lean Six Sigma;
- Identificar quais etapas do DMAIC são possíveis de serem implantadas na construção civil;
- Propor sugestões para melhorar o desempenho do PCP na construção civil.

1.2 Justificativa

A construção no Brasil desempenha além do seu papel fundamental na economia, uma função social. Segundo IBGE (2023), no primeiro trimestre de 2023, o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu 1,9% em relação ao trimestre anterior, na série com ajuste sazonal (tabela 1). A Construção Civil teve sua décima alta consecutiva (1,5%), porém em desaceleração, já que a massa salarial real do setor cresceu, mas os insumos típicos da construção estão em queda em relação ao ano anterior.

Tabela 1 - Evolução do PIB brasileiro

Período de comparação	Indicadores						
	PIB	AGROP	INDUS	SERV	FBCF	CONS. FAM	CONS. GOV
Trimestre / trimestre imediatamente anterior (com ajuste sazonal)	1,9%	21,6%	-0,1%	0,6%	-3,4%	0,2%	0,3%
Trimestre / mesmo trimestre do ano anterior (sem ajuste sazonal)	4,0%	18,8%	1,9%	2,9%	0,8%	3,5%	1,2%
Acumulado em quatro trimestres / mesmo período do ano anterior (sem ajuste sazonal)	3,3%	6,0%	2,4%	3,9%	2,7%	4,5%	0,9%
Valores correntes no 1º trimestre (R\$)	2,6 trilhões	259,7 bilhões	508,9 bilhões	1,5 trilhão	451,6 bilhões	1,6 trilhão	416,0 bilhões
Taxa de investimento (FBCF/PIB) no 1º trimestre de 2023 = 17,7%							
Taxa de Poupança (POUP/PIB) no 1º trimestre de 2023 = 18,1%							

Fonte: IBGE (2023)

Este levantamento vai ao encontro do que apontou a mais recente Sondagem da Indústria da Construção, realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI,

2023). O Índice de Confiança do Empresário da indústria de construção apresentou novo crescimento em agosto de 2023, e manteve um patamar elevado em relação ao histórico da série. O aumento da confiança foi motivado principalmente pela melhora da percepção das condições atuais das empresas.

O gráfico 1 apresenta a evolução dos índices de confiança na construção atual e futura. Em ambos os casos, o resultado no mês de agosto/2023 ficou maior do que os 50 pontos cujo autor cita como indicador de confiança dos empresários e melhoria das condições atuais da indústria.

Gráfico 1 - Índice de Confiança do empresário da Construção Civil



Fonte: CNI (2023)

Segundo a Associação Brasileira de Incorporadoras (ABRAINC, 2021) em 2021 a construção civil foi responsável direta ou indiretamente por aproximadamente 18% de todos os postos de trabalho. O Brasil registra resiliência e avanços importantes na cadeia da construção civil. O total de empregos gerados na incorporação e construção mostram que a capacidade operacional está em crescimento. O Cadastro Geral de Empregados e Desempregados - CAGED de 2023 aponta que a construção civil é a segunda atividade econômica a gerar mais empregos no país neste período (BRASIL, 2023).

Neste contexto, Barros (2021) afirma sobre a importância da indústria da construção civil na inserção de indivíduos marginalizados na teia social e ainda complementa sobre a importância desse setor para o crescimento do país.

Por outro lado, pela sua característica de produção por projeto (PMI, 2021) a indústria da construção civil possui uma segregação em relação às técnicas e ferramentas aplicadas e difundidas em outros setores da indústria. Neste sentido, a busca pela redução dos desperdícios e variabilidades da produção na construção civil é fundamental para a mitigação desse cenário. Goldratt (1984) afirma que a meta das organizações, exceto as do terceiro setor, é gerar capital de maneira superavitária.

Nesse cenário, essa pesquisa buscou investigar a aplicação da abordagem Lean Six Sigma no contexto do planejamento e controle de obras de construção civil. A construção civil é uma indústria complexa e propensa a desperdícios, atrasos e custos excessivos. A combinação das metodologias Lean e Six Sigma pode oferecer um método eficaz para melhorar a eficiência operacional, a qualidade e a gestão de projetos nesse setor (HUSSAIN et al, 2023).

A abordagem Lean Six Sigma enfatiza a redução de desperdícios, otimização de processos e aprimoramento contínuo (SAKR, NASSAR, 2022). Ao ser aplicada ao planejamento e controle de obras de construção civil, espera-se que essa abordagem possa ajudar a identificar e eliminar ineficiências em diferentes estágios do projeto, desde o planejamento inicial até a execução e conclusão, garantindo o ganho financeiro do projeto. Isso pode resultar em um cronograma mais preciso, redução de retrabalhos, diminuição de custos e aumento da satisfação do cliente.

Essa dissertação envolve coleta e análise de dados empíricos e avaliação quantitativa de indicadores de desempenho antes e depois da implementação da abordagem Lean Six Sigma, por meio da aplicação da ferramenta DMAIC, no PCP de empresas de construção civil.

Os resultados esperados com essa pesquisa podem contribuir para a disseminação do conhecimento sobre as práticas Lean Six Sigma na construção civil, oferecendo *insights* valiosos para profissionais do setor e pesquisadores interessados em melhorar a eficiência e qualidade das operações de construção. Além disso, a pesquisa pode oferecer diretrizes para a implementação bem-sucedida da abordagem em projetos reais, contribuindo assim para a melhoria geral da indústria de construção civil.

1.3 Delimitação da Pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida nos anos de 2022, 2023 e 2024 em duas empresas de construção civil por meio da pesquisa-ação. Salienta-se que o procedimento de coleta de dados foi autorizado pelas empresas parceiras e as ferramentas e técnicas utilizadas foram incorporadas à rotina do PCP passando a fazer parte das atividades do dia a dia da equipe de ambas. Esses dados de domínio público, para os membros da empresa, incluindo o autor dessa dissertação, não identificam os participantes da pesquisa garantindo a privacidade dos dados sigilosos.

1.4 Estrutura do Trabalho

A pesquisa em questão foi estruturada em 5 capítulos. Neste primeiro capítulo foi apresentada uma introdução ao problema abordado, a justificativa para a escolha do problema, a delimitação da pesquisa e por fim este panorama da estruturação da pesquisa.

O segundo capítulo iniciou com a apresentação do referencial teórico para o embasamento das discussões propostas. Após, foi apresentada uma revisão bibliométrica da literatura feita a partir de a pesquisa nas bases de dados dos artigos publicados nos últimos 10 anos sobre o tema.

O terceiro capítulo, Estratégia de Pesquisa, expôs os meios pelos quais a pesquisa foi realizada, assim como a sua classificação dentro do método científico. Foram apresentadas também as etapas da pesquisa.

O quarto capítulo, Aplicação, Resultados e Análises, apresentou o desenvolvimento da pesquisa. Iniciou-se pela apresentação do estudo piloto, realizado para execução da validação do método. Após, foi apresentada e discutida a pesquisa-ação.

No quinto e último capítulo, foram apresentadas as considerações finais do trabalho. Iniciou-se pelas conclusões do objetivo do trabalho e individuais de cada capítulo. Ao final, foram apresentadas as limitações para a pesquisa e proposta de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A presente dissertação aprofunda-se na investigação da aplicação da abordagem Lean Six Sigma aplicada ao planejamento e controle da produção na construção civil. Neste capítulo, a revisão de literatura destaca a evolução do conhecimento no campo, desde suas raízes históricas até os debates contemporâneos. Explora-se as obras cujas contribuições foram cruciais para a construção do corpo teórico que sustenta esta pesquisa. Além disso, examina-se as lacunas identificadas na literatura existente, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de novas perspectivas e abordagens.

2.1 Referencial Teórico

2.1.1 Gestão de projetos

A gestão ou gerenciamento de projetos pode ser definida como “a aplicação do conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto para atender aos seus requisitos” (PMI, 2021). As funções básicas do gestor de projetos são, segundo o PMI (2021):

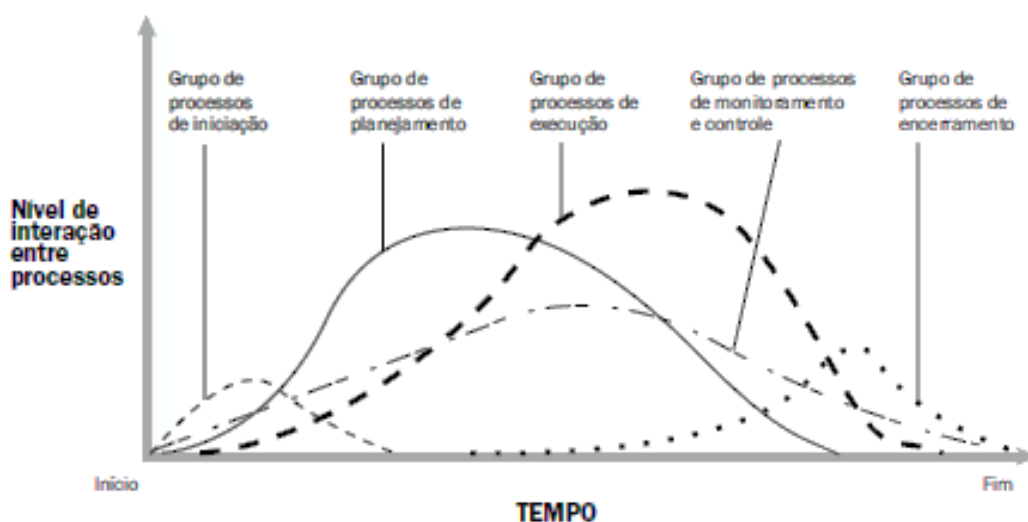
- **Planejamento:** o planejamento é a etapa que define as atividades futuras a serem realizadas e, principalmente, de qual maneira elas serão realizadas. Além disso, é nele que se define os responsáveis e o tempo de duração de cada ação;
- **Liderança:** o líder deve gerenciar a equipe para atender os objetivos do projeto;
- **Organização:** os processos devem estar devidamente organizados por meio de procedimentos a fim de garantir a realização correta das atividades;
- **Controle:** com o planejamento é possível realizar o controle das atividades, bem como identificar os possíveis desvios e traçar ações corretivas para garantir o atingimento do objetivo do projeto.

Vale salientar que estas dimensões devem ser trabalhadas de forma contínua ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Segundo o guia PMBOK (PMI, 2021), “Ciclo de vida do projeto é a série de fases pelas quais um projeto passa, do início ao término”.

Na figura 1 é possível observar as sobreposições das etapas durante o ciclo de vida de um projeto. As fases do projeto se cruzam diversas vezes, visto que existem

diferentes fases de realização de atividades ao longo do projeto. Por exemplo, o planejamento é realizado de forma mais abrangente no início do projeto após a inicialização e ao longo execução deve ser detalhado. Durante o monitoramento e controle, pode ocorrer a necessidade de ajustes no plano a fim de garantir o escopo do projeto. Esta fase ocorre até o encerramento do projeto.

Figura 1 - Ciclo de vida de um projeto

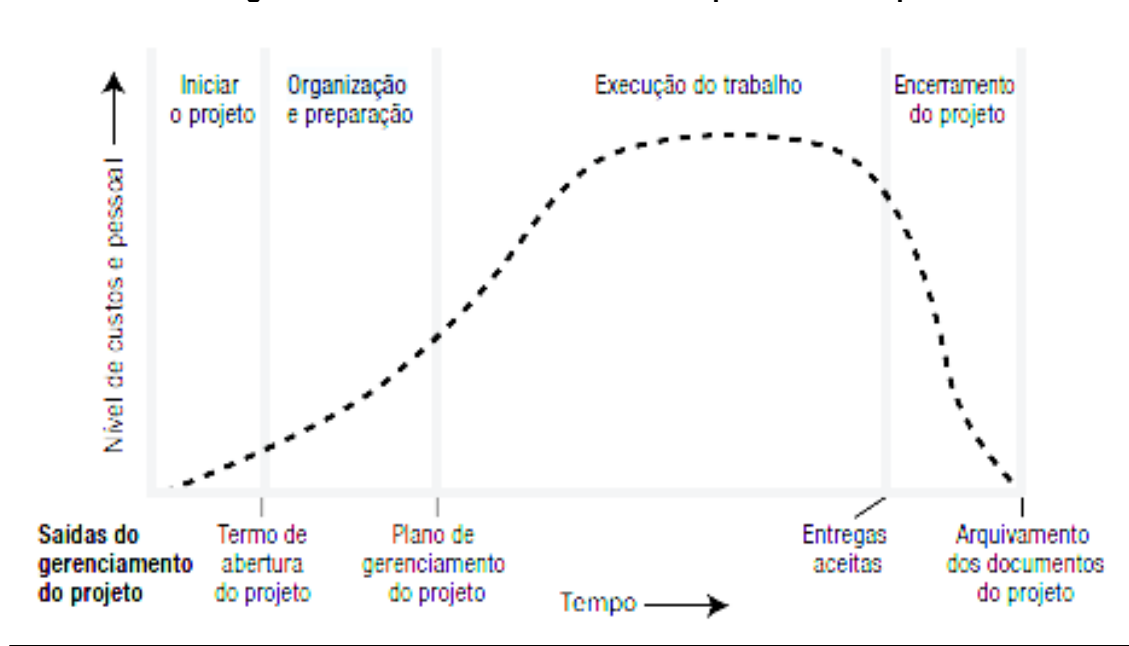


Fonte: PMI (2021)

O ciclo de vida do projeto é subdividido em quatro etapas que possuem níveis de custos diferentes (HUSSAIN et al., 2023). Início de um projeto, organização e preparação, execução do trabalho do projeto e encerramento do projeto. A figura 2 ilustra estas fases e o consumo de recursos.

Ao se observar a figura 2 é possível verificar que mesmo após o aceite das entregas, ainda existem custos dentro do projeto. A separação proposta no PMBOK (PMI, 2021) adiciona etapas que envolvem custos e pessoal, mas que, muitas vezes, são ignoradas no planejamento e controle do projeto. O tempo de encerramento de um projeto é um exemplo disso. No caso de um edifício, mesmo após a conclusão da obra, existem custos referentes a desmobilização, vendas, impostos, dentre outros. Esses custos, quando não quantificados dentro do planejamento inicial, são fontes comuns de perdas e podem gerar insatisfação ao usuário final (LIN, 2022).

Figura 2 - Gráfico do nível de custos e pessoas x tempo



Fonte: PMI (2021)

O guia PMBOK separa o gerenciamento de projetos em 10 áreas de conhecimento. Cada área é formada por conceitos, termos e atividades distintas (PMI, 2021):

- **Gerenciamento da integração do projeto:** engloba os processos e atividades necessários para identificar, definir, combinar, unificar e coordenar as outras áreas do conhecimento. Propõe o grande desafio de compatibilizar áreas diferentes em prol do projeto. Possui seis fases: desenvolvimento da abertura do projeto, desenvolvimento do plano de gerenciamento do projeto, orientação e gerenciamento do trabalho, monitoramento e controle do trabalho, realização do controle integrado de mudanças e encerramento do projeto;
- **Gerenciamento do escopo do projeto:** conjunto de processos que garantem que todas as fases do projeto serão cumpridas e que o projeto inclui apenas o necessário para a sua conclusão integral. Possui seis partes: planejamento e gerenciamento do escopo, coleta dos requisitos, definição do escopo, criação da Estrutura Analítica do Projeto (EAP), validação do escopo e controle do escopo;
- **Gerenciamento do tempo do projeto:** inclui os processos necessários para que o projeto possua um término pontual. É realizado em sete etapas:

planejamento e gerenciamento de cronograma, definição das atividades, sequenciamento das atividades, estimativa dos recursos das atividades, duração das atividades, desenvolvimento do cronograma e controle do cronograma;

- **Gerenciamento dos custos do projeto:** Processos de planejamento, estimativas, orçamentos, financiamentos, gerenciamento de controle dos custos, com o objetivo de terminar o projeto dentro do orçamento estipulado. É realizado em quatro etapas: gerenciamento dos custos, estimativa dos custos, determinação do orçamento e controle dos custos;
- **Gerenciamento da qualidade do projeto:** Tem a principal função de supervisionar o projeto. Ao criar políticas de qualidade, os objetivos e responsabilidades de cada etapa serão alcançados. O planejamento de qualidade é realizado nas esferas gerenciamento, garantia e controle;
- **Gerenciamento dos recursos humanos do projeto:** Inclui os processos que organizam, gerenciam e guiam a equipe de cada projeto. Focam nas habilidades que cada equipe necessita para o seu desenvolvimento. Está dividido em quatro etapas: desenvolvimento do plano de recursos humanos, mobilização da equipe do projeto, desenvolvimento da equipe do projeto e gerenciamento da equipe do projeto;
- **Gerenciamento dos recursos de comunicação do projeto:** garante que as informações do projeto sejam planejadas, coletadas, criadas, distribuídas, armazenadas, recuperadas, gerenciadas, controladas, monitoradas e dispostas de maneira que sirvam para alimentar tomadas de decisão. Está dividido em três etapas: planejamento do gerenciamento da comunicação, gerenciamento da comunicação e controle das comunicações;
- **Gerenciamento dos riscos do projeto:** Inclui os processos de planejamento, identificação, análise, planejamento de respostas e controle dos riscos que envolvem o projeto. Busca aumentar os impactos de eventos positivos e reduzir de eventos negativos. É dividido em seis etapas: planejamento do gerenciamento de risco, identificação do risco, realização da análise qualitativa do risco, realização da análise quantitativa do risco, planejamento da resposta ao risco e controle do risco;

- **Gerenciamento das aquisições do projeto:** Engloba os processos necessários para adquirir produtos, serviços ou resultados externos a equipe do projeto. Inclui também o gerenciamento de contratos de prestação de serviços e afins. Está dividido em quatro etapas: planejamento do gerenciamento das aquisições, condução das aquisições, controle das aquisições e encerramento das aquisições;
- **Gerenciamento das partes interessadas no projeto:** Identifica todas as partes interessadas no projeto, sendo elas impactadas ou impactadoras. Faz a gestão dos interesses e busca a satisfação das partes. Está dividido em quatro etapas: identificação das partes interessadas, planejamento do gerenciamento das partes interessadas, gerenciamento das partes interessadas e controle e engajamento das partes interessadas.

É possível observar, também, que dentro das 10 áreas propostas pelo PMBOK estão englobadas as quatro funções básicas de um gestor de projetos (Planejamento, Liderança, Organização e Controle).

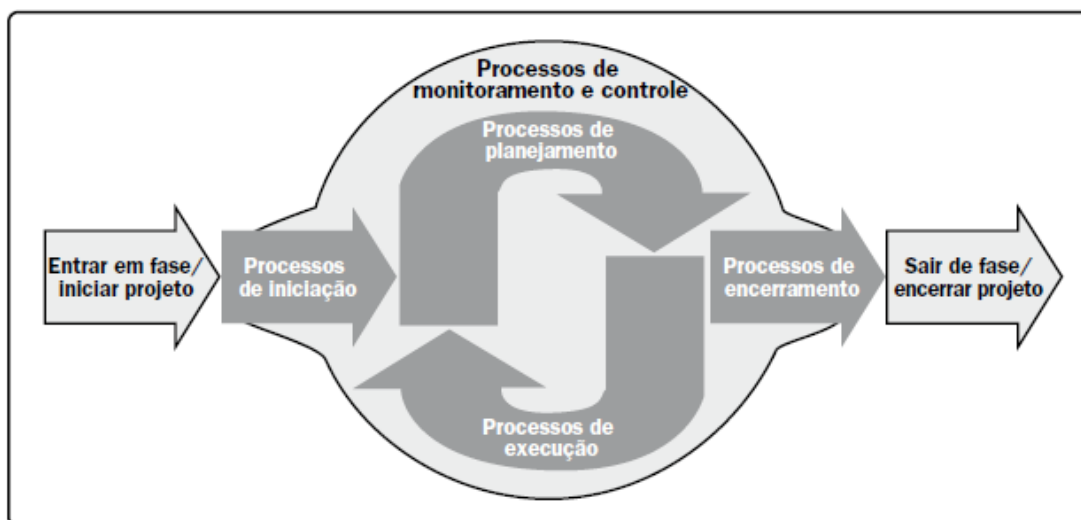
2.1.2 Planejamento e Controle da Produção (PCP)

Segundo o PMI (2021), os processos que são definidos como de planejamento buscam estabelecer o escopo do esforço e deixar claro quais são os objetivos, além de definir um plano de ação para o seu sucesso. O planejamento não é uma ação isolada e sim um conjunto de ações interativas que são denominadas “planejamento por ondas sucessivas”.

Os ciclos de planejamentos são separados por etapas de execução. Neles, as atividades são executadas e medidas de tal maneira que dados sejam gerados e utilizados para pautar o próximo processo de planejamento (LIN et al., 2022). O PMI (2021) define os processos de monitoramento e controle como aqueles necessários para o acompanhamento e análise de todo o processo a fim de identificar desvios no plano de gerenciamento do projeto. Na figura 3 está ilustrado o fluxo de execução de um processo. Nota-se que quando os processos de inicialização são finalizados, existe um ciclo contínuo de planejamento e execução que ocorre até o encerramento do projeto. Dentro deste processo cíclico, são comuns as aplicações de ferramentas de melhoria contínua que tem como objetivo aprimorar a assertividade das entregas

de cada ciclo com base no aprendizado adquirido como a ferramenta DMAIC (WERKEMA, 2012b).

Figura 3 - Ciclo de planejamento e controle



Fonte: PMI (2021)

No caso da indústria da construção civil, o ciclo de planejamento e controle explicitado na figura 3 pode ser visto dentro das diversas ferramentas de melhoria contínua que serão discutidas nos próximos subcapítulos.

2.1.3 Lean Production

O conceito de Lean Production foi criado dentro da fábrica da Toyota Motors Company em 1974 com o intuito de aumentar a lucratividade da venda de automóveis e garantir a permanência da empresa no setor automobilístico no pós Segunda Guerra Mundial. O Sistema Toyota de Produção (STP) é baseado em dois conceitos (OHNO, 1997): o Just in Time (JIT) e a Automação.

O JIT é fundamentado na eliminação dos desperdícios e na garantia da satisfação do cliente. Para que este sistema funcione é necessário que exista um controle preciso da produção, haja vista que o estoque deve ser eliminado e o foco deve ser voltado para as atividades que geram valor ao produto final (SHINGO, 1996).

Para tal, o STP criou uma ferramenta de gestão visual chamada Kanban que permite de maneira imediata a visualização do estado da produção e garante o correto fluxo de informações inerente aos processos Lean. Agregado ao Andon, ferramenta de detecção de problemas, é possível garantir a qualidade total dos produtos e satisfação do cliente final (OHNO, 1997).

O segundo pilar do STP é a Autonomiação, ou seja, a influência humana nas máquinas é fundamental para a detecção imediata de problemas e redução de desperdícios decorrentes do acúmulo de erros na cadeia produtiva (PERGHER et al., 2011).

Além do JIT e da Autonomiação, o STP possui 6 diretrizes básicas, que norteiam os processos (SHINGO, 1996):

- Produzir o que os consumidores querem;
- Produzir apenas na proporção de consumo;
- Produzir com qualidade perfeita;
- Produzir de maneira instantânea;
- Produzir sem desperdício;
- Produzir através de métodos que permitam o desenvolvimento das pessoas.

O STP foi decisivo para a reorganização econômica do Japão pois, com a redução de desperdícios e controle do processo fabril, possibilitou um aumento da lucratividade e redução do desperdício. Dessa forma, elevou o grau de competitividade no mercado de automóveis e tracionou uma mudança globalizada na estratégia de produção (WOMACK et al., 2004).

Embora na indústria seriada esses conceitos já estão amplamente difundidos, ainda existe um ineditismo da sua aplicação dentro da construção civil. Apesar de existirem trabalhos baseados na primeira proposta de aplicação de Koskela (1992), a aplicação no nível operacional e tático ainda é exceção dentro da indústria.

Com o amadurecimento do STP, a Filosofia Lean Production (FLP) foi criada baseada em princípios semelhantes aos aplicadas na década de 70 no Japão. Entre estes, a cadeia de valor é fruto da dissecação da cadeia produtiva em três: atividades que agregam valor ao produto final, atividades que, apesar de não agregarem valor ao produto final, são importantes para a manutenção da qualidade destes e atividades que não agregam valor. Com base nesta separação, as atividades são classificadas em dois grandes grupos: atividades de conversão, que transformam os materiais ou subsidiam a produção, e atividades de fluxo, que consomem recursos, geram despesas e não agregam valor (WOMACK et al., 2004).

Além da Cadeia de Valor, a FLP cita os conceitos de fluxo, produção puxada, perfeição e estoque zero. Estes quatro elementos estão diretamente relacionados ao STP e às suas premissas.

A FLP considera sete desperdícios dentro das atividades que não agregam valor: inventário, movimentação da produção, excesso da produção, transporte, defeitos, processos desnecessários e tempo de espera. Estas atividades são vistas como ações que não agregam valor ao produto final, portanto devem ser reduzidas ao máximo e, se possível, eliminadas (OHNO, 1997).

2.1.4 Lean Construction

A aplicação do Lean Production na Construção Civil foi chamada de Lean Construction ou Construção Enxuta. Ao comparar os processos fabris envolvidos no STP e, posteriormente, na FLP aos encontrados na Construção Civil, torna-se necessário entender as suas diferenças.

O processo fabril é caracterizado pela repetição dentro de um ambiente controlado onde é possível mapear os processos e propor melhorias focadas na meta organizacional. Já a Construção Civil é um sistema construtivo de projetos tendo várias características da manufatura artesanal (KOSKELA, 1992).

A construção de edifícios, residências, obras de arte especiais, dentre outras, são caracterizadas como um projeto de engenharia, isto é, tem início e fim bem determinados e o resultado é algo particular e único diante diversos aspectos (PMI, 2021). Por esse motivo, a gestão dentro da construção deve ser estudada por uma perspectiva diferente as demais indústrias.

Koskela (1992) apresenta 11 bases conceituais para o Lean Construction (baseado na FLP):

- **Redução das atividades que não agregam valor:** são atividades que não agregam valor aquelas que, apesar de demandarem de tempo, recurso e/ou espaço não adicionam valor ao produto final. Mesmo parecendo ilógico do ponto de vista teórico, estas atividades correspondem de 99,5 a 95% do tempo total de produção. Stalk e Hout (1990) cita três possíveis fontes para estas atividades: design do modo de produzir, ignorância e fontes inerentes ao processo natural de produção;

- **Aumento contínuo do valor por meio de considerações do cliente final:** valor é gerado pela satisfação das necessidades do cliente final. Tendo isto em mente, o fluxo informacional contrário a cadeia de produção é importante para a melhoria contínua do produto final;
- **Redução da variabilidade:** a variabilidade é vista como negativa não só para a cadeia produtiva, gerando atividades que não geram valor, mas também para a percepção do produto aos olhos do cliente final. Como maneira de reduzir estes acontecimentos e aumentar a previsibilidade, os procedimentos da Teoria de Controle Estatística e ferramentas a prova de erros (Poka-Yokes) devem ser adicionados ao processo;
- **Redução do tempo de ciclo:** o tempo de ciclo é definido como tempo de produção + tempo de inspeção + tempo de espera + tempo de movimentação e é uma métrica universal para os processos;
- **Simplificação pela redução do número de etapas e partes:** além do custo elevado de processos mais complexos, é notável que há uma decaída na confiabilidade com o aumento da complexibilidade. Do ponto de vista prático, a redução pode ser consequência da consolidação de atividades, mudanças no design ou pré-fabricação de elementos, padronização de partes, materiais e ferramentas, dissociação de links e minimização na quantidade de controles informacionais;
- **Aumento na flexibilidade de saída:** apesar de parecer contraditório, o aumento na flexibilidade de saída pode ser obtido por meio da redução dos tamanhos dos lotes (necessário para a demanda imediata JIT), redução da dificuldade de mudanças na linha de montagem, customização nas etapas mais tardias do processo e treinamento de uma força de trabalho com conhecimentos em diversas habilidades;
- **Aumento da transparência do processo:** o aumento da transparência possibilita o aumento da percepção de erros (Autonomação) e reduz os desperdícios por erros acumulados;
- **Controle de foco no processo completo:** quando uma atividade passa por fronteiras organizacionais, ou donos, diferentes ocorre uma segmentação no controle do fluxo. Apesar destas quebras, os processos devem ser medidos e controlados integralmente;

- **Construção de melhorias contínuas ao processo:** Tendo em vista que a medição e o monitoramento devem ser constantes, é importante a implementação de uma cultura de melhorias contínuas a partir da tomada de dados;
- **Balanceamento entre melhorias de processo e de conversão:** apesar das melhorias de processo serem mais rentáveis e apresentarem menor investimento inicial para sua implementação, melhorias de processo e conversão caminham juntas. Mesmo assim, Blaxill e Hout (1991), inclusive mencionado por Koskela (1992) dizem que “Alcance a perfeição com os processos existentes antes de criar novo”;
- **Benchmarking:** Diferente de novas tecnologias, as inovações nos processos não são oferecidas ao mercado. Para obter informações, Koskela (1992) apresenta uma sequência de ações que deve ser seguida. Antes de tudo se deve identificar e entender todos os subprocessos inerentes à produção. Após isto, é feito o levantamento das lideranças do mercado e a comparação dos subprocessos deles com os aplicados. Por fim, deve ser realizado uma incorporação das melhores práticas de cada subprocesso.

Estas bases são adotadas como princípios nas ferramentas de PCP aplicadas a construção civil.

2.1.5 Planejamento e Controle de Obras

Thomas e Khanduja (2022) definem planejamento como o processo de tomada de decisão realizado para antecipar um acontecimento futuro, utilizando meios para concretizá-lo.

O planejamento é dividido em três etapas baseadas no seu grau de especificidade e escala de tempo. O planejamento estratégico engloba as metas e marcos principais do empreendimento, já o planejamento tático lista os meios e limitações para o alcance dos marcos estratégicos. O nível operacional define as ações a serem tomadas para o alcance dos objetivos (LAUFER e TUCKER, 1987).

Como o planejamento está dividido em 3 etapas, é esperado que os processos decisórios dentro da construção civil também sigam os níveis estratégico, tático e operacional. Ou seja, a tomada de decisão deve ser realizada pautada nas metas mais

genéricas do projeto, passando pelos marcos estratégicos e englobando as ações mais operacionais para um sucesso (LAUFER e TUCKER, 1987).

A gestão de obras se difere da gestão de operações seriadas na natureza do processo produtivo. Enquanto o sistema de produção puxado ou empurrado possui pouca interferência do meio externo e variabilidade, a produção por projeto possuiu alto grau de diferenciação dificultando a gestão de equipes e materiais (BRAVO et al., 2020). Além disso, a construção civil sofre grande influência de fatores externos como chuvas, secas, ventos intensos e baixas temperaturas.

Dentre as ações que envolvem o Lean Construction, Ballard (2000) propôs as ferramentas Last Planner System e Lookahead Planning para serem usadas no planejamento e controle em uma escala de curto e médio prazo, respectivamente.

As ferramentas de gestão pautadas na ferramenta Last Planner System auxiliam na conversão da adoção dos seus preceitos de apenas estratégicos e algumas vezes táticos para operacionais. Esta mudança possibilita que os resultados sejam atingidos visto a interferência direta no método produtivo, com a implementação de uma cultura de planejamento dentro de uma realidade antes puramente intuitiva.

O Lookahead é composto por um planejamento com horizonte médio (próximo a um mês) e objetiva identificar possíveis problemas que prejudiquem o andamento pleno dos serviços. Para tal, é realizada a aplicação semanal do ciclo de tomada de informações e planejamento. Ballard (1997) apresenta cinco propósitos para aplicação do Lookahead:

- Modelar o fluxo de trabalho na melhor sequência e ritmo para concluir os objetivos do projeto com o disponível;
- Parear os recursos disponíveis com o fluxo de trabalho;
- Produzir e manter um acúmulo de tarefas para cada equipe com o propósito de monitorar os projetos, materiais e pré-requisitos de cada tarefa;
- Agrupar tarefas que são independentes, para que o método seja planejado para toda a operação;
- Identificar atividades a serem planejadas em conjunto com várias trocas.

Já o Last Planner busca alcançar a real capacidade do sistema produtivo, contando com o envolvimento do encarregado da obra. O planejamento de curto prazo possui um horizonte de planejamento curtíssimo, haja vista que se planeja apenas as atividades que não possuem precedência. A partir deste conceito, Ballard (1997)

apresenta uma maneira de quantificar o grau de assertividade do planejamento. O PPC (Porcentagem do Planejamento concluído).

A implementação do Last Planner deve seguir algumas etapas propostas por Ballard (1997):

- Identificação e priorização das atividades realizáveis;
- Determinação da capacidade de mão de obra para a próxima semana analisada;
- Seleção das atividades baseada no tamanho e na capacidade;
- Listagem dos excessos de tarefas e mão de obra;
- Verificação do andamento de cada atividade a cada dia e listar os motivos por não completar as tarefas;
- O gerente deve analisar o plano semanal e atuar sob as causas dos problemas.

2.1.6 Lean Six Sigma

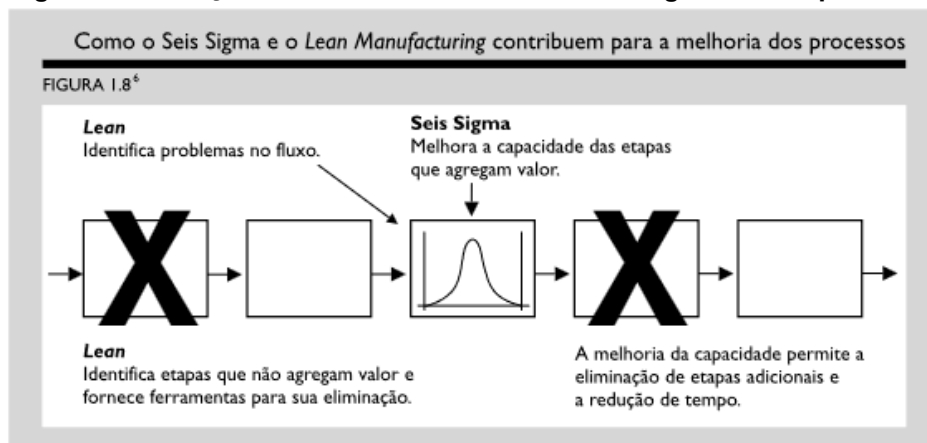
O Six Sigma é uma abordagem de gestão estruturada que visa aprimorar a qualidade dos processos, eliminar defeitos e reduzir a variabilidade dos produtos e serviços. Surgido na década de 1980, na Motorola, o Six Sigma ganhou notoriedade ao ser adotado e divulgado pela General Electric no final dos anos 1990. Desde então, tem sido amplamente adotado por diversas organizações ao redor do mundo, independentemente de seu tamanho ou setor de atuação (ANTONY et al., 2017).

O principal objetivo do Six Sigma é atingir um nível de qualidade em que a probabilidade de ocorrerem defeitos ou erros em um processo seja extremamente baixa, chegando a uma taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). Para alcançar esse objetivo, o Six Sigma utiliza uma abordagem baseada em dados, combinando técnicas estatísticas e ferramentas de melhoria contínua, como DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) e DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verify), usadas para melhoria de processos e mudanças de projeto, respectivamente (WERKEMA, 2012a).

O Lean Six Sigma é descrito por Werkema (2012a) como a integração entre os pontos fortes das estratégias Lean Production que busca a redução dos desperdícios e o Six Sigma que busca a redução da variabilidade. O resultante é uma estratégia mais abrangente com as qualidades que se completam.

Enquanto o Lean Production busca reduzir os desperdícios por meio da ação nas atividades que não agregam valor, o Six Sigma otimiza as etapas que agregam. A figura 4, exemplifica como os métodos se completam.

Figura 4 - Interação entre Lean Production e Seis Sigma em um processo



Fonte: Werkema (2012a)

A figura 4 apresenta de maneira clara como as ferramentas do Lean Production e Seis Sigma são complementares entre si e podem ser unificadas em um *roadmap* único que busque a redução de desperdícios e variabilidades dos processos.

2.1.6.1O Ciclo PDCA

Werkema (2012b) define o ciclo PDCA como um método de gestão que busca representar um caminho a ser seguido para o atingimento de metas pré estabelecidas. O ciclo engloba ferramentas analíticas de coleta de dados, processamento e apresentação das informações.

Figura 5 - O ciclo PDCA

Fonte: Adaptado de Werkema (2012b)

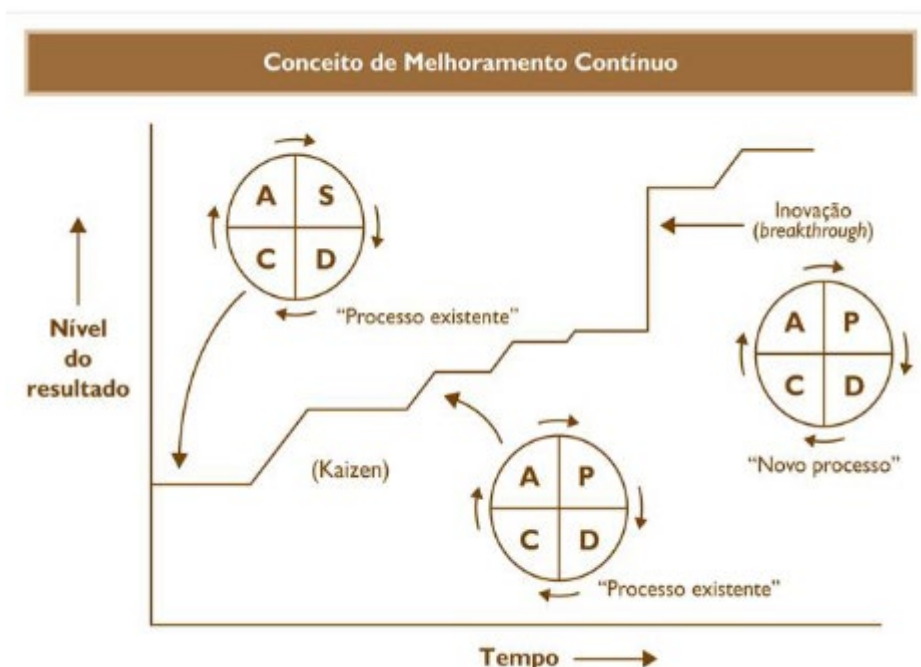
A etapas presentes na figura 5 são descritas por Werkema (2012b) como:

- Plan (Planejar): definição dos problemas, depois a análise e reconhecimento das características do problema. Após essas fases de identificação, é realizada uma análise do processo e criação de um plano de ação com a definição de Indicadores Chaves para mensurar o desempenho;
- Do (Fazer): execução das atividades de acordo com o planejado do plano de ação;
- Control (Controlar): Uma vez que as atividades propostas ao final da etapa 1 foram executadas na etapa 2, a terceira etapa tem como objetivo verificar se a execução do plano de ação foi efetivo sobre o problema identificado. Caso tenha sido, parte-se para próxima etapa, caso não outro plano de ação deve ser montado;
- Act (Agir): a fase final é dividida em duas etapas, primeiro a padronização das atividades que eliminaram em definitivo a causa dos problemas e posteriormente a conclusão com revisão e planejamento para planejamento de trabalhos futuros.

Por se tratar de uma ferramenta de melhoria contínua, o ciclo PDCA pode ser aplicado diversas vezes em um processo buscando aumentar o grau de otimização. Em processos onde a variabilidade dentro da produção é grande, como é o caso da construção civil, a aplicação constante do PDCA em um processo gera um aumento

gradual do nível de resultado. A figura 6 apresenta esse conceito de melhoramento contínuo.

Figura 6 - Melhoramento contínuo



Fonte: Werkema (2012b)

2.1.6.2 O DMAIC

Dentro do Six Sigma o método DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve e Control) é utilizado para melhoria de processos e produtos já existentes (WERKEMA, 2012b). A ferramenta utiliza de um ciclo de melhoria contínua para a aplicação de ferramentas com indicadores claros e bem definidos. Quando comparada ao PDCA, o DMAIC se mostra além de mais completo, com etapas bem definidas, características bases do Six Sigma (SREEDHARAN et al., 2018).

Werkema (2012b) define uma sequência para a aplicação do DMAIC com marcos bem definidos entre cada etapa para obtenção dos resultados esperados. No caso da aplicação dentro da construção civil, a validação da aplicação desse *roadmap* ainda é pouco explorado nos trabalhos publicados na área, conforme é mostrada na RSL apresentada nessa dissertação.

2.1.6.2.1 Define: definir com precisão o escopo do projeto

Dentro da primeira etapa do método DMAIC, o escopo do projeto deve ser definido com precisão (ANTONY et al., 2017). Aqui, cabe um entendimento do problema e definição de qual o objetivo meta ao final do processo. Deve-se, também, avaliar quais os históricos da situação, retorno econômico e impacto sobre o cliente, com o objetivo de entender se o projeto é prioritário e se os gestores patrocinarão o processo.

Uma vez que o projeto é validado como útil, a etapa de definição também deixa claro quem são os participantes e quais as responsabilidades de cada um deles, bem como monta um cronograma preliminar com o levantamento prévio das restrições inerentes a cada etapa (THOMAS e KHANDUJA, 2022).

As principais ferramentas que são usadas nesta etapa são (WERKEMA, 2012b): mapa de raciocínio (que se mantém atualizado no decorrer do DMAIC), Project charter como ferramenta de gestão visual, métricas do Six Sigma, gráfico sequencial, carta de controle, análise de séries temporais e séries econômicas (na fase de avaliação do histórico), voz do cliente para levantamento das necessidades dos clientes e SIPOC para levantamento do principal processo envolvido.

2.1.6.2.2 Measure: determinar a localização ou foco do problema

Um dos diferenciais do DMAIC em relação ao PDCA e outras ferramentas de melhoria contínua é a adoção de indicadores estatísticos para análise de problemas e resultados (SINDHWANI et al., 2021). Neste contexto, a fase de aferição dos indicadores é fundamental para confiabilidade do processo. Nela, deve-se avaliar se os dados disponíveis são confiáveis ou se é necessário iniciar uma nova coleta de novos dados.

No caso da necessidade de uma coleta de dados, é neste momento que é feito o planejamento da coleta por meio do estudo do tamanho da amostragem, folha de verificação e a definição do plano a ser seguido (JULIANI e OLIVEIRA, 2020). A confiabilidade dos dados é prerequisite para um bom resultado na identificação e solução dos problemas identificados durante a etapa de definição.

Uma vez que os dados foram coletados e validados, é necessário realizar um estudo das variações dos problemas identificados na primeira fase. Por meio de análise multivariada, histograma, métricas do seis sigma ou outras ferramentas de

análise de dados ao final da fase de medição deve ser definido se quais serão as metas para cada problema prioritário encontrado (WERKEMA, 2012b).

2.1.6.2.3 Analyse: determinar as causas do problema prioritário

Para determinar as causas do problema prioritário, se inicia pela análise do processo gerador do problema por meio de fluxogramas, mapas de processo ou produto, análise do tempo de ciclos e outras ferramentas que se adequem. O resultado esperado é a identificação e organização das causas potenciais dos problemas (WERKEMA, 2012b).

Para auxílio da organização e identificação, as ferramentas comumente adotadas – presentes no Lean Production- são o brainstorming, diagrama de causa e efeito (Ishikawa) e similares são adotadas (THOMAS e KHANDUHA, 2022). Com as causas potenciais definidas, pode-se adotar um diagrama de matriz para priorizar quais são as maiores causas do problema prioritário.

Por fim, deve-se entender dentre as causas potenciais prioritárias quais são as mais prioritárias e que devem, conseqüentemente, ser atacadas antecipadamente (BRAVO et al., 2021).

2.1.6.2.4 Improve: propor, avaliar, e implementar soluções para o problema prioritário

Uma vez que as causas fundamentais dos problemas prioritários foram levantadas, a etapa de melhoramento inicia pela geração de ideias que visam a eliminação dessas causas. No primeiro momento, pode-se utilizar um brainstorming para angariar propostas a serem dispostas em um diagrama de causa e efeito (WERKEMA, 2012b).

Tendo organizado as soluções potenciais, deve-se organizar quais são as prioridades da aplicação e realizar testes pilotos de aplicação. O objetivo dessas simulações é identificar e implementar melhorias e ajustes para as soluções necessárias, a fim de aumentar a assertividade da aplicação em grande escala (DIXIT et al., 2017).

Com as soluções ranqueadas e otimizadas, parte-se para a etapa de identificação e implementação das melhorias ou ajustes levantados. Aqui é feita a validação real, isto é, se as etapas DMAIC realmente foram assertivas na identificação e proposta de solução para o problema levantado. Caso a meta tenha sido alcançada,

parte-se para a última fase, caso não, retorna-se para a fase de Measure até que se alcance o objetivo.

2.1.6.2.5 Control: garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo

A última etapa do DMAIC busca avaliar se de fato a meta foi atingida em larga escala. São adotadas métricas do Six Sigma, histogramas, diagramas de Pareto e outras para essa validação. Se a resolução do problema raiz não for atingida, deve-se retornar a fase M, se ela for é preciso padronizar as modificações implementadas no processo (SAKR e NASSAR, 2022).

Para a padronização dos processos é comum a adoção de documentos de procedimento padrão e a implementação de Poka Yokes. Além disso, os padrões novos devem ser transmitidos a todos os envolvidos no processo por meio de palestras, reuniões ou manuais (WERKEMA, 2012b).

Por fim, deve-se implementar um plano para monitoramento do desempenho dos processos e das metas já considerando ações caso surjam problemas na continuidade das atividades (TASDEMIR et al., 2020).

A respeito das etapas do DMAIC, percebe-se que elas estão organizadas em uma sequência lógica de identificação dos problemas e dados, análise e proposta de melhorias e implementação e controle. Essas etapas bem definidas com *inputs* e *outputs* claros é denominada de *roadmap* da aplicação DMAIC.

Dentro do escopo dessa dissertação está o uso do DMAIC no PCP de empresas de construção civil. Cabe salientar que a aplicação dessa ferramenta, dentro do contexto de canteiros de obras, apresenta desafios como a indisponibilidade e variabilidade de dados bem como a velocidade dos seus ciclos produtivos.

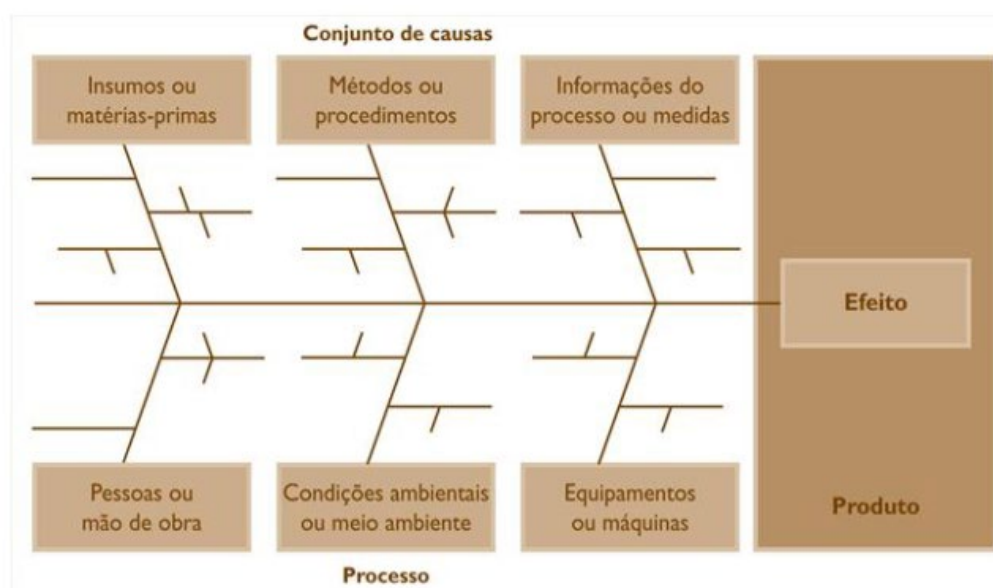
2.1.6.2.6 Ferramentas da qualidade

A gestão e análise de dados é a base da gestão da qualidade de processo para buscando a melhoria contínua. Para tanto, diferentes ferramentas podem ser utilizadas para encontrar a raiz do problema bem como para mensurar a sua criticidade e auxiliar na proposta e implantação de melhorias. A seguir apresentam-se algumas ferramentas da gestão da qualidade.

- Diagrama de Causa e Efeito (ou digrama de Ishikawa)

Werkema (2012b) define o diagrama de Causa e Efeito como uma forma de dividir as causas em um processo em famílias, com o objetivo de agregar problemas similares. Nesta ferramenta a classificação é feita em um gráfico (figura 7) em formato de espinha de peixe, onde em cada vertente se agrupam os problemas e ao final existe a ligação com o efeito do problema.

Figura 7 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Werkema (2012b)

As categorias propostas para divisão das causas são: insumos, métodos, informações do processo, pessoas, condições ambientais e equipamentos.

- Brainstorming

O Brainstorming, é uma ferramenta amplamente adotada por grupos de pessoas envolvidas em projetos, com o objetivo de gerar novas ideias ou identificar problemas em processos já existentes (BEHR et al., 2008).

Segundo Lins (1993), o Brainstorming pode ser aplicado de duas maneiras distintas. A primeira abordagem é estruturada, com os participantes apresentando suas ideias seguindo uma ordem predeterminada. A segunda abordagem é mais informal e caótica, priorizando um fluxo contínuo de ideias ao invés de uma organização rígida, sendo particularmente eficaz em grupos menores.

Nesta pesquisa foram aplicadas rodadas de Brainstorming semiestruturadas com stakeholders de cada fase da pesquisa-ação.

- Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto indica que um pequeno número de causas (próximo a 20%) é responsável pela maioria dos efeitos (próximo a 80%)

Para Werkema (2012b) a vantagem do diagrama de Pareto está na sua facilidade de explicitar quais são as causas mais significativas e assim gerar de maneira simples e visual uma noção de prioridade.

O gráfico de Pareto apresenta um gráfico de coluna ordenado de forma decrescente e uma curva acumulada. No eixo das abcissas estão as causas e no eixo das ordenadas existem duas escalas: de efeitos para o gráfico de barras e de porcentagem para a curva acumulada. O ponto onde a curva acumulada atinge os 80% é o que determina quais são as causas principais para a situação estudada.

- 5W2H

O 5W2H é uma ferramenta utilizada para eliminar dúvidas referentes a atividades e processos dentro de um projeto. Ela define reponsabilidades, métodos, prazos, objetivos e recursos (FERRÃO e MORAES, 2022).

A sigla 5W2H faz referência a sua estrutura de aplicação (WERKEMA, 2012b): What (o que?): o que deve ser feito. Nesta etapa a meta é especificada sem deixar qualquer dúvida de qual o objetivo a ser atendido com a conclusão da tarefa; When (quando?): quando deve ser feito. Busca estabelecer quais são os prazos a serem cumpridos; Who (quem?): quem é o responsável por realizar a tarefa e delegar responsabilidades; Why (Por quê?): porque deve ser realizada a tarefa. Buscar responder se a ação realmente vai resolver o problema apresentado; Where (Onde?): onde as ações serão realizadas; How (como?): Como deve ser realizada a tarefa. Com o processo entendido, esta etapa busca responder as dúvidas executivas para que não haja dúvidas que possam gerar um atraso na entrega da tarefa; How Much (quanto?): Quanto de recurso demandará? Esta etapa é importante para entender a viabilidade da solução proposta. Não necessariamente toda ação possível é viável.

Tabela 2 - 5W2H

5W2H							
Tarefa	What? (O que?)	When? (Quem?)	Why? (Por quê?)	Who? (Quem?)	Where? (Onde?)	How? (Como?)	How much? (Quanto?)

Fonte: O Autor (2024)

A tabela 2 é um exemplo da organização para aplicação ferramenta 5W2H.

- Matriz GUT

A matriz GUT é aplicada usualmente na fase de identificação dos problemas (Measure e Analyse). A ideia da ferramenta é montar uma tabela que liste os problemas e de notas de 1 a 5 em três categorias: Gravidade, Urgência e Tendência. Ao final, se multiplicam as notas para se obter um score comparativo entre problemas (WERKEMA, 2012b).

Tabela 3 - Exemplo de matriz GUT

Problema	Gravidade	Urgência	Tendência	G*U*T
Problema 1	5	3	2	60
Problema 2	3	4	4	48

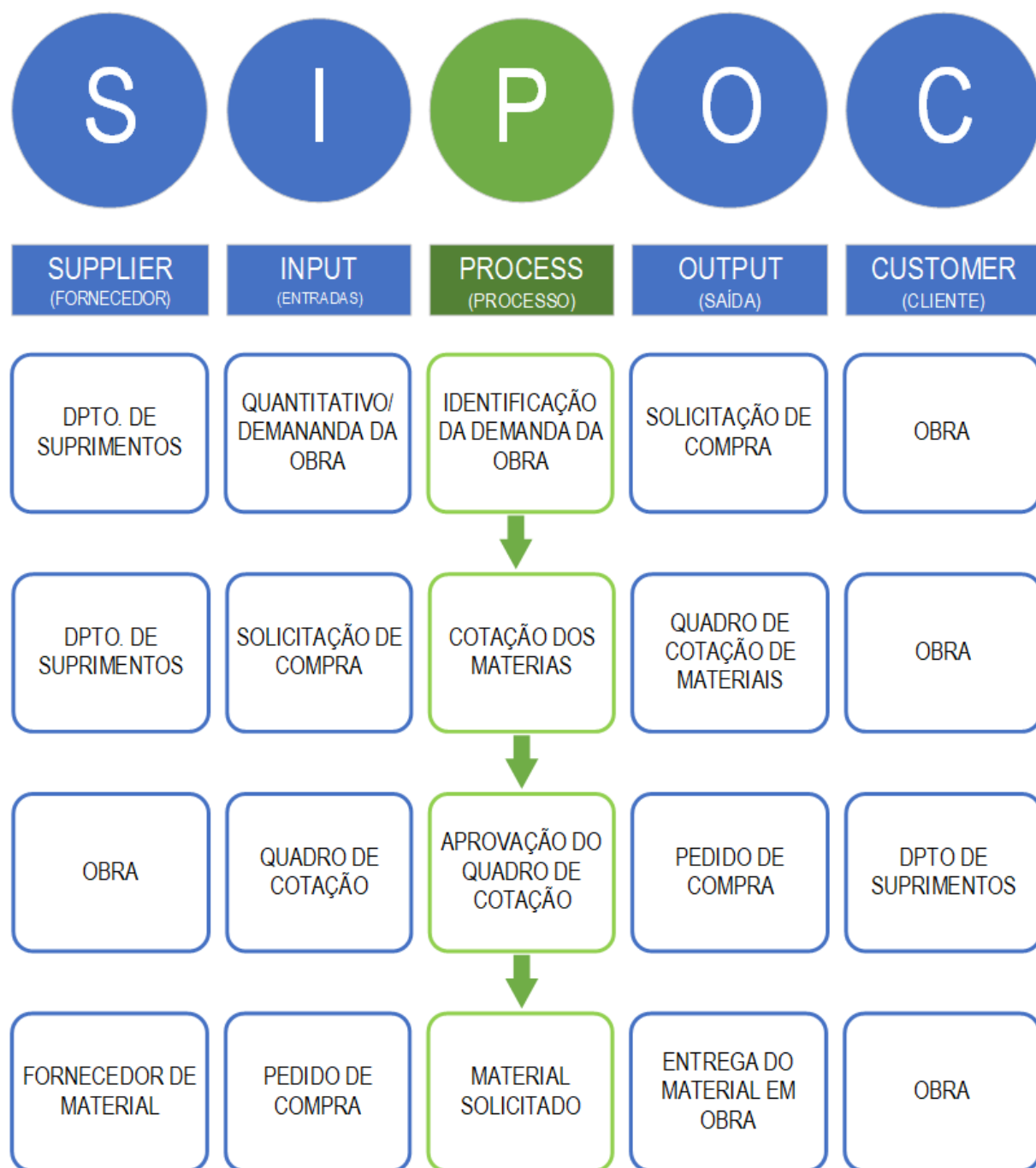
Fonte: O Autor (2024)

Pode-se atribuir a difusão da ferramenta dentro das PCP à sua simplicidade para gerar um indicador comparativo e nortear a tomada de decisão em relação a priorização dos problemas a serem atacados.

- SIPOC

O diagrama SIPOC tem por objetivo principal a definição do processo envolvido no projeto, buscando a visualização do escopo. A sigla SIPOC significa: suppliers (fornecedores), inputs (insumos), process (processo) e customers (consumidores) (WERKEMA, 2012b). A figura 8 apresenta um exemplo da aplicação da ferramenta.

Figura 8 – SIPOC



Fonte: o Autor (2024)

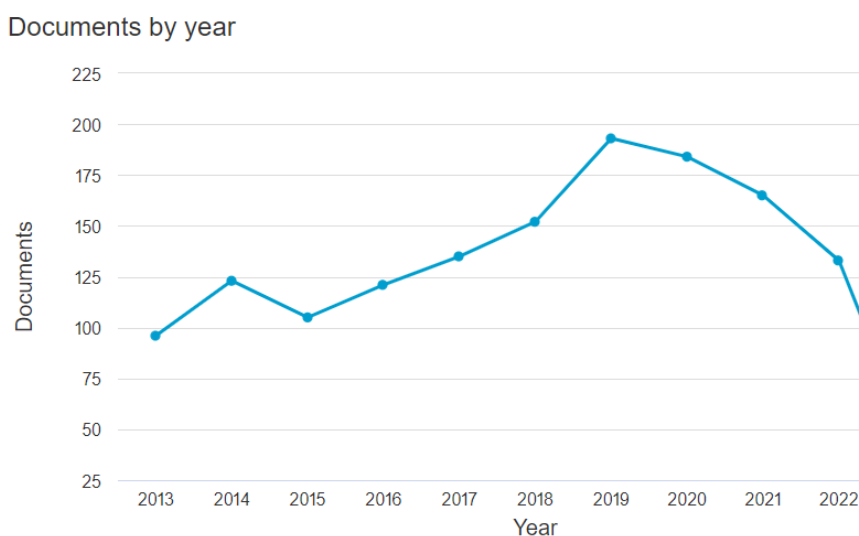
2.2 Revisão Bibliométrica e de Conteúdo

2.2.1 Bibliometria

Tendo em vista que os diferentes temas abordados na revisão da literatura estão englobados no domínio de conhecimento da gestão dentro da construção civil, foi iniciado o processo de estudo bibliométrico partindo da *string* macro: “Construction Management” e “Lean Construction” com restrição para artigos publicados nos últimos 10 anos. O resultado foram 1446 artigos que foram analisados para se obter um panorama geral das publicações dentro deste campo. Os dados foram extraídos da base de dados Scopus no ano de 2023.

Com relação ao número de publicações, foi possível observar a partir do Gráfico 2 um declínio a partir do pico de 2019. Em 2013, início da amostra, foram 96 publicações, frente a 193 em 2019 e 133 em 2022.

Gráfico 2 - Publicações por ano

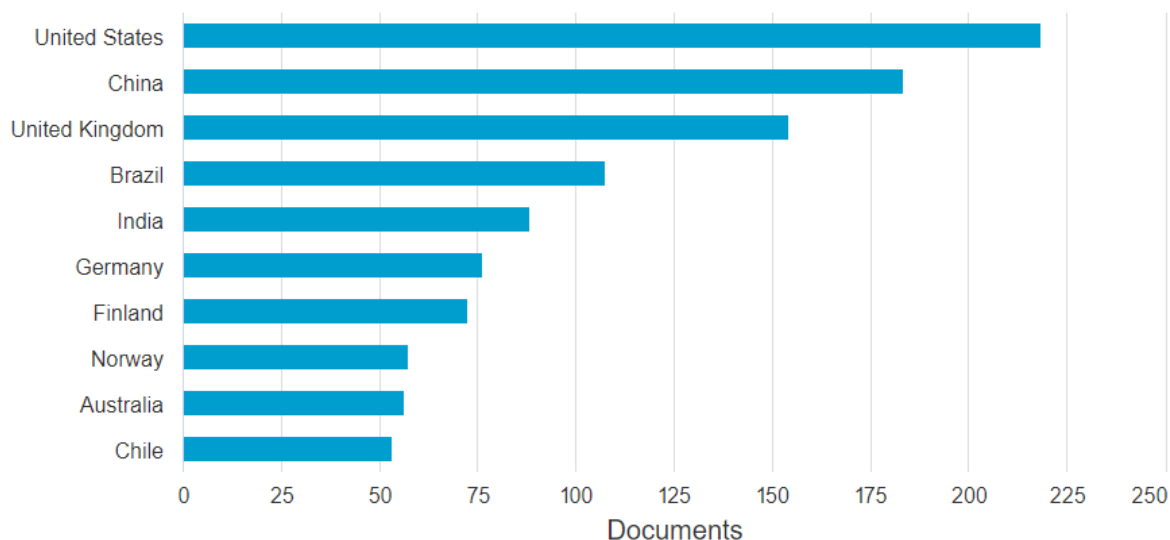


Fonte: O autor (2024)

Do ponto de vista geográfico, Estados Unidos e China lideraram em números de publicações com 218 e 183, respectivamente. Seguidos deles, figurou o Reino Unido e em quarto lugar o Brasil com 107 publicações, conforme apresenta o gráfico 3.

Gráfico 3 - Publicações por país**Documents by country or territory**

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

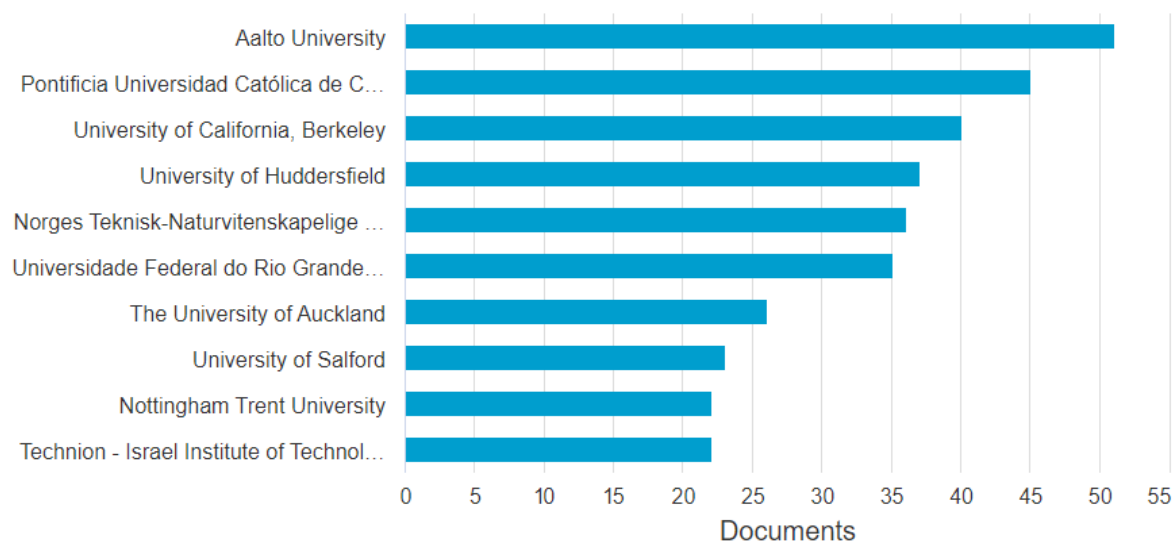


Fonte: O autor (2024)

O gráfico 4 apresenta as instituições que foram responsáveis pelo maior número de publicações. A Aalto University da Finlândia, PUC do Chile e a Universidade da Califórnia Berkeley figuram no topo.

Gráfico 4 - Número de publicações por universidade

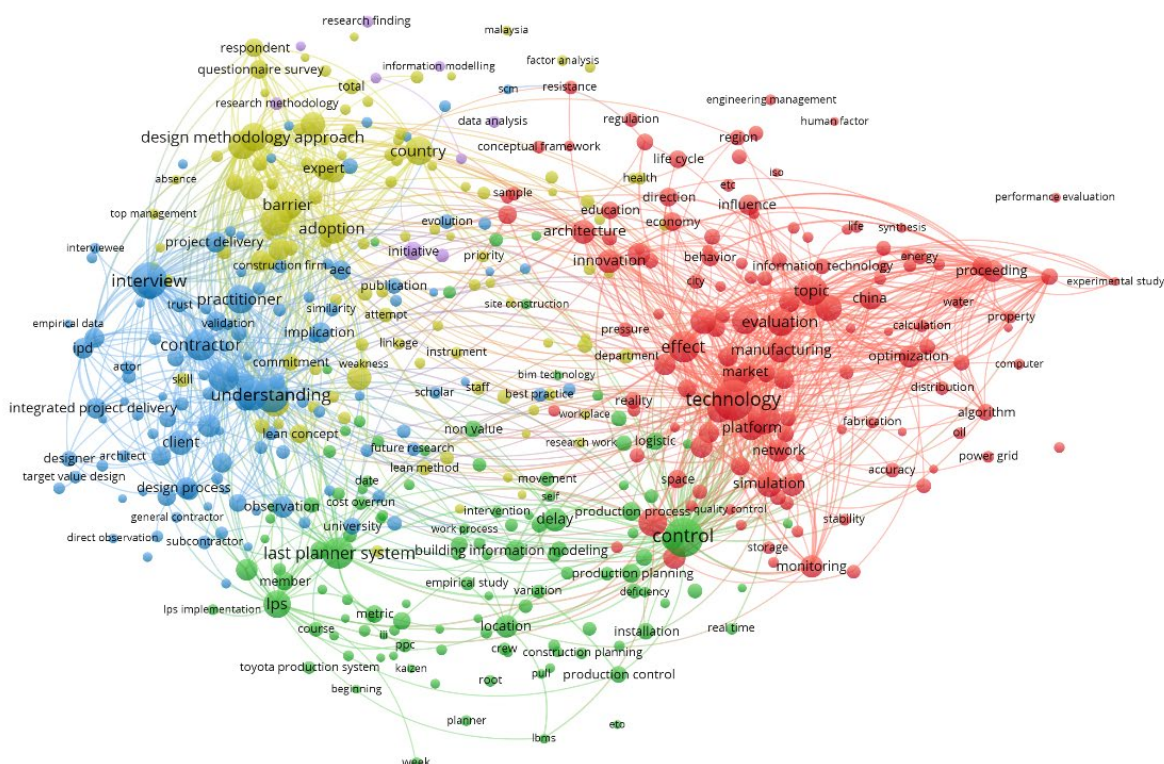
Compare the document counts for up to 15 affiliations.



Fonte: O autor (2024)

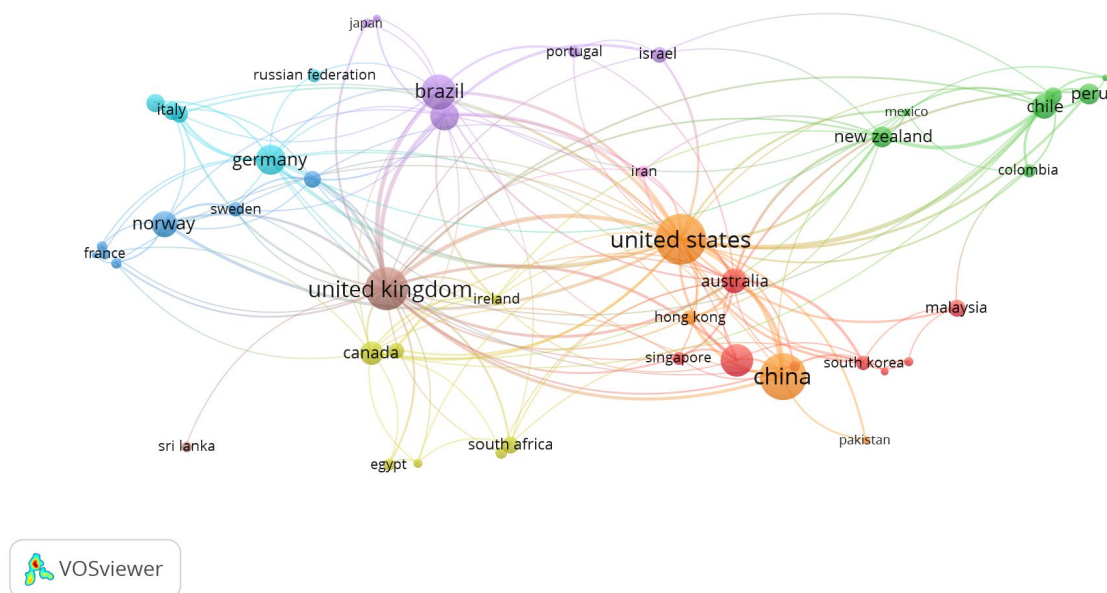
Com o auxílio do aplicativo VOS Viewer foi possível realizar uma análise das palavras chaves dos artigos por meio da formação de quatro clusters. Ressalta-se o link entre os clusters verde e vermelho que tem como palavras chaves *Last Planner System* e Planejamento e Controle, respectivamente visíveis na figura 9.

Figura 9 - Clusterização por palavras chaves



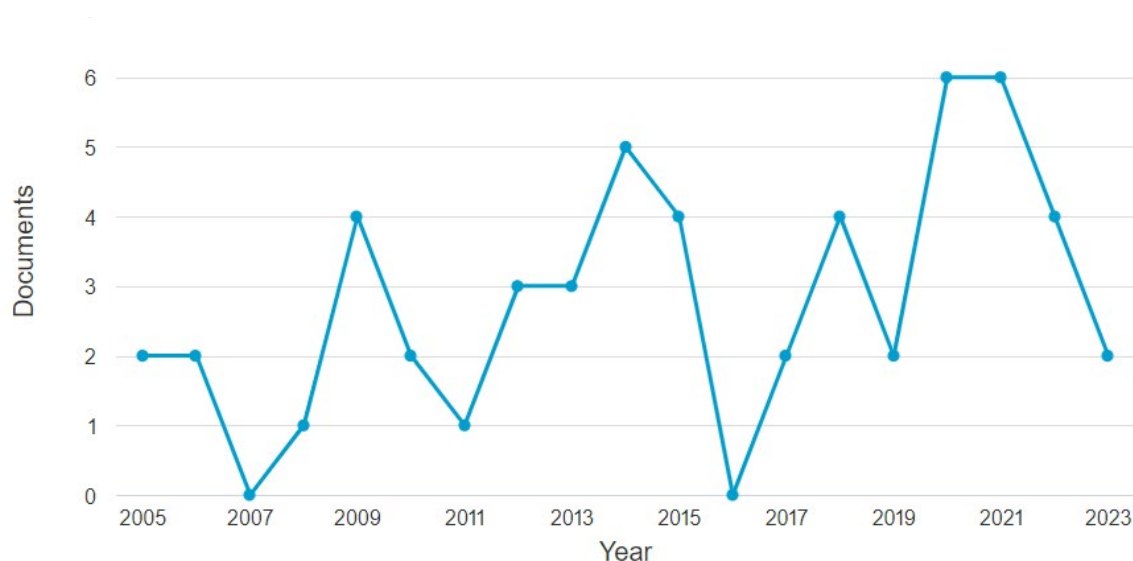
Fonte: O Autor por meio do aplicativo VOS Viewer (2024)

Com relação aos principais polos de criação de ciência, couberam duas análises por meio do aplicativo VOS Viewer. A figura 10 é relativa aos principais países responsáveis pelas publicações e sua ligação. É possível observar que os Estados Unidos são os maiores produtores seguidos da China e dividem o mesmo cluster (laranja). Alemanha, Reino Unido, Brasil e Nova Zelândia aparecem como principais em seus próprios clusters. O cluster do Brasil (roxo) apresenta maiores conexões com os Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha.

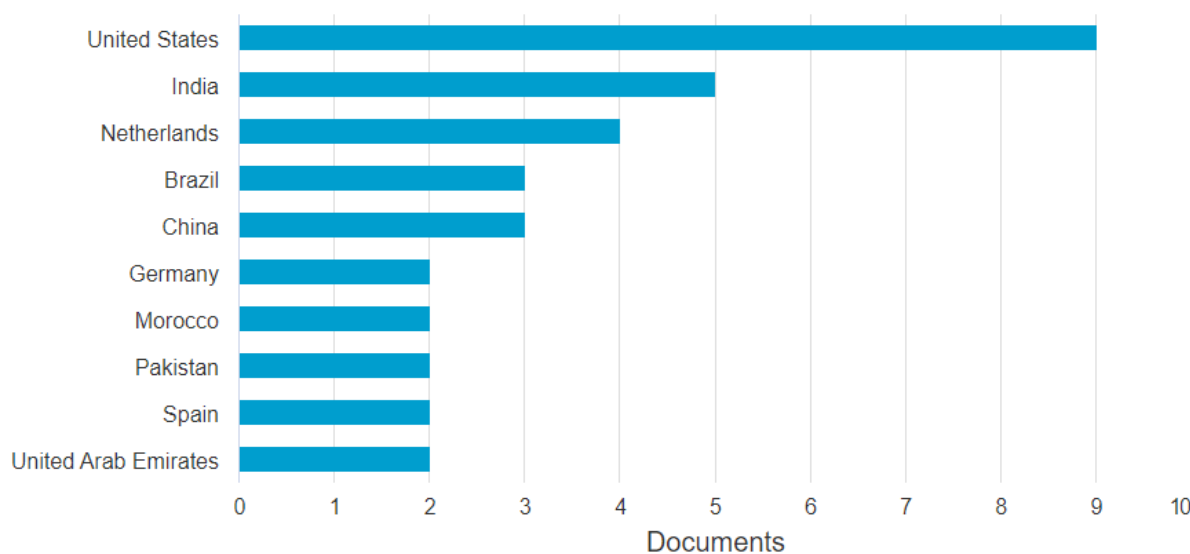
Figura 10 - Clusterização por país

Fonte: O Autor por meio do aplicativo VOS Viewer (2024)

Quanto aos principais autores citados, Koskela L. e Ballard G. são os com mais repetições. Sendo que com a análise de Clusters é possível observar uma proximidade grande entre eles (amarelo e azul, respectivamente). Além deles, o sulafricano Sack R. (em vermelho na figura) e Salem O. foram bastante citados e lideram os clusters.

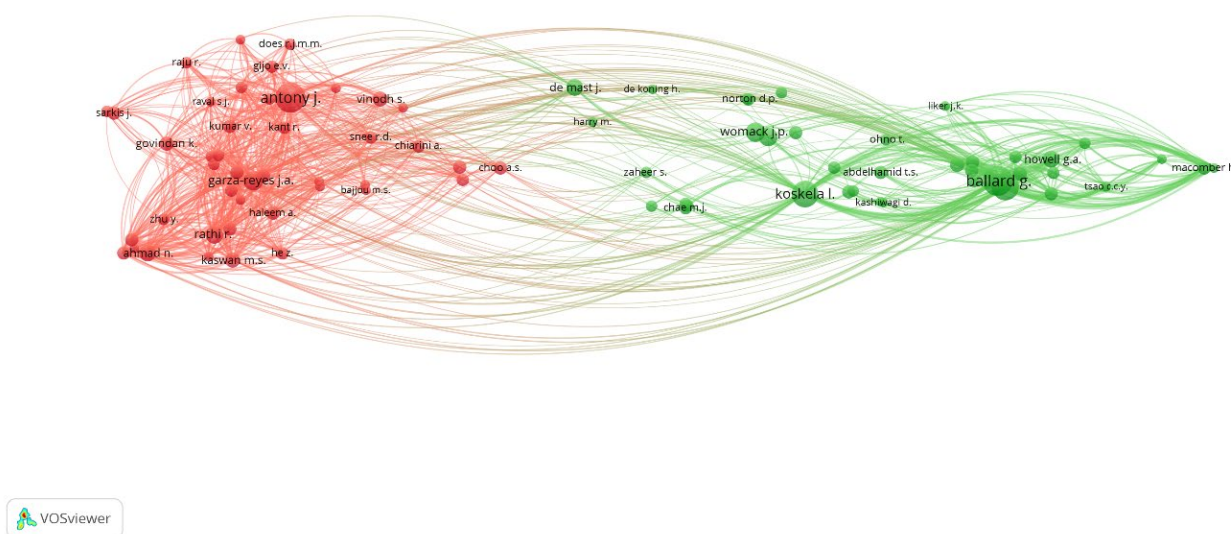
Gráfico 5 - Publicações por ano**Fonte: O autor (2024)**

Com relação aos principais países que publicaram a lista muda um pouco, frente a *string* mais global. A China está na quarta colocação e países do Oriente Médio como o Paquistão e os Emirados Árabes Unidos entram para a lista. O Brasil está em quarto e os Estados Unidos da América são os primeiros (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Publicações por país**Fonte: O autor (2024)**

Com relação aos principais autores citados, é possível observar dois grandes clusters. O primeiro em verde, é referente aos autores que pesquisam sobre Lean Construction e tem autores como Koskela L., Ballard G., e Womack, J. P., já o segundo -em vermelho- são de autores que trabalham com trabalhos na área da filosofia Seis Sigma, como Antony, J (Figura 12).

Figura 12 - Clusterização por autor



Fonte: O Autor por meio do aplicativo VOS Viewer (2024)

2.2.2 Análise de conteúdo das publicações

A análise do conteúdo dos artigos identificados pelas *strings* de pesquisa iniciou pela separação dos artigos em duas categorias com base na sua aplicação: office e production. A ideia desta segregação foi buscar entender se as dificuldades da aplicação do DMAIC na construção civil são amenizadas quando aplicadas em um ambiente mais controlado como o escritório, frente a desorganização inerente ao canteiro de obras.

Um ponto que também distingue o office do production é a disponibilidade de dados. No contexto empresarial e estratégico, a adoção de ERPs e softwares de gestão ou ao menos planilhas de controle é bastante difundido dentro da construção civil, permitindo a geração de dados estratégicos. Já no caso do canteiro, a realidade

usualmente é outra. Não existe uma cultura estabelecida de geração de dados, dificultando a aplicação do DMAIC (NASCIMENTO et al., 2019).

Outra barreira para aplicação do Lean Six Sigma no contexto de canteiro é a falta de uma metodologia sistemática para avaliar as taxas de defeito e o aumento de desempenho em meio a uma indústria onde os defeitos são removidos no próprio processo produtivo (SULLIVAN, 2011). Essa barreira, fruto da diferença entre a indústria seriada e a indústria da construção civil justifica a necessidade de adaptações das ferramentas já difundidas do Lean Six Sigma para o cenário da produção por projeto.

Outro ponto que Sakr et al. (2022) levantam, é que a individualidade de cada projeto da Construção Civil dificulta o sucesso de soluções universais engessadas, como é o caso do Road Map da ferramenta DMAIC. Os autores reafirmam que a gestão na construção civil pode se beneficiar muito das técnicas e ferramentas do Six Sigma, porém é necessária uma adaptação para realidade da indústria.

Apesar das dificuldades citadas por vários autores quanto a aplicação de ferramentas advindas da indústria seriada na construção civil, há uma necessidade para melhoria não só do ponto de vista econômico, mas também ambiental. A construção civil possui produtividade 30% mais baixa comparada a indústria tradicional (ANDUJAR-MONTOYA et al., 2015).

Ferng e Price (2005) discutem que existe grande potencial para aplicação do Seis Sigma dentro do canteiro de obras. Os autores identificaram os três maiores desperdícios (também amplamente citados nas bibliografias do Lean Construction) trabalho, material e tempo como campo fértil na definição dos problemas principais abordados em uma aplicação do DMAIC.

Neste contexto, a aplicação da ferramenta DMAIC na construção civil no contexto da office é pautada na filosofia Lean Six Sigma por meio do uso dos dados coletados dentro do ambiente empresarial. Os dados coletados são, usualmente, relativos a áreas mais estratégicas do processo da empresa e envolvem variáveis como tempo de ciclo de obras, capital investido, capital retornado, histórico de preços de insumos e outras.

Do ponto de vista prático, Van Den Bos et al. (2014) aplicaram o Lean Six Sigma em uma construtora holandesa, ao todo foram 62 projetos que passaram por todo o ciclo DMAIC e 30 que foram abandonados. Os departamentos envolvidos na aplicação foram: desenvolvimento de edifícios residências e não residenciais,

infraestrutura, serviços técnicos e serviços corporativos, tarefas majoritariamente realizadas dentro dos escritórios da companhia. Os autores consideraram a aplicação satisfatória e elencaram alguns fatores considerados importantes para esse sucesso como o fato da empresa já possuir um nível alto de maturidade e processos no momento da aplicação e a cultura da melhoria contínua já ser parte da organização, dispondo de dados para aferição da melhoria como o tempo de ciclo planejado versus realizado.

Mesmo assim, a taxa de projetos que obteve perenidade foi de apenas 67,4% (do total de 92 aplicações que iniciaram). Esta taxa de aproveitamento pode ser considerada baixa ao se comparar com outras ferramentas.

Outra aplicação prática foi apresentada por Al-Aomar (2012) que realizou um estudo de caso em Abu Dhabi – EAU com o objetivo de aplicar um framework adaptado do Lean Construction, com métricas do Six Sigma tendo como base 28 estudos de caso dentro da construção civil de portes variados. Apesar de não aplicar o DMAIC como ferramenta de identificação e solução de problemas, os autores desenvolveram KPIs baseados na filosofia Six Sigma. A análise da confiabilidade destes indicadores passou por uma validação semelhante a que ocorre na fase Define e Measure da ferramenta DMAIC. A disponibilidade dos dados dentro do contexto de gestão das construtoras estudadas indica que existia a possibilidade para aplicar a ferramenta DMAIC.

Sakr et al. (2022) aplicaram a ferramenta DMAIC dentro da etapa de projetos buscando um sistema para solução de problemas ainda nas fases preliminares dos projetos. A ferramenta foi aplicada em um estudo de caso que identificou, por meio do roadmap do DMAIC, falhas do projeto de As Built do terreno inicial como problema prioritário, gerando interferências e desperdícios na fase de execução. Apesar de ter obtido bons resultados, os autores relataram dificuldades na aplicação da ferramenta concebida para aplicação dentro da indústria seriada, no contexto estudado.

De maneira geral, foi possível identificar pelos artigos levantados uma dificuldade na aplicação da ferramenta DMAIC dentro da construção civil advinda, majoritariamente, da dificuldade de se levantar dados confiáveis. Identifica-se assim, uma oportunidade para analisar os fatores que implicam no sucesso da implantação do Lean Six Sigma na construção civil.

3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

O Capítulo 3 tem por objetivo explicitar o método que foi utilizado para a realização da pesquisa. Neste capítulo, serão detalhados os métodos, técnicas e procedimentos empregados para coletar e analisar os dados. A clareza e a precisão na descrição do método utilizado são fundamentais para garantir a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos. Neste contexto, apresenta-se a estrutura deste capítulo, as razões por trás da escolha do método específico e como ele se alinha aos objetivos do estudo, proporcionando assim uma base sólida para a pesquisa realizada.

3.1 Classificação da Pesquisa

Quanto à natureza, a presente pesquisa é do tipo aplicada visto que busca implantar ações que possam melhorar o desempenho do PCP na construção civil utilizando a abordagem Lean Six Sigma.

A abordagem da pesquisa é tanto quantitativa como qualitativa, pois utiliza dados reais das obras. O pesquisador tem ação direta nas empresas estudadas visto que faz parte da equipe de trabalho. Desta forma, teve a possibilidade de interagir com os agentes que atuam diretamente no campo, cumprindo os procedimentos rotineiros das empresas estudadas.

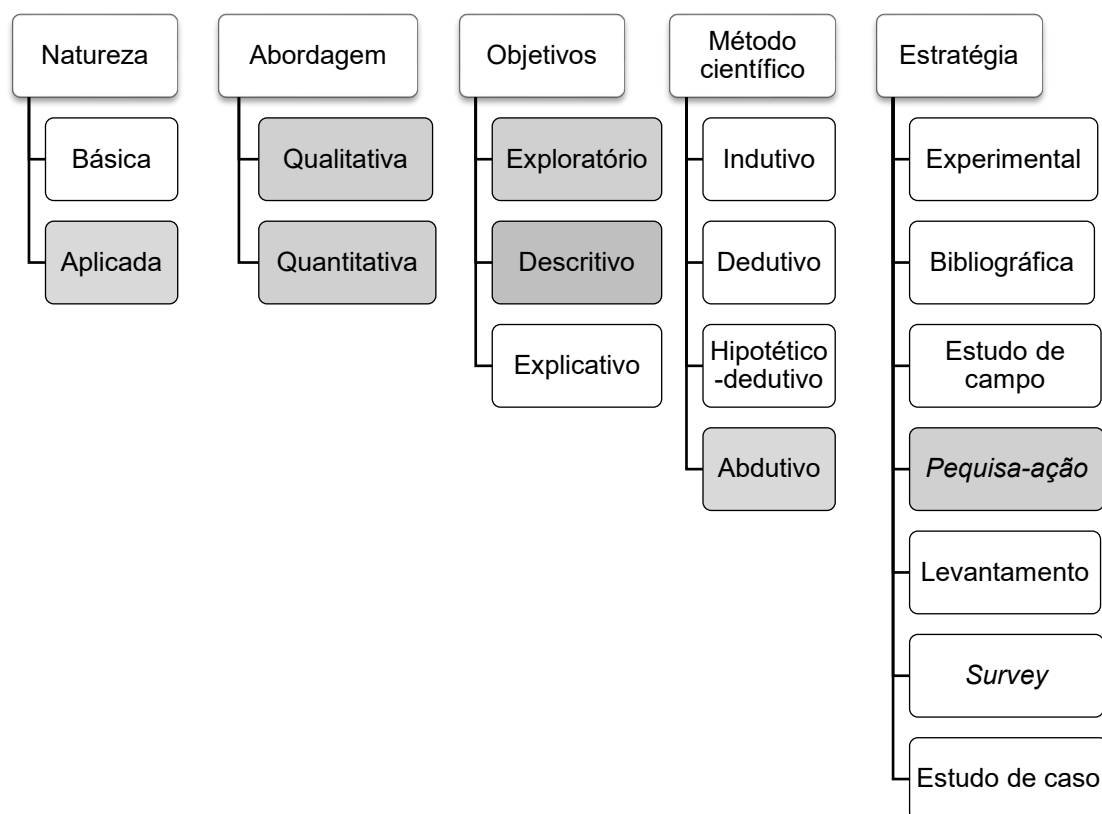
Com relação ao seu objetivo, a pesquisa é exploratória e descritiva, pois busca contribuir com um assunto ainda pouco explorado na construção civil. Dentro do método científico a classificação como abdutivo ocorre devido a geração e teste de hipóteses para explicação do método.

Quanto à estratégia de pesquisa, caracteriza-se como pesquisa-ação, com intervenção experimental longitudinal, pois busca implantar ações que possam melhorar o desempenho do PCP na construção civil utilizando a abordagem Lean Six Sigma por meio da ferramenta DMAIC.

Para Tripp (2005), na pesquisa-ação se faz necessária a ação direta do pesquisador já que sem a prática não será possível deduções de cunho teórico ou mesmo a validade ou não do conhecimento. Thiollent (1997) justifica ainda que essa estratégia de pesquisa encontra um contexto favorável quando se deseja propor e implantar ações identificando o comportamento da unidade de análise. Com a pesquisa-ação os pesquisadores desempenham um papel ativo na realidade dos fatos

observados e tem a possibilidade de obter o feedback direto dos envolvidos possibilitando um melhor direcionamento das ações que podem resolver as situações levantadas. A Figura 14 ilustra a caracterização dessa dissertação.

Figura 14 - Caracterização da pesquisa



FONTE: O autor (2024)

3.2 Etapas da Pesquisa

Baseado no trabalho de Campenhoudt, Marquet e Quivy (2017) e de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), foi escolhido dividir as fases e etapas da pesquisa como resumido na tabela 4, que apresenta também as saídas de cada etapa.

Tabela 4 - Fases e etapas da pesquisa

FASE	ETAPA	DESCRIÇÃO	RESULTADO	SAÍDA
INICIAL OU CONCEITUAL	ETAPA 1	Identificação do problema	Identificação do problema de pesquisa (capítulo 1 e 4)	Objetivo, estudo piloto
	ETAPA 2	Exploração do tema	Desenvolvimento da revisão de literatura (capítulo 2)	Base teórica
	ETAPA 3	Escolha do método de pesquisa	Descrição do método de pesquisa (capítulo 3)	Estrutura metodológica do trabalho
DESENVOLVIMENTO	ETAPA 4	Definição da unidade de análise e meta a ser atingida	Define – identificação junto à casa do problema raiz que afeta o desempenho do PCP (capítulo 4)	Escopo da ação e definição da meta a ser atingida
	ETAPA 5	Mensuração dos dados reais que envolvem o PCP	Measure – coleta de dados quantitativos e qualitativos necessários para entender o desempenho do PCP e identificação dos problemas (capítulo 4)	Lista de causas raiz que envolvem o problema
	ETAPA 6	Análise dos dados	Analyse – análise dos problemas e proposta de melhorias focada na realidade organizacional (capítulo 4)	Lista de ações
	ETAPA 7	Implantação das ações de melhoria	Improve - são propostas, avaliadas e implementadas soluções para cada problema que havia sido priorizado (capítulo 4)	Plano de Ação e de riscos
	ETAPA 8	Controle do desempenho das ações implantadas	Control - são tomadas ações objetivando garantir que o alcance da meta seja mantido em longo prazo. Caso ocorra algum desvio, deve-se efetuar ações corretivas (capítulo 4)	Dashboards de acompanhamento
	ETAPA 9	Discussão dos resultados	A partir dos resultados obtidos nos capítulos 4 e 5, é realizada uma análise crítica das etapas do roadmap de Werkema (201B2) e apresentadas propostas de melhorias	Road map com propostas de melhorias
CON-CLUSÃO	ETAPA 10	Considerações finais e conclusão	Considerações finais, conclusão e recomendações para trabalhos futuros (capítulo 5)	Comunicação dos resultados

Fonte: O autor (2024)

3.2.1 Etapa 1: Identificação do problema

A primeira etapa deste trabalho foi a identificação do problema de pesquisa a ser atingido. Para nortear esta escolha foi realizada uma Pesquisa-ação Piloto em

uma construtora de edifício residências de alto padrão no setor de PCP com o objetivo de melhorar o controle de prazo das obras. Para tanto, foi utilizada a abordagem DMAIC visando avaliar a viabilidade desta ferramenta como mecanismo de melhoria contínua dentro da construção civil.

As fases da Pesquisa-ação Piloto desenvolvida foram: Fase 1: Identificação do problema; Fase 2: Exploração do tema; Fase 3: Definição da unidade de análise e meta a ser atingida; Fase 4: Mensuração dos dados reais que envolvem o PCP; Fase 5: Análise dos dados; Fase 6: Implantação das ações de melhoria e Fase 7: Controle do desempenho das ações implantadas.

Durante a Fase 6 (Implantação das ações de melhoria) foi possível aplicar as ferramentas Last Planner e Lookahead. Com frequência semanal, por meio de entrevistas, foi perguntado, aos encarregados de cada frente de trabalho, sobre as atividades do cronograma da obra e sobre os planos para a próxima semana (Last Planner) e para as três semanas seguintes (Look Ahead). Nas semanas seguintes, foram realizados o levantamento sobre o andamento dos itens planejados no Last Planner e foi feito o replanejamento do Lookahead. Essa atividade foi realizada pelo Engenheiro da Obra e responsável pelas tarefas avaliadas. A tabela 5 apresenta as perguntas utilizadas nas entrevistas semi-estruturadas.

Tabela 5 - Questionário semanal utilizado

Questionário Semanal
<u>1. Planejamento: <i>Lookahead</i> e <i>Last Planner</i></u>
a) (Mostrando o planejamento feito na semana interior) Quais atividades serão realizadas nas próximas três semanas? Detalhando duração, início e fim.
b) Quais são as restrições para a realização de cada uma destas atividades?
<u>2. Controle <i>Last Planner</i>:</u>
a) Quando as tarefas iniciaram e terminaram?
b) (Para as tarefas que fugiram do planejado) Quais foram as causas para os desvios?
c) Qual o tamanho da equipe usada em cada tarefa?

Fonte: O Autor (2024)

As informações coletadas nas reuniões semanais foram armazenadas em planilha eletrônica preparada para calcular o Percentual do Planejado Concluído (PPC) por empreiteiro e global e contabilizar, no caso de não cumprimentos, as causas

para as não realizações. O PPC semanal foi calculado por meio da equação 01 (BALLARD, 1996):

$$PPC(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de atividades concluídas}}{N^{\circ} \text{ de atividades planejadas}} \quad (eq. 01)$$

O resultado desta etapa foi a definição do objetivo geral da pesquisa e dos objetivos específicos, assim como a aplicação do DMAIC em um estudo piloto.

3.2.2 Etapa 2: Exploração do tema

Uma vez que o problema de pesquisa foi definido, a segunda etapa desta pesquisa teve como objetivo a exploração do tema dentro da literatura existente. Para tal, foi realizada a divisão do capítulo de revisão da literatura em duas partes: a primeira teve como objetivo definir os termos e ferramentas abordados por meio da literatura mais “clássica”, ou seja, dos trabalhos que definiram o conhecimento a ser explorado; enquanto a segunda etapa buscou, por meio de uma revisão sistemática da literatura (RSL), trabalhos atuais que abordam o tema.

O resultado desta etapa foi a concepção da base teórica para dar suporte para a aplicação prática do DMAIC dentro de uma pesquisa-ação na construção civil.

3.2.3 Etapa 3: Escolha de método de pesquisa

A escolha do método de pesquisa foi realizada baseado na característica de aplicação prática levantada na etapa de RSL e na disponibilidade de um estudo de caso. Sendo assim, foi escolhida a pesquisa-ação.

3.2.4 Etapa 4: Definição da unidade de análise e meta a ser atingida

A terceira etapa desta pesquisa foi o início da aplicação da ferramenta DMAIC dentro da pesquisa-ação. Foram realizadas reuniões com os *heads* de cada time, com o objetivo de identificar quais as dores que a empresa apresentava.

A partir das conversas com os envolvidos e a análise do banco de dados disponibilizado, foi identificada uma dificuldade em alinhar o orçamento das obras com os custos reais de produção. Ao final de cada ciclo, o custo real de obra ultrapassava o custo esperado e considerado no Estudo Inicial de Viabilidade (EIV), resultando em uma perda da margem de lucro projetado.

Nesta etapa, que foi pautada na aplicação do “Define” da ferramenta DMAIC, foram definidos os indicadores a serem utilizados para mensurar os problemas identificados, assim como o *Hard Saving* e *Soft Saving* esperados. Também foi realizada uma análise inicial dos processos dentro da construtora estudada por meio da aplicação da Matriz Sipoc.

3.2.5 Etapa 5: Mensuração dos dados reais que envolvem o PCP

Com o problema principal identificado, foram realizadas entrevistas semiestruturadas (tabela 6) com os envolvidos no processo de PCP para o desenvolvimento de um fluxo para mapear as atividades que compõem as diversas áreas da empresa e suas conexões dentro do desenvolvimento de produtos imobiliários.

Tabela 6 - Roteiro das entrevistas semiestruturada

Roteiro da entrevista semiestruturada	
01	Qual a sua área de atuação na empresa?
02	Em relação ao problema identificado, quais são as causas que você identifica como causadoras?
03	Descreva as atividades que o seu departamento realiza

Fonte: O Autor (2024)

O resultado das respostas obtidas nas entrevistas foi uma tabela com os problemas identificados como causadores do problema raiz. Foi feita uma análise de Pareto destas respostas assim como a análise dos dados disponibilizado por meio do Sistema ERP para validação dos dados.

O final da quarta etapa, que foi pautada na aplicação da fase de “Measure” do DMAIC, foi a definição de 4 metas para o estudo de caso, assim como a definição das causas raiz para o problema identificado.

3.2.6 Etapa 6: Análise dos dados

A quinta etapa (Analyse) iniciou com um brainstorming entre os envolvidos no processo de PCP, com o objetivo de classificar as causas raiz levantadas em nível de prioridade, para posterior criação das ações de solução.

Das causas levantadas na etapa anterior, apenas algumas foram definidas pelos envolvidos como prioritárias e destas, uma fatia ainda menor foi classificada como causa fundamental e foi explorada na fase de Improve e Control.

3.2.7 Etapa 7: Implantação das ações de melhoria

A sexta etapa foi a aplicação do “Improve” do DMAIC dentro da pesquisa-ação. Nesta fase foi realizado outro brainstorming com os envolvidos no processo de PCP para identificar soluções para as 4 causas fundamentais do problema analisado. Foram identificadas 30 soluções ao final deste processo.

Foi solicitado para que cada um dos entrevistados realizasse a classificação das soluções de acordo com alguns parâmetros de importância, das 30 soluções levantadas, 16 foram escolhidas para execução no estudo.

Por fim, foi realizado uma análise de riscos das 16 soluções escolhidas e criação de um plano de contingência para cada uma delas.

3.2.8 Etapa 8: Controle do desempenho das ações implantadas

A última etapa da aplicação do DMAIC (Control) e sétima etapa deste trabalho iniciou pela validação do alcance ou não das metas estipuladas e criação de planilhas eletrônicas e *dashboards* de controle para facilitar o planejamento e controle das obras. Ao final da aplicação, as metas foram parcialmente atendidas sendo que a meta mais importante (hard saving) foi atingida por meio da mudança de escopo na compra das esquadrias de alumínio da obra em andamento.

Foram implantadas também soluções dentro do departamento de projetos e orçamentos e no de suprimentos. Ao final da etapa de Controle, foi criado um Out of Control Action Plan (OCAP) com o objetivo de mitigar os efeitos da recorrência dos problemas identificados no futuro.

3.2.9 Etapa 9: Discussão dos resultados

Através da implementação do método DMAIC, conduzida no âmbito do estudo piloto e da pesquisa-ação, tornou-se viável efetuar uma avaliação detalhada do Roadmap proposto por Werkema (2012b). As fases delineadas foram examinadas

considerando a sua aplicabilidade prática no contexto específico da indústria da construção civil.

A partir da avaliação da ferramenta DMAIC, foi proposto uma revisão do roadmap adaptado para melhor adaptabilidade ao contexto da construção civil.

3.2.10 Etapa 10: Considerações finais e conclusão

Na última etapa foi realizada a conclusão de cada um dos capítulos do trabalho, uma análise das limitações deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

4 APLICAÇÃO, RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Pesquisa-Ação: Estudo Piloto

Este capítulo apresenta uma análise detalhada dos resultados obtidos na Pesquisa-ação realizada em um Estudo Piloto por meio da aplicação do DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) no PCP de uma empresa do setor da construção de edifícios. Ao longo deste estudo, foram empregadas técnicas de planejamento de curto e médio prazo visando identificar os desafios que envolvem a implantação do Last Planner e Lookahead no dia a dia da obra. Os dados coletados e as análises realizadas revelaram alguns desafios inerentes à adaptação de metodologias de indústrias seriadas à complexidade da construção civil.

4.1.1 Resultados e Análise dos dados

Foi realizada a Pesquisa-ação Piloto em uma construtora situada na cidade de Curitiba. A obra estudada foi um edifício de 11 pavimentos com três subsolos e 8.630m² construídos. O foco do estudo foi a fase da estrutura do edifício. Duas ferramentas foram implantadas: o Last Planner e o Lookahead. Como a construção do edifício estava em fase de estrutura, as ferramentas foram utilizadas junto à equipe de carpinteiros e à de armadores, sendo que o planejamento era feito em conjunto com seus contramestres e o mestre responsável pela obra inteira. O horizonte de planejamento era de três semanas (em um período de 24 semanas) e o objetivo principal era fazer com que os planejadores focassem na identificação de problemas que poderiam comprometer a produção. Foi aplicada a ferramenta do Lean Six Sigma DMAIC para a realização das tarefas da Pesquisa-ação desenvolvida. A seguir são apresentados os principais resultados e análises realizadas em cada etapa.

4.1.2 Define

Foi identificado que as obras da construtora estudada possuíam dificuldade em alinhar as tarefas planejadas e as realizadas no canteiro de obras. O resultado dessa deficiência do PCP gerava atrasos de entregas parciais, assim como estouro no prazo previsto para a execução dos empreendimentos.

Para avaliar o nível de desempenho do PPC do Estudo Piloto foi utilizado o Percentual do Planejado Concluído (PPC). Essa métrica possibilitou avaliar o

desempenho do planejamento e controle da produção de curto e médio prazo, servindo não só para monitorar os prazos do projeto, etapa a etapa, mas, também, para ajustar expectativas da empresa.

O cálculo do PPC depende de um bom planejamento das atividades, na dimensão tempo, que precisam ser executadas. Para tanto, todas as atividades em execução foram organizadas em etapas e frentes de trabalho, com previsão de execuções diárias. Dessa forma, foi possível verificar rotineiramente se os planos estavam sendo concluídos conforme o previsto.

4.1.3 Measure

Analisando o PPC da obra avaliada percebeu-se que esse indicador ficou na média de 71%. Isto significa que, aproximadamente, 7 em cada 10 tarefas tinham problemas em relação ao prazo de entrega. O projeto de melhorias alinhado com a empresa teve como meta atingir um PPC médio de 90%.

4.1.4 Analyse

Foi possível identificar 10 problemas que afetavam diretamente a realização das tarefas e consequentemente, a entrega dentro dos prazos estabelecidos. A tabela 7 mostra os problemas identificados.

Tabela 7 - Recorrência das causas

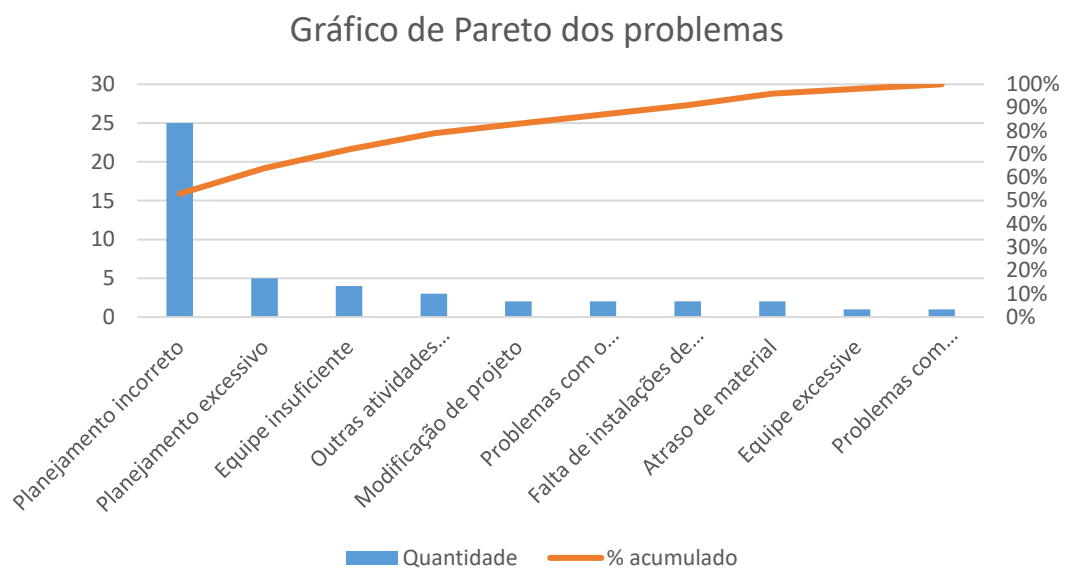
Problema	Quantidade	% acumulado
Planejamento incorreto	25	53%
Planejamento excessivo	5	64%
Equipe insuficiente	4	72%
Outras atividades emergenciais surgiram	3	79%
Modificação de projeto	2	83%
Problemas com o endurecimento do concreto	2	87%
Falta de instalações de segurança	2	91%
Atraso de material	2	96%
Equipe excessiva	1	98%
Problemas com transporte vertical	1	100%

Fonte: Autor (2024)

Pela tabela 7 também se percebe que o Planejamento incorreto, o Planejamento excessivo, a Equipe insuficiente e outras atividades emergenciais que surgiram correspondiam a 79% dos problemas listados.

Com a identificação dos problemas principais levantados durante a aplicação do Lookahead e Last Planner foi traçado um Diagrama de Pareto (gráfico 7) a fim de identificar os problemas com maior incidência. Na sequência foi aplicado o Diagrama de Ishikawa para verificar a causa raiz dos problemas mais significativos (tabela 8).

Gráfico 7 - Gráfico de Pareto das causas identificadas



Fonte: Autor (2024)

Tabela 8 - Resumo da aplicação do diagrama de Ishikawa nas causas mais significativas

Problema	Planejamento Incorreto	Planejamento excessivo	Equipe Insuficiente	Surgimento de outras atividades
Medidas				
Métodos	a) Mestres não tem acesso ao planejamento de longo prazo	a) Compra de aço cortado b) Fragmentação exagerada de tarefas	a) Priorização de outras frentes	a) Falta de planejamento de outras atividades b) Interferências externas
Pessoas	a) Funcionários doentes ou faltantes	a) Funcionários em excesso	a) Falta de pessoal	a) Funcionários doentes ou faltantes
Máquinas	a) Problemas com minigrua b) Problemas com elevador cremalheira	a) Aluguel de equipamentos não previstos	a) Problemas com equipamento de transporte	a) Problemas com minigrua
Ambiente	a) Chuva		a) Chuva: Redução de tempo	c) Chuva
Materiais				a) Chegada de materiais

Fonte: Autor (2024)

4.1.5 Improve

Com as causas elencadas e detalhadas, foi realizado um brainstorming com os envolvidos, a fim de listar ações com potencial de reduzir ou evitar a recorrências dos não cumprimentos. Foi utilizada a ferramenta 5W1H (WERKEMA, 2012b) (a dimensão custo não foi abordada nesta etapa) para organizar as ideias e propor um plano de ação (Tabela 9).

Tabela 9 - 5W1H para apresentação de plano de ação

5W1H					
What (o que)	When (quando)	Why (porque)	Where (onde)	Who (quem)	How (como)
Apresentação do andamento do cronograma de médio e longo prazo	Mensalmente	Para que os mestres estejam atualizados	Na obra	Engenheiros e mestres de obra	Por meio de reuniões
Definição da produtividade, ritmo de trabalho e dimensionamento de equipes mínimas (mesmo em caso de empreita)	Sempre que uma frente de trabalho for iniciar	Gerar uma obrigação por parte dos empreiteiros em manter uma equipe mínima	Planejamento de curto prazo	Engenheiros	Por meio de composições
Planejamento com folgas para o transporte de ao menos dois dias	Em todos os serviços que envolvem o uso de equipamentos de transporte vertical	Evitar que um dia de interrupção com equipamentos ocasione atrasos	Planejamento de curto e médio prazo	Mestres e Engenheiros	Considerando ao menos um dia de folga para transporte
Planejamento com folgas considerando a possibilidade de chuva	Em serviços que são prejudicados pela chuva	Evitar atrasos em decorrência da Chuva	Planejamento de curto e médio prazo	Mestres e Engenheiros	Considerando uma folga para a execução de serviços afetados
Planejamento global da obra e acompanhamento de médio e curto prazo	No início, mensalmente e semanalmente	Manter todos os <i>stakeholders</i> a par do andamento dos serviços	Escritório e obra	Diretores, engenheiros e mestres	Pela aplicação de ferramentas de gestão
Implementação de um ERP voltado para suprimentos	Imediatamente	Criar um Fluxo de informação de compras	Escritório e obra	Diretores, engenheiros, mestres e almoxarife	Por meio da contratação de um sistema

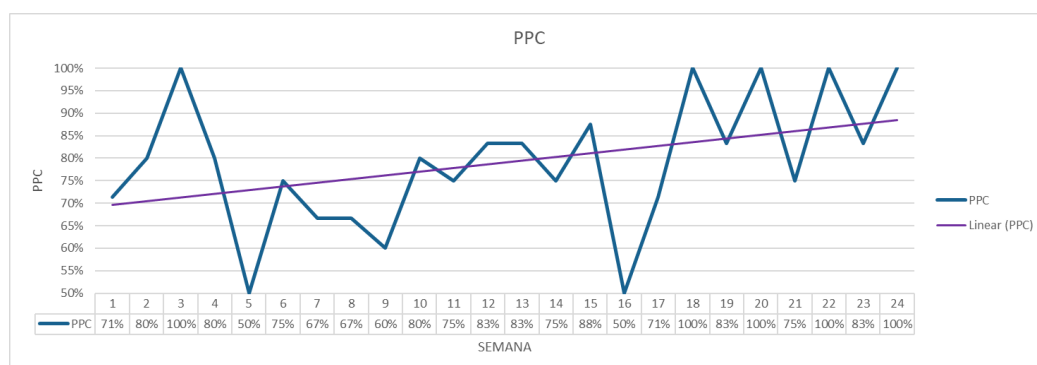
Fonte: Autor (2024)

4.1.6 Control

Tendo o Plano de Ação estruturado, foi aplicada a Ferramenta Last Planner e Lookahead propostas por Ballard (1996) na obra estudada.

As informações coletadas nas reuniões semanais foram armazenadas em planilha eletrônica que calculava o Percentual do Planejado Concluído (PPC) por empreiteiro e global e contabilizava, no caso de não cumprimentos, as causas para as não realizações. O gráfico 8 ilustra o PPC total obtido ao longo do período (26 semanas). O levantamento dos problemas permitiu analisar a curva de aprendizagem de cada empreiteiro durante a pesquisa e principalmente os principais problemas enfrentados bem como as soluções tomadas para ajustar às tarefas ao cronograma da obra.

Gráfico 8 - Evolução do PPC no decorrer da pesquisa



Fonte: Autor (2024)

A partir das ações implantadas foi possível, a partir da semana 18, atingir a meta geral média do PPC de 90%. Essas eram repassadas aos terceirizados e toda a gestão da informação passou a ser realizada por meio de tabelas dinâmicas que abasteciam o *dashboard* de controle desenvolvidos (Figura 15).

4.2 Abordagem Lean Six Sigma Aplicada ao Planejamento e Controle da Produção: Pesquisa-Ação

Esta seção apresenta os resultados detalhados da aplicação da metodologia Lean Six Sigma no contexto do PCP de uma empresa do setor da construção de edifícios residenciais. Esta aplicação ocorreu após o estudo piloto. Ao longo desta pesquisa, foram empregadas técnicas de gestão de processos, visando otimizar a eficiência, reduzir desperdícios e aprimorar a qualidade das operações produtivas. Cada seção é respaldada por dados concretos e análises fundamentadas na revisão da literatura realizada, proporcionando uma compreensão das ações implementadas salientando seus benefícios tangíveis bem como os desafios organizacionais encontrados.

4.2.1 Resultados e Análise dos Dados

Foi realizada a Pesquisa-ação em uma construtora que atua em Curitiba e RMC. Foram analisados dados de quatro obras, sendo três destas já finalizadas e uma em execução. Foi aplicada a ferramenta do Lean Six Sigma DMAIC para a realização das tarefas da Pesquisa-ação desenvolvida. A seguir são apresentados os principais resultados e análises realizadas em cada etapa.

4.2.1.1 Define

Foi identificado que a construtora estudada possuía dificuldade em alinhar o orçamento das obras com os custos reais de produção. O custo direto final das obras ficava acima do custo orçado. Como consequência, existia uma dor relativa à exatidão do custo previsto x realizado e consequentemente da margem real x margem esperada no negócio.

O Custo total do empreendimento era composto pelo custo direto (tudo que fica incorporado ao produto final) agregado ao custo indireto (custo administrativo, taxas, impostos, lucro). Como este problema afetava diretamente a saúde financeira da empresa, classificou-se o projeto de aplicação do DMAIC como sendo de alta relevância para a empresa, alta complexidade de resolução, com alto impacto no resultado operacional e na satisfação do cliente.

Foram analisadas três obras cujos dados foram disponibilizados dentro do banco de dados. As datas de início e término, assim como o status delas estão descritas na tabela 10.

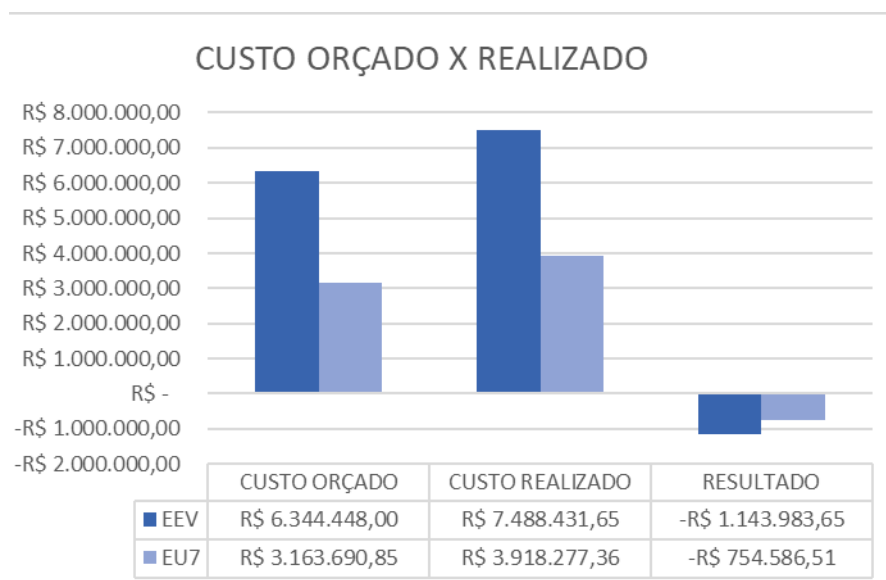
Tabela 10 - Obras analisadas

OBRA	Início	Término	Status
EU7	Jun-2018	Jun-2020	Concluída
EEV	Jun-2019	Jun-2021	Concluída
ETT	Fev-2021	Set - 2023	Concluída
EAD	Mar-22	-	Em andamento

Fonte: O Autor (2024)

O resultado da análise dos dados disponíveis no ERP da empresa, possibilitou a confirmação da existência do problema. A tabela 11 apresenta a distorção entre o custo previsto e o custo realizados de dois edifícios residenciais executados e concluídos na empresa durante os anos de 2016 à 2018.

Tabela 11 - Custo Previsto X Custo Realizado



Fonte: O Autor (2024)

Um dos indicadores de desempenho na construção civil é o Percentual de Previsão de Custo Real (PPR). Essa métrica avalia o desempenho do custo orçado

das obras, servindo não só para monitorar o custo do projeto, etapa a etapa, mas, também, para ajustar expectativas.

Buscando mensurar o nível de assertividade do custo orçado foi adotado o indicador Percentual de Previsão do Custo Real (PPR). Essa métrica avalia o desempenho do custo orçado das obras, servindo não só para monitorar o custo do projeto, etapa a etapa, mas, também, para ajustar expectativas.

O cálculo do PPR depende de um bom planejamento das atividades, na dimensão tempo e custo, que precisam ser executadas. Todas elas devem estar organizadas em etapas e frentes de trabalho, com previsão de execuções diárias. Dessa forma, é possível verificar rotineiramente se os planos estão sendo concluídos conforme o previsto.

Esse acompanhamento é feito por meio da equação 02:

$$PPR = \left(\frac{\text{Custo orçado} - \text{custo real}}{\text{custo orçado}} \right) \quad (Eq.02)$$

Onde: Custo real = custo real pago pelo serviço e o

Custo orçado = custo previsto no orçamento da obra.

Por exemplo, a obra EU7 foi orçada por R\$ 6.344.338,00 e teve o custo real de R\$ 7.488.431,65 obtendo um PPR de -18%, isto é, desempenho abaixo do previsto.

Os dados utilizados foram considerados confiáveis pois estavam no ERP da empresa e refletem os custos diretos da obra. Foi liberado o acesso direto ao banco de dados e o proprietário validou as informações.

Analisando o PPR das obras dos EU7 e EEV percebe-se que ambas obtiveram um PPR negativo. A obra do EEV obteve o PPR de -18% e a obra do EU7 -24%.

O caso da obra que estava em andamento, o EAD, o custo orçado via indicadores paramétricos foi de aproximadamente R\$10.135.000,00. Este custo serviu como base para o cálculo do preço de venda e comercialização de quase 90% das unidades da obra. O orçamento executivo foi entregue em abril de 2022 e ficou em R\$13.348.704,67, atingindo uma diferença de 32%. Neste cenário, a meta do projeto foi a redução de 5% (R\$160.685,23) desta diferença no prazo de 9 meses.

Como a Construtora estudada possuía dificuldade em alinhar o orçamento das obras (paramétrico, executivo) com os custos reais de produção e apresentava a

necessidade de comercializar as unidades a serem fabricadas de forma antecipada para garantir sua liquidez, o custo direto real das obras ficava acima do custo orçado. Essa dor relativa à exatidão do custo previsto x realizado gerava diferentes incômodos para o proprietário e equipe, pois o estouro do orçamento poderia comprometer a perenidade da empresa. Como este fato afetava diretamente a saúde financeira da empresa, classificou-se o projeto como sendo de alta relevância para a empresa visto que o proprietário julgava esse como sendo o seu maior problema, pois estava diretamente ligado ao resultado operacional e conseqüentemente na qualidade do produto entregue para o cliente final. A mitigação deste problema poderia trazer ganhos significativos para a empresa pois poderia alinhar de forma mais apropriada a relação custo x preço de venda do produto. Conforme informações obtidas junto ao proprietário esse projeto esteve totalmente alinhamento às estratégias da empresa e a alta administração esteve alinhada com o escopo do projeto bem como esteve disposta a contribuir para sua execução.

A equipe do projeto foi composta pelo Champion (proprietário), Engenheiro da Obra do EAD, responsável pelo departamento de suprimentos e responsável pelo departamento de projetos e orçamentos.

O Cronograma da aplicação do DMAIC neste projeto foi: Define (abril 2023), Measure (maio 2023), Analyse (Junho 2023), Improve (Agosto e Setembro de 2023), Control (Outubro a dezembro de 2023).

A tabela 12, apresenta a aplicação da ferramenta SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers*) como resultado da análise inicial dos processos dentro da construtora estudada.

Tabela 12 - Aplicação da Matriz SIPOC no estudo de caso

Fornecedores Suppliers	Insumos Inputs	Processo Process	Produtos Outputs	Consumidores Customers
Ativo: Corretores, Passivo (networking)	Características urbanística e zoneamento	Prospecção do terreno	Possíveis terrenos	Incorporação
Incorporação	Características do terreno	Estudo Preliminar do empreendimento	Características físicas do empreendimento	Incorporação
Studio Grifo	Características físicas do empreendimento e índices paramétricos	Análise de viabilidade financeira do empreendimento	Custo estimado do empreendimento	Incorporação
Incorporação	Estudo preliminar e viabilidade financeira	Compra do terreno	A compra ou outorga de uso do terreno	Engenharia
Engenharia	Características preliminares do imóvel	Gestão dos projetos	BEP (escopo dos projetos)	Projetistas (terceiros)
Incorporação	Memorial descritivo do empreendimento	Início das Venda das unidades	Venda unidades	Comercial
Studio Grifo	Projeto pré executivo	Elaboração dos projetos complementares	projetos complementares	Engenharia
Incorporação	Projetos executivos	Início da Obra	3 a 5 meses de execução da obra	Engenharia
NatBim	Projetos	Orçamento executivo da obra	orçamento detalhado e plano de gerenciamento e cadastro no Sienge, Prevision	Engenharia
Incorporação	Projetos, orçamento, pré planejamento	Execução da obra	empreendimento	Engenharia
Engenharia	Edifício	Entrega da obra	termo de recebimento	Cliente final

Fonte: O Autor (2024)

4.2.1.2 Measure

O problema identificado ocorria no processo de PCP que envolvia o desenvolvimento de projetos, orçamento e execução da obra. Com o objetivo de identificar qual era o fluxo deste processo, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os stakeholders (tabela 13) e com as respostas foi confeccionado um fluxograma do processo de PCP.

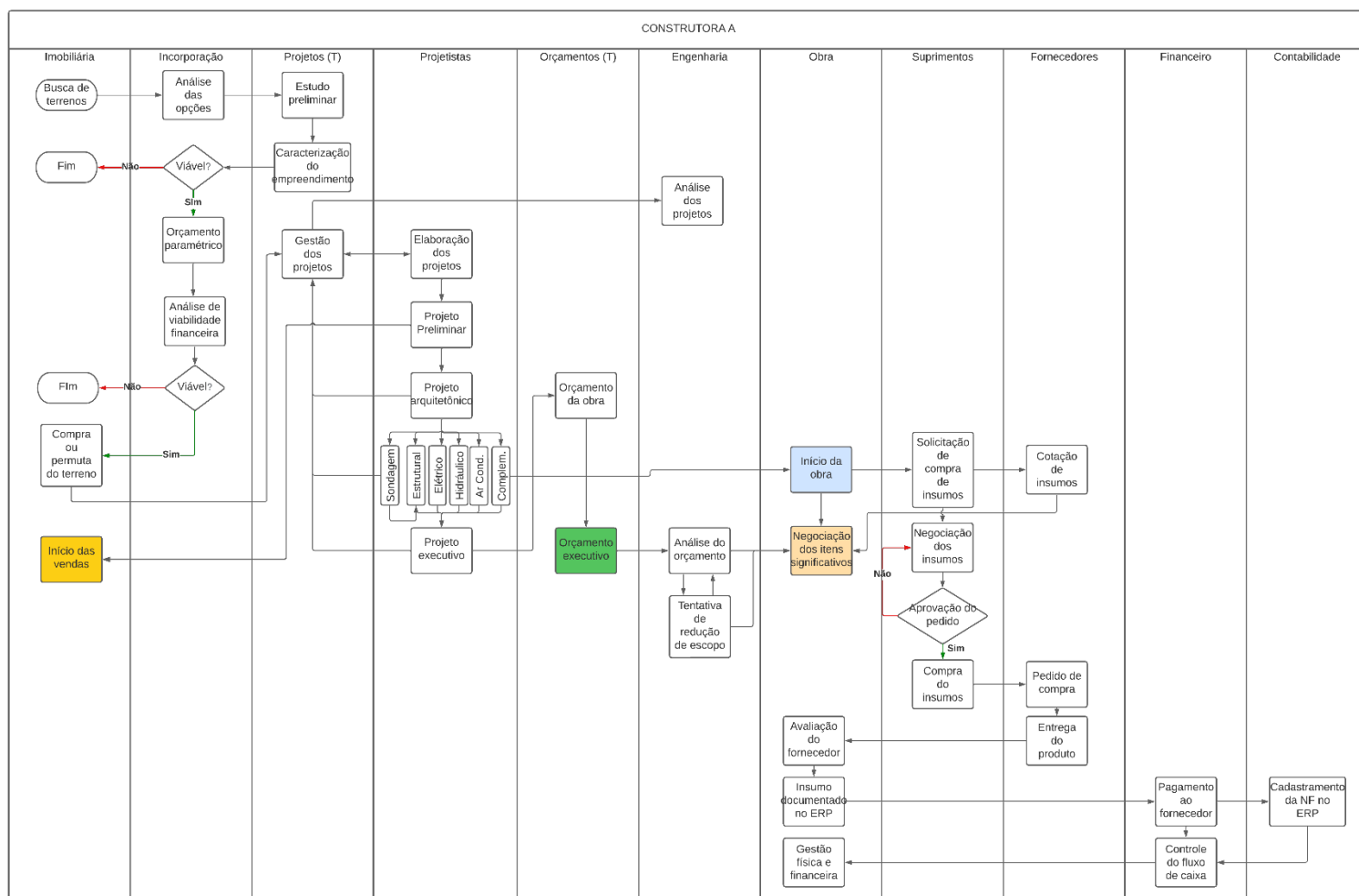
Tabela 13 - Stakeholders entrevistados

#	Cargo	Formação acadêmica
1	Engenheiro residente da obra do EAD	Engenharia Civil
2	Engenheiro de projetos e orçamentos	Engenharia Civil
3	Diretor de Engenharia	Engenharia Civil
4	Engenheira de controle de custos e incorporação	Engenharia Civil
5	Proprietário	Administração Internacional
6	Gerente de suprimentos	Administração
7	Gerente financeira	Administração

Fonte: O Autor (2024)

Observando o fluxograma da figura 16 é possível visualizar (no retângulo laranja) que o início das vendas ocorria antes do orçamento e projetos estarem prontos. A obra também era iniciada com grande parte das unidades vendidas e sem ter o projeto e orçamento executivo da obra. Isso prejudicava o processo de PCP e principalmente, contribuía para a geração da distorção entre o custo direto orçado e o realizado. Outro fator a salientar era que as compras dos itens mais significativos eram realizadas pelo engenheiro da obra sem o envolvimento do setor de suprimentos.

Figura 16 - Fluxograma do processo de gestão de obras



Fonte: O Autor (2024)

Tendo em vista a falta de indicadores já adotados para apontar a eficácia do processo analisado, optou-se por realizar entrevistas com os envolvidos no processo de planejamento e controle de obras (PCP) a fim de identificar os processos que eram percebidos pelos envolvidos na realização das atividades que envolvem o PCP. Os entrevistados indicaram que existia problema em relação ao momento que os projetos e o orçamento eram entregues. A obra era iniciada sem ter o projeto e orçamento executivo. As vendas também eram iniciadas antes da entrega do orçamento, projeto executivo bem como antes do início da obra. Além disso, os insumos de maior representatividade eram negociados diretamente pela obra. A tabela 14 e o gráfico 9,

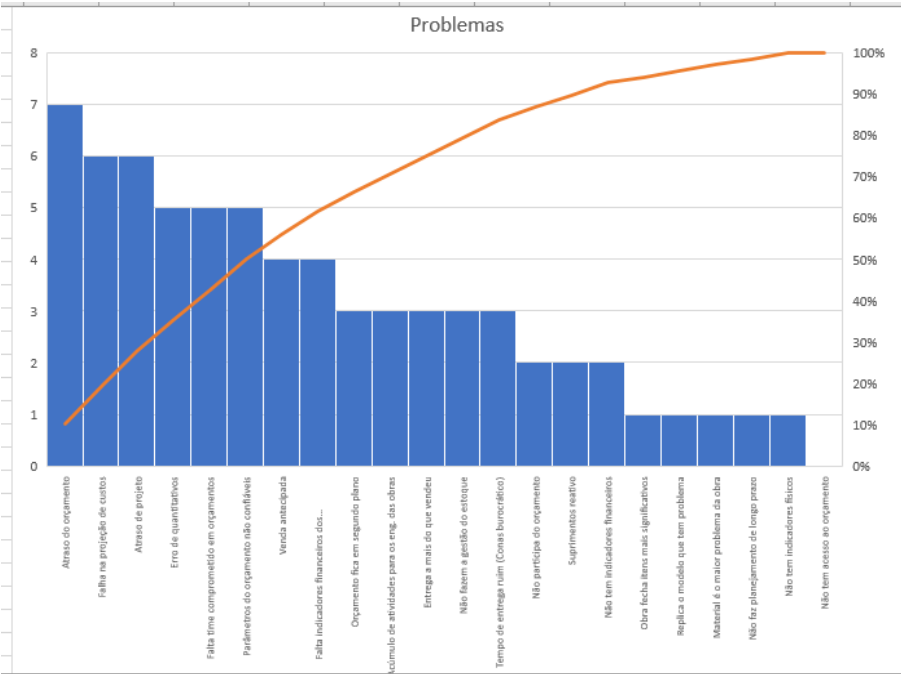
mostra o resultado dos problemas levantadas nas entrevistas, organizados pela frequência das respostas com o objetivo de indicar uma análise de Pareto.

Tabela 14 - Compilação das respostas obtidas nas entrevistas

Problemas	Eng 1	Eng 2	Eng R	Eng Adm	Prop	Financ	Supr	Total	% acumulado
Atraso do orçamento	1	1	1	1	1	1	1	7	10%
Falha na projeção de custos	1	1	1			1	1	6	19%
Atraso de projeto	1	1	1	1		1	1	6	28%
Erro de quantitativos	1	1	1				1	5	35%
Falta time comprometido em orçamentos	1	1	1	1	1			5	43%
Parâmetros do orçamento não confiáveis	1	1	1		1	1		5	50%
Venda antecipada	1	1	1		1			4	56%
Falta indicadores financeiros dos empreendimentos		1	1	1		1		4	62%
Orçamento fica em segundo plano		1	1				1	3	66%
Acúmulo de atividades para os eng. das obras	1	1	1					3	71%
Entrega a mais do que vendeu	1	1	0	1				3	75%
Não fazem a gestão do estoque		1	1	1	1			3	79%
Tempo de entrega ruim (Conas burocrático)	1	1	0			1		3	84%
Não participa do orçamento		1	0				1	2	87%
Suprimentos reativo		1	1					2	90%
Não tem indicadores financeiros		1	1	1				2	93%
Obra fecha itens mais significativos		1	0					1	94%
Replica o modelo que tem problema		1	0					1	96%
Material é o maior problema da obra		1	0					1	97%
Não faz planejamento de longo prazo			0				1	1	99%
Não tem indicadores físicos			0		1			1	100%
Não tem acesso ao orçamento			0					0	100%
								68	

Fonte: O Autor (2024)

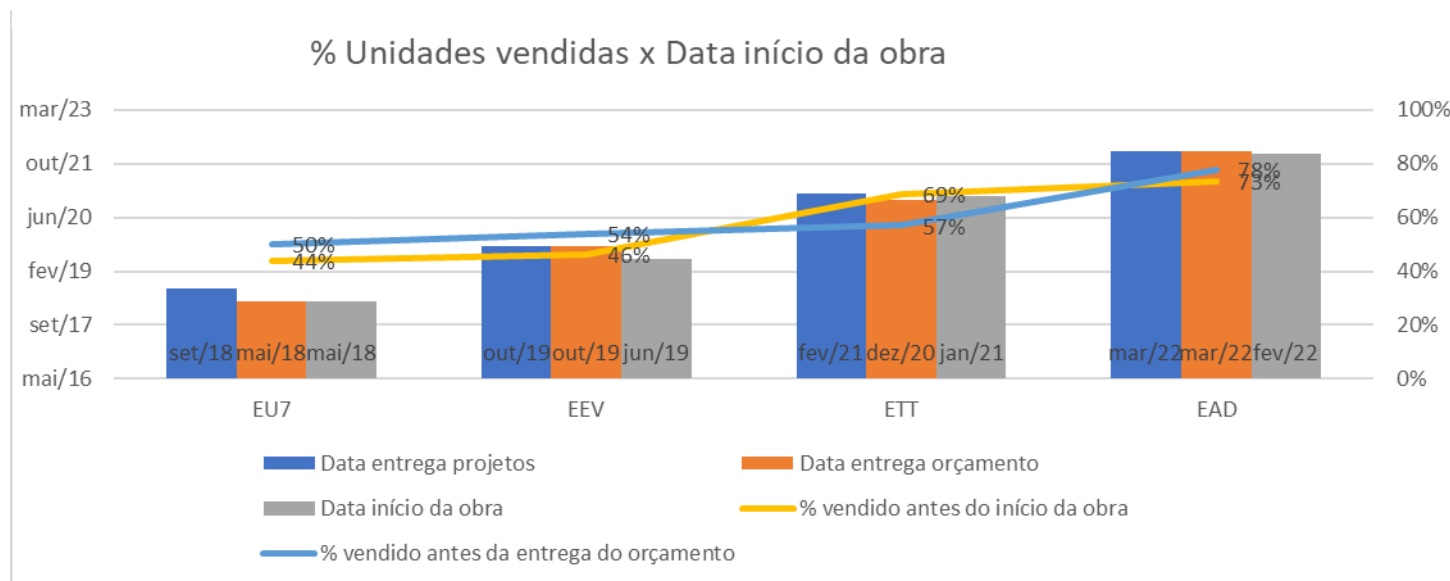
Gráfico 9 - Histograma de respostas



Fonte: O Autor (2024)

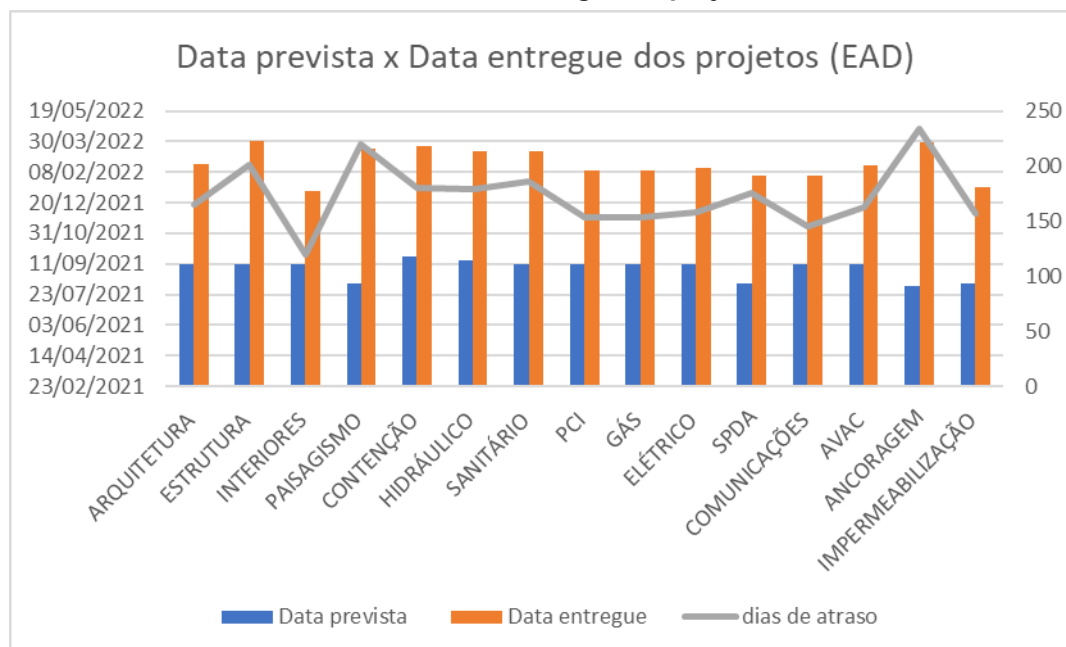
Tendo em vista que os problemas principais apontados na entrevista foram relacionados ao atraso da entrega de projetos e do orçamento e a venda antecipada dos empreendimentos, foi solicitado à construtora as datas de entrega dos projetos, orçamento e início das obras bem como o número de unidade de cada empreendimento, número de unidade vendidas assim como o número de unidades vendidas antes do início de cada obra. O gráfico 10 apresenta a compilação destes dados. A média de unidades vendidas antes da entrega do orçamento era de 58%, sendo que 73% das unidades do EAD já haviam sido vendidas quando o orçamento foi entregue. A gestora dos projetos (terceirizada) forneceu as datas de previsão e entrega dos projetos e foi possível verificar a data prevista e de entrega dos orçamentos da obra EAD (atraso de 424 dias). Analisando orçamento a equipe de engenharia da construtora encontrou 13% do número de itens do orçamento com problema. Em entrevista com os engenheiros das obras (comprovado via evidência documental) e com a gestora de suprimentos foi afirmado que as negociações de serviços e de insumos chave da obra não ocorria o envolvimento de suprimentos.

Gráfico 10 - Dados compilados



Com relação ao atraso dos projetos, o gráfico 11 indica o atraso da entrega dos projetos em relação ao cronograma inicial da obra EAD. O atraso médio foi de 173 dias.

Gráfico 11 - Atraso na entrega dos projetos



Fonte: O autor (2024)

Tendo em vista os problemas identificados na etapa de *Measure*. Foram definidas 4 metas, detalhadas da tabela 15. A meta 1,2 e 3 seriam suficientes para atingir os *softs savings* visando a melhoria da relação do custo orçado versus realizado de obras futuras. A meta 4 seria suficiente para atender a meta geral do projeto que é uma economia de R\$160.685,23 relativa a redução de 5% da diferença entre o orçamento estimativo e o orçamento executivo da obra EAD.

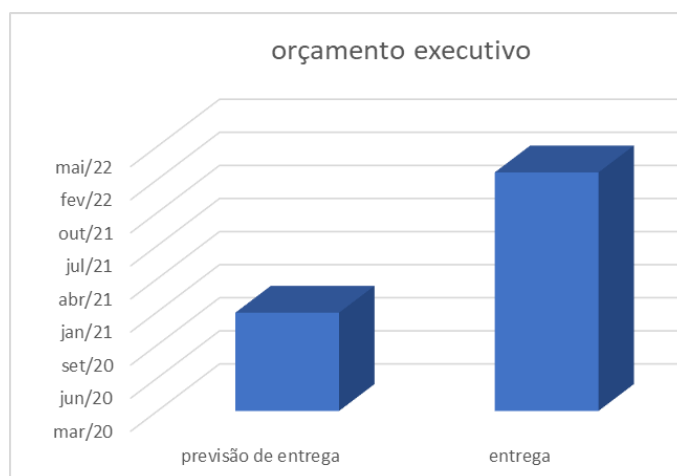
Tabela 15 - Metas definidas

METAS DEFINIDAS
Meta 1: Reduzir o lead time na entrega dos projetos (ao menos 1 mês antes do início do orçamento)
Meta 2: Reduzir o lead time de entrega do orçamento (ao menos e meses antes do início da obra)
Meta 3: Reduzir para até 10% os erros do orçamento
Meta 4: Aumentar em 5% o ganho negocial na compra dos insumos do EAD

Fonte: O Autor (2024)

Para entender melhor quais os erros mais recorrentes dentro da entrega dos orçamentos, foi solicitada à construtora o resultado da análise feita pela equipe de engenharia da primeira entrega do orçamento executivo da obra do EAD. Além do atraso em si, a qualidade da entrega também foi apontada como problema contribuinte para a distorção entre os custos de viabilidade e custos reais dos empreendimentos.

Gráfico 12 - Distorção de prazo orçamento



Os gráficos 12 e 13 apresentam os dados obtidos, foram 424 dias de atraso para entrega do orçamento.

Fonte: O Autor (2024)

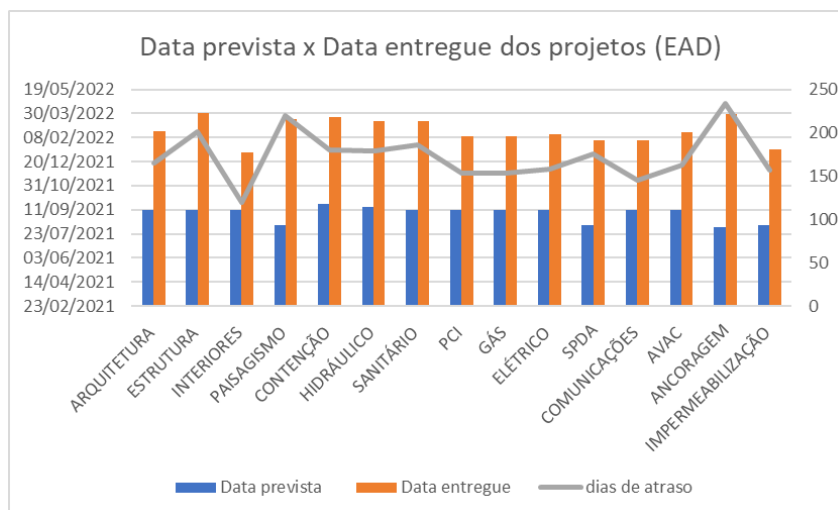


Gráfico 13 - Distorção de prazo de projetos

Fonte: O Autor (2024)

Foi constatado que a maior fonte de erros no orçamento executivo analisado foi o custo unitário adotado para os insumos e não a composição dos serviços.

Para finalizar a etapa *Measure*, a partir dos dados obtidos, foram definidos como os focos do problema: (1) o momento de entrega dos projetos, (2) o momento de entrega do orçamento, (3) orçamento com erros, (4) estratégia de compras dos insumos.

4.2.1.3 Analyse

O processo gerador do problema era o Planejamento e Controle da Produção que envolve a produção dos projetos, orçamento e a compra de insumos da obra.

Foi realizado um brainstorming com os envolvidos no processo de gestão de obras. Participaram seis pessoas (Proprietário, 2 engenheiros de obras, responsável por suprimentos, gerente de obras, responsável pela gestão de projetos). Durante a reunião foi perguntado quais eram as causas potenciais que mais influenciavam o problema relativo à distorção entre o custo orçado e realizado das obras. Os envolvidos listaram 25 causas potenciais. Em consenso o grupo eliminou oito causas visto que concluíram que as causas não influenciavam diretamente o problema da distorção entre o custo orçado e realizado das obras. As causas 15, 16 e 17 não foram priorizadas pela equipe. A tabela 16 apresenta as causas listadas.

Tabela 16 - Causas levantadas

	Causas levantadas	Gravidade	Urgência	Tendência	Valor	%	% Acumulado	Prioridade
1	Atraso na entrega do orçamento pelo terceirizado	5	5	4	21	9%	9%	x
2	Atraso na entrega do projeto pelo terceirizado	5	5	4	20	8%	17%	x
3	Orçamento fica em segundo plano para a equipe de engenharia	5	5	5	18	8%	25%	x
4	Falta time comprometido em orçamentos	4	4	5	18	8%	32%	x
5	Falha na projeção de custos	4	4	4	18	8%	40%	x
6	Parâmetros do orçamento não confiáveis	5	5	2	17	7%	47%	x
7	Replica o modelo que tem problema	5	5	4	15	6%	53%	x
8	Custo do Material acima do custo orçado	5	5	4	15	6%	59%	x
9	Mão de obra despreparada para calcular o custo do serviço	5	4	4	13	5%	65%	x
10	Orçamento apresenta erros	3	3	2	13	5%	70%	x
11	Suprimentos não participa do orçamento	4	4	2	12	5%	75%	x
12	Suprimentos tem foco operacional (reativo)	4	4	2	12	5%	80%	x
13	Falta de reajuste do orçamento ao longo da obra	4	4	3	11	5%	85%	x
14	Falta de atualização do orçamento conforme personalizações	4	3	3	10	4%	89%	x
15	Não fazem a gestão do estoque	3	3	1	10	4%	93%	
16	Acúmulo de atividades para os eng. das obras	3	2	1	9	4%	97%	
17	Venda antecipada das unidades	1	1	1	7	3%	100%	

Fonte: O autor (2024)

Baseado na Matriz GUT foram priorizadas as causas dos focos do problema listadas na tabela 17.

Tabela 17 - Causas priorizadas

(1) o momento de entrega dos projetos	(2) o momento de entrega do orçamento	(3) o momento de entrega do orçamento com erros	(4) estratégia de compras dos insumos	CAUSA PRIORIZADA	DESCRIÇÃO DA CAUSA	EVIDÊNCIA DA CAUSA	CAUSA COMPROVADA?
	x			Atraso na entrega do orçamento pelo terceirizado	O terceirizado não entrega o orçamento no prazo estabelecido.	gráfico de atraso	sim
x				Atraso na entrega do projeto pelo terceirizado	O terceirizado não entrega o projeto no prazo estabelecido.	gráfico de atraso	sim
		x		Falha na projeção de custos	O orçamento inicial que gera o preço de venda não usa dados confiáveis	diferença entre custo inicial orçado e orçamento executivo	sim
			x	Custo do Material acima do custo orçado	No momento da compra o custo do material fica acima do custo orçado	nota fiscal de materiais	sim
		x		Mão de obra despreparada para calcular o custo do serviço	A mão de obra não sabe orçar os serviços e no momento da execução pede reajuste	custo orçado x custo real	sim
		x		Erro de composição de serviços, quantitativos, preço insumos, falta de atenção com as especificações do terceirizado	O orçamento apresenta erros	planilha de erros	sim
			x	Suprimentos tem foco operacional (reativo)	Os principais materiais são fechados pelos engenheiros das obras. Sem envolvimento de suprimentos.	compras de maior valor são efetuadas pelos eng. das obras	sim
		x		Falta de reajuste do orçamento ao longo da obra	O orçamento não é reajustado ao longo da obra. Ficando desatualizado.	ERP	sim

Fonte: O Autor (2024)

As 4 causas fundamentais que foram abordadas no projeto são: atraso na entrega dos projetos, atraso na entrega dos orçamentos, erros no orçamento, setor de suprimentos reativo (tabela 18).

Tabela 18 - Causas fundamentais

(1) o momento de entrega dos projetos	(2) o momento de entrega do orçamento	(3) orçamento com erros	(4) estratégia de compras dos insumos	CAUSA FUNDAMENTAIS	DESCRIÇÃO DA CAUSA
	x			Atraso na entrega do orçamento pelo terceirizado	O terceirizado não entrega o orçamento no prazo estabelecido.
x				Atraso na entrega do projeto pelo terceirizado	O terceirizado não entrega o projeto no prazo estabelecido.
		x		O orçamento apresenta erros	Erro de composição de serviços, quantitativos, preço insumos, falta de atenção com as especificações do terceirizado
			x	Suprimentos tem foco operacional (reativo)	Os principais materiais são fechados pelos engenheiros das obras. Sem envolvimento de suprimentos.

Fonte: O Autor (2024)

4.2.1.4Improve

As soluções foram apontadas pelos envolvidos no processo de PCP por meio de um *brainstorm* e o foram listadas 30 soluções para resolver as causas raiz (Tabela 19).

Tabela 19 - Resultado do brainstorming

		Soluções levantadas	Gravidade	Urgência	Tendência	Valor	%	Prioridade
1	Atraso na entrega do orçamento pelo terceirizado	ter projeto mais detalhado	5	5	4	14	4%	
2		distanciamento entre o início de projeto e início da obra	5	5	4	14	4%	x
3		reduzir o tempo de elaboração do projeto	5	5	5	15	4%	
4		melhorar o orçamento paramétrico	5	5	5	15	4%	x
5		aplicar indicadores de desempenho dos orçamentista	4	4	4	12	3%	x
6		criação do depto de orçamentos	5	5	2	12	3%	
7	Atraso na entrega do projeto pelo terceirizado	aplicar indicadores de desempenho dos projetistas	5	5	4	14	4%	x
8		usar cronograma do projeto	5	5	4	14	4%	x
9		medir o desempenho do terceirizado	5	4	4	13	4%	x
10		BIM Brasil precisa garantir o prazo dos projetos	3	3	2	8	2%	x
11		criação do depto de gestão de projetos	4	4	2	10	3%	
12		checklist de projetos	4	4	2	10	3%	x
13	O orçamento apresenta erros	ter composições próprias	4	4	3	11	3%	
14		Estabelecer EAP	4	3	3	10	3%	x
15		reorganização do banco de insumos	5	5	2	12	3%	
16		padronização do projeto com customização	5	5	4	14	4%	
17		ckclist do orçamento	5	5	4	14	4%	
18		apontamentos de dados reais	5	4	4	13	4%	x
19		criar comparativos dados reais x previstos	5	5	2	12	3%	x
20		indicadores de desempenho do orçamaneto	5	5	4	14	4%	x
21	Suprimentos tem foco operacional (reativo)	detalhar mais a descrição dos itens	5	5	4	14	4%	
22		padronizar de escopo e valor de MO	5	4	4	13	4%	
23		qualificação da equipe de suprimentos	3	3	2	8	2%	
24		negociação em grandes lotes	4	4	2	10	3%	x
25		envolver suprimentos com as negociações	4	4	2	10	3%	x
26		envolver suprimentos com o orçamento	4	4	3	11	3%	x
27		ampliar MO de suprimentos	5	4	4	13	4%	
28		criar banco de dados de fornecedores	3	3	2	8	2%	
29		Criar indicadores de desempenho de suprimentos	4	4	2	10	3%	x
30		buscar fornecedores novos	4	4	2	10	3%	

Fonte: O Autor (2024)

Com as soluções listadas, foi solicitado que a equipe ranqueasse as soluções em grau de prioridade. Das 30 soluções, 16 foram priorizadas com base no grau de importância percebido pela equipe (tabela 20).

Tabela 20 - Soluções escolhidas

(1) o momento de entrega dos projetos	(2) o momento de entrega do orçamento	(3) orçamento com erros	(4) estratégia de compras dos insumos	CAUSAS FUNDAMENTAIS	SOLUÇÕES ESCOLHIDAS
	x			Atraso na entrega do orçamento pelo terceirizado	distanciamento entre o início de projeto e início da obra melhorar o orçamento paramétrico aplicar indicadores de desempenho dos orçamentista
x				Atraso na entrega do projeto pelo terceirizado	aplicar indicadores de desempenho dos projetistas usar cronograma do projeto medir o desempenho do terceirizado BIM Brasil precisa garantir o prazo dos projetos checklist de projetos
		x		O orçamento apresenta erros	Estabelecer EAP apontamentos de dados reais criar comparativos dados reais x previstos indicadores de desempenho do orçamaneto
			x	Suprimentos tem foco operacional (reativo)	negociação em grandes lotes envolver suprimentos com as negociações envolver suprimentos com o orçamento Criar indicadores de desempenho de suprimentos

Fonte: O Autor (2024)

Tendo em vista que as soluções apresentadas possuíam algum grau de risco, foi realizada uma análise de riscos. Das 16 ações apresentadas, 25% delas possuíam risco baixo, 44% risco médio, 25% risco alto e 6% risco altíssimo (tabela 21). Foi proposta uma contingência para cada uma das ações, buscando mitigar possíveis impactos de falhas.

Tabela 21 - Análise de riscos

(1) o momento de entrega dos projetos	(2) o momento de entrega do orçamento	(3) orçamento com erros	(4) estratégia de compras dos insumos	CAUSA FUNDAMENTAL	SOLUÇÃO SELECIONADA	RISCO DA IMPLEMENTAÇÃO (Imaginar que a solução foi implantada - Quais efeitos colaterais podem ser gerados ?)	ANÁLISE DE RISCO			PLANO DE CONTINGÊNCIA (Que fazer para minimizar o Risco)
							PROB.	IMPACTO	RISCO	
	X			Atraso na entrega do orçamento pelo terceirizado	distanciamento entre o início de projeto e início da obra	Início da obra sem projeto	50%	9	Médio	Acompanhar os terceirizados e garantir a entrega nas datas estimadas
					melhorar o orçamento paramétrico	Estimativa baseada no empirismo	20%	9	Baixo	Melhorar o banco de dados
					aplicar indicadores de desempenho	Criação de indicadores complexos	10%	4	Baixo	Simplificar os indicadores
X				Atraso na entrega do projeto pelo terceirizado	aplicar indicadores de desempenho	Atraso na entrega dos projetos	50%	9	Médio	Criar marcos com tempo para mudanças
					usar cronograma do projeto	Não acompanhar as datas marcos	15%	7	Baixo	Semanalmente avaliar o cronograma
					medir o desempenho do	Criação de indicadores complexos	10%	4	Baixo	Simplificar os indicadores
					BIM Brasil precisa garantir o prazo dos projetos	Criação de cláusulas contratuais complexas	50%	6	Médio	Escrever cláusulas contratuais atingíveis
					checklist de projetos	Mudanças demasiadas nos projetos	90%	8	Altíssimo	Melhorar definição do escopo do projeto
		X		O orçamento apresenta erros	estabelecer EAP	Fazer orçamento com poucas folgas	60%	9	Alto	Criar margens de folga de custo no orçamento para acompanhar pequenas
					apontamentos de dados reais	Alocar os custos em centros de	30%	7	Médio	Melhorar o banco de dados
					criar comparativos dados reais x	Adotar os dados reais como	30%	8	Médio	Criar linha de base no
					usar indicadores de desempenho do orçamento	Avaliar o orçamento somente ao final da obra	85%	8	Alto	Criar marcos para avaliar o orçamento x custo real
			X	Suprimentos tem foco operacional (reativo)	negociação em grandes lotes	Efetuar compras parciais	90%	7	Alto	Criar o planejamento das
					envolver suprimentos com as negociações	Centralizar as compras nos engenheiros das obras	70%	7	Médio	Capacitar o pessoal de suprimentos
					envolver suprimentos com o orçamento	Fazer orçamento sem cotação de itens significativos	50%	9	Médio	Envolver suprimentos na cotação de itens da faixa A
					criar indicadores de desempenho de suprimentos	Manter o foco de suprimentos nas atividades operacionais	95%	7	Alto	Contratar engenheiro para atuar em suprimentos

Fonte: O Autor (2024)

A maior parte das ações foram realizadas, exceto as inerentes ao Departamento de Suprimentos, pois foi recomendada a contratação de pessoal técnico para a realização das atividades pois a equipe não possuía condições de atuar nas atividades estratégicas, visto que não havia engenheiro civil na equipe com formação técnica para negociação de compras com alto grau de especificidade.

4.2.1.5 Control

A meta geral de redução de 5% da diferença entre o custo orçado de viabilidade e apresentado no orçamento executivo da obra em andamento foi cumprida. Por meio da mudança de escopo, a contratação das esquadrias de alumínio que foram orçadas em R\$610.607,41 foi fechado em R\$410.000,00,

resultando em uma redução de R\$200.607,41 frente a meta de redução de R\$160.685,23. A tabela 22 apresenta o quadro final de cotações.

Tabela 22 - Quadro de cotação de esquadrias de alumínio

Item	Quantidade	Unidade	Forcedor 1		Forcedor 2		Orçado	
			Custo Unit.	Custo total	Custo Unit.	Custo total	Custo Unit.	Custo total
Esquadrias EAD	1,00	vb.	R\$ 435.399,83	R\$ 435.399,83	R\$ 410.000,00	R\$ 410.000,00	R\$ 610.607,41	R\$ 610.607,41
				R\$ -		R\$ -		R\$ -
Total:			R\$ 435.399,83		R\$ 410.000,00		R\$ 610.607,41	

Fonte: O Autor (2024)

Tabela 23 - Redução das esquadrias

Item	Material	Qtde.	Unidade	Larg. Original	Alt. Original	Larg. Revisada	Alt. Revisada	Modificação	Área antiga (m²)	Área proposta	Redução (%)	H Peit.	Func.
AL1	Alumínio	35	un	75	95	60	70	redução de dimensões	0,71	0,42	41%	155	máx.ar
AL2	Alumínio	1	un	98,5	50	98,5	50	Manteremos	0,49	0,49	0%	160	máx.ar
AL3	Alumínio	9	un	100	50	100	50	Manteremos	0,50	0,50	0%	221	veneziana
AL4	Alumínio	1	un	100	50	100	50	Manteremos	0,50	0,50	0%	110	veneziana
AL5	Alumínio	1	un	118	67,6	118	67,6	Manteremos	0,80	0,80	0%	242,4	veneziana
AL6	Alumínio	7	un	120	180	120	150	Remov. Band.	2,16	1,80	17%	91	correr/fixo
AL9	Alumínio	72	un	150	180	150	150	Remov. Band.	2,70	2,25	17%	91	correr/fixo
AL10	Alumínio	15	un	150	225	150	225	Manteremos	3,38	3,38	0%	46	correr/fixo
AL11	Alumínio	1	un	150	204	150	129	Remov. Band.	3,06	1,94	37%	46	correr/fixo
AL12	Alumínio	1	un	150	250	150	129	Remov. Band.	3,75	1,94	48%	-	correr/fixo
AL13	Alumínio	4	un	150	271	150	150	Remov. Band.	4,07	2,25	45%	-	correr/fixo
AL14	Alumínio	13	un	150	271	150	230	Mudar Alt.	4,07	3,45	15%	-	correr
AL17	Alumínio	8	un	248,5	271	248,5	230	Mudar Alt.	6,73	5,72	15%	-	correr
AL20	Alumínio	21	un	75	271	75	230	Remov. Band. Aum. Alt	2,03	1,73	15%	-	abrir
AL21	Alumínio	28	un	200	271	200	230	Mudar Alt.	5,42	4,60	15%	-	correr
AL22	Alumínio	4	un	300	210	300	210	Manteremos	6,30	6,30	0%	-	correr
AL23	Alumínio	6	un	75	250	75	230	Remov. Band. Aum. Alt	1,88	1,73	8%	-	abrir
AL24	Alumínio	6	un	200	250	200	230	Mudar Alt.	5,00	4,60	8%	20	correr
AL25	Alumínio	1	un	380	210	380	210	Manteremos	7,98	7,98	0%	-	correr
AL27	Alumínio	7	un	450	271	450	230	Mudar Alt.	12,20	10,35	15%	-	correr
AL28	Alumínio	1	un	487,5	210	487,5	210	Manteremos	10,24	10,24	0%	-	correr
AL29	Alumínio	7	un	320	271	320	230	Mudar Alt.	8,67	7,36	15%	-	correr
AL30	Alumínio	1	un	491	210	491	210	Manteremos	10,31	10,31	0%	-	correr
AL32	Alumínio	1	un	176,5	213,5	176,5	213,5	Manteremos	3,77	3,77	0%	-	abrir
AL33	Alumínio	1	un	358	346,5	358	230	Remov. Band.	12,40	8,23	34%	-	abrir
AL34	Alumínio	1	un	100	70	100	70	Manteremos	0,70	0,70	0%	-	abrir
VT1	Vidro Temperado	1	un	151,5	200	151,5	200	Manteremos	3,03	3,03	0%	-	abrir

Fonte: O Autor (2024)

Para se obter a redução de custo foi realizado um estudo junto a equipe de projetos para modificar as dimensões das esquadrias. Além da redução dos tamanhos das esquadrias, foi realizado um estudo de aproveitamento dos perfis de alumínio usados para fabricação buscando a otimização e, consequentemente, a diminuição no custo de produção. A tabela 23 apresenta o resultado das reduções.

Foram criados dashboards baseados no banco de dados bem como planilhas de apoio. As soluções adotadas estão detalhadas na tabela 24.

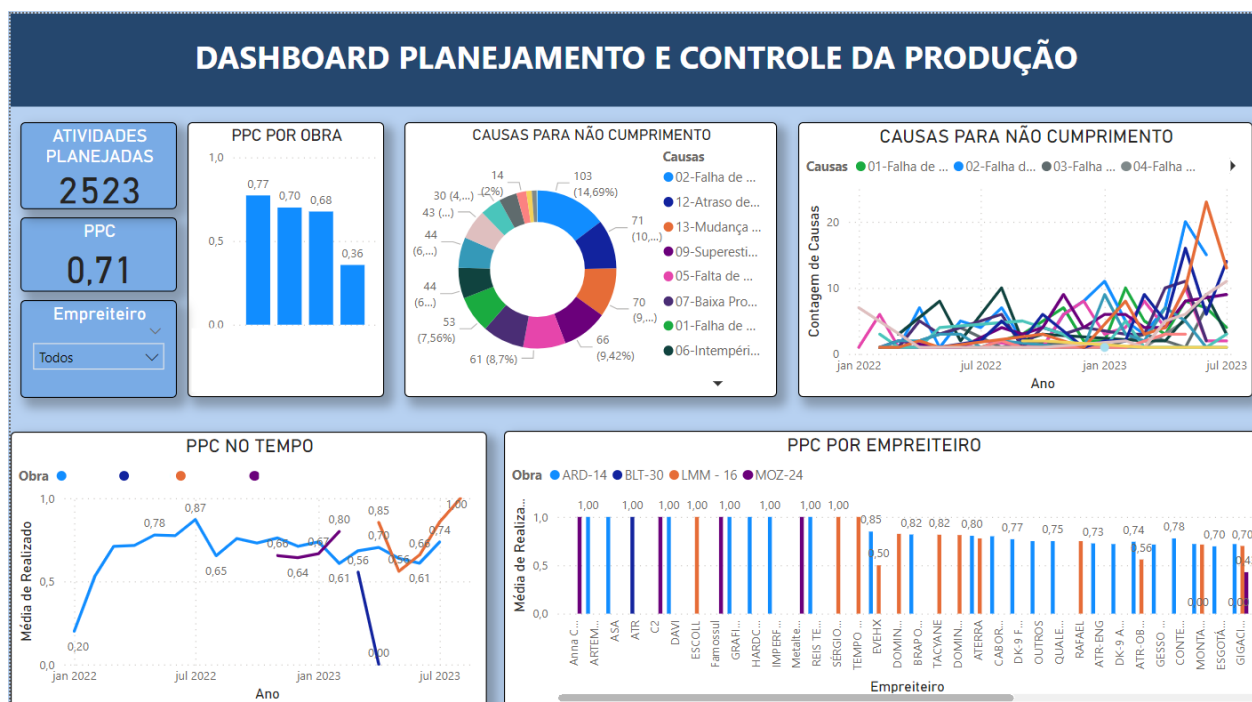
Tabela 24 - Soluções implantadas

Descrição foco 1	Descrição foco 2	Descrição foco 3	Descrição foco 4	Causa Fundamental	Solução Implantada
	x			Atraso na entrega do orçamento pelo terceirizado	Distanciamento entre o início de projeto e início da obra Melhorar o orçamento paramétrico Aplicar indicadores de desempenho dos orçamentista
x				Atraso na entrega do projeto pelo terceirizado	Aplicar indicadores de desempenho nos projetistas Usar cronograma do projeto Medir o desempenho do terceirizado BIM Brasil precisa garantir o prazo dos projetos Checklist de projetos
		x		O orçamento apresenta erros	Estabelecer EAP Apontamentos de dados reais Criar comparativos dados reais x previstos Usar indicadores de desempenho do orçamento
			x	Suprimentos tem foco operacional (reativo)	Negociação em grandes lotes Envolver suprimentos com as negociações Envolver suprimentos com o orçamento Criar indicadores de desempenho de suprimentos

Fonte: O Autor (2024)

Foi implantado o controle do PPC de cada terceirizado de projetos e orçamentos (figura 17), semanalmente, a fim de identificar possíveis distorções nas entregas. Essas informações eram repassadas aos terceirizados e toda a gestão da informação era realizada por meio de tabelas dinâmicas que abasteciam os dashboards de controle. Além disso, foi decidido que não ocorreriam mais lançamentos de novos empreendimentos sem que os projetos e orçamentos estivessem validados e alinhados com a viabilidade financeira do produto.

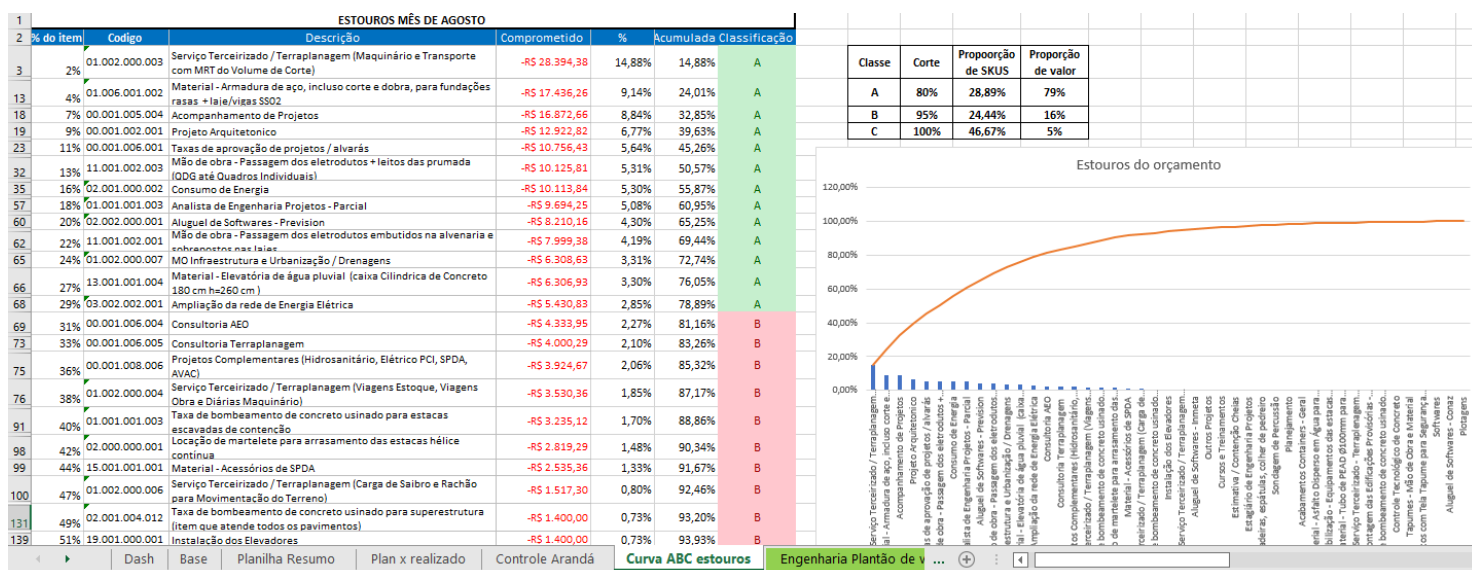
Figura 17 - Controle do PPCs dos terceiros por meio da ferramenta Last Planner System



Fonte: O Autor (2024)

Para combater as falhas nos orçamentos, foi criado um *dashboard* de controle com a classificação e mensuração das principais causas de estouros do orçamento dentro da obra corrente. Além disso, foi feita a classificação de cada uma das linhas do orçamento dentro das faixas A (itens que correspondem a 80% do valor total orçado), B (itens no intervalo de 80%-95% do valor do orçamento) e C (itens que correspondem aos últimos 5% do total orçado). Estas informações serão utilizadas na confecção e conferência de novos orçamentos antes da liberação para início da comercialização das unidades. A figura 18 apresenta o resultado da aplicação no mês de agosto de 2023.

Figura 18 – Distorções no mês de agosto de 2023 da obra corrente



Fonte: O Autor (2024)

Os índices paramétricos deverão ser controlados para garantir que a estimativa do custo das novas obras fique dentro da realidade de mercado.

Com a organização dos custos das obras realizadas e corrente, o modelo de orçamento paramétrico foi atualizado buscando uma assertividade maior e coerência com os custos efetivamente reais. Durante as fases de prospecção de novos negócios e início das vendas, esses parâmetros deverão ser calibrados (figura 19).

Figura 19 - Orçamento paramétrico

				CUSTO TOTAL EMPENDIMENTO		R\$	12.486.265,16	ÁREA TOTAL DO EMPENDIMENTO								
ORÇAMENTO PARAMÉTRICO																
APARTAMENTO TIPO-01				UTILIDADES DO PAVIMENTO				ÁREAS DE USO COMUM								
Preencher conforme necessidade da empreendimento				Preencher conforme necessidade da empreendimento				Preencher conforme n.								
AMBIENTE	Quantidade	área m²	Custo/ap	Custo total do AP/pav	AMBIENTE	Quantidade	área m²	Custo R\$	custo total do pav.	AMBIENTE	Quantidade	área	Custo R\$			
Quarto	1	7,59	R\$ 9.285,59		Circulação do pav.	1	20	R\$ 11.221,60		Hall de entrada/circulação	1	23,6	R\$ 14.98			
Suite	2	8,23	R\$ 20.137,13		calça ELEVADOR	2	4	R\$ 4.600,00		Academia	1	31,6	R\$ 38.43			
Sala de Estar	1	9,91	R\$ 4.594,96		calça de escada	1	21,33	R\$ 21.883,58		Lavabo/Ibo	2	4,17	R\$ 9.88			
Coolinha	1	5,74	R\$ 7.696,38		Área total util.					são de festa/churras	1	25,8	R\$ 33.53			
Varanda/Sacada	1	5,65	R\$ 7.575,71							térreo/conveniência	1	171	R\$ 189,37			
Circulação	1	2,4	R\$ 1.405,85	R\$ 1.512.634,68	Estrutura do Pav.	1	2958,92	R\$ 1.374.811,32	R\$ 1.412.518,51	equipamentos teen.	1	0	R\$ 00,00			
Banheiros	2	2,28	R\$ 13.114,99							Mercadinho	1	1	R\$ 05,00			
Lavabos	1	1,85	R\$ 3.370,14							Piscina	1	22,5	R\$ 69.48			
Área de Serviço	1	1,16	R\$ 1.555,37							Vagas garagem SUB-01	27	28,3	R\$ 267,05			
Total de ap/pav.	22	55,32	R\$ 68.756,12							Vagas garagem Terreo	27	28,3	R\$ 267,05			
Área total de op		55,32								TOTAL						
APARTAMENTO TIPO-02				APARTAMENTO TIPO-04				ESPAÇO DE USO COMUM EXTI								
Preencher conforme necessidade da empreendimento				Preencher conforme necessidade da empreendimento				Preencher conforme n.								
BRIEFING EMPENDIMENTO	E.A.P.	Planiha1	INSTALAÇÕES	w.c's	LAVABO	coz.	quart.	CIRCULAÇÃO	ÁREA COMUM	S.E.C.	ESCADA	SUPORTE	SUPORTE	F	A	N

Fonte: O Autor (2024)

Foi construído um *Out Of Control Action Plan* (OCAP) para definir quais ações devem ser tomadas por cada departamento no caso dos problemas identificados nas fases anteriores. A tabela 25 apresenta o OCAP validado.

Tabela 25 – OCAP

OCAP (Out of Control Action Plan)					
Ocorrência	Departamento	Gravidade	Ação	Responsável	Quando
Atraso	Projeto	Alta	Entrar em contato com terceirizado	Thales	hoje
Erro	Orçamento	Média	Notificar o responsável	Aline	semanalmente
Falta de informação	Suprimentos	Baixa	Aplicar multa	Djalma	mensalmente
Alocação de custo indevida					

Fonte: O Autor (2024)

Levando em consideração a meta de redução de 5% desta diferença, os ganhos traçados para o projeto foram os seguintes:

- **Hard Saving:** R\$160.685,23 de redução no custo proposto no orçamento executivo no EAD. Além de mitigar os efeitos da distorção entre o custo orçado inicial e o provável custo de execução (orçamento executivo), houve um ganho do projeto que foi o estabelecimento de procedimentos para serem aplicados nas novas obras que possuem potencial para atingir substancial redução entre o custo orçado e realizado.
- **Soft Saving:** Tendo informações baseadas em dados reais sobre o custo previsto x realizado foi possível alinhar com maior exatidão o preço de venda e a margem de lucro possibilitando que a empresa tenha ganhos significativos nesta operação.

4.3 Discussão

Esta seção busca discutir os resultados da aplicação da ferramenta DMAIC apresentada por Werkema (2012b) no ambiente da construção civil.

Inicialmente, foi realizado um estudo piloto com a aplicação da ferramenta dentro de uma obra de 11 pavimentos com enfoque nos processos de planejamento e controle de cronograma. Apesar de superficial, esta aplicação possibilitou a validação de que o DMAIC pode ser aplicado dentro em projetos de construção civil.

A pesquisa-ação realizada dentro de uma construtora que atua em Curitiba e na RMC, possibilitou uma análise do processo de aplicação do DMAIC proposto por Werkema (2012b) aplicado em uma empresa de construção civil.

A figura 20 apresenta a sequência de aplicação do DMAIC apresentado por Werkema (2012b) e aplicada no estudo piloto e na pesquisa-ação.

Figura 20 - Roadmap - Aplicação do DMAIC segundo Werkema (2012b)



Fonte: O Autor (2024)

A aplicação da ferramenta DMAIC, na fase Define inicia pela descrição de qual problema perceptível pela organização será atacado. É feita a definição de qual indicador será adotado para acompanhamento do problema até o final do projeto. A etapa da definição da meta deve definir o objetivo, valor e prazo da resolução do problema principal levantado. É preciso realizar uma descrição dos ganhos diretos e indiretos a partir da resolução do problema e da justificativa para o desenvolvimento do projeto. Neste momento também deve ser apresentado a equipe o cronograma do projeto. Para finalizar a etapa de Define Werkema (2012b) pede que seja realizado um detalhamento passo a passo do processo onde o problema está envolvido e o alinhamento com a diretoria da empresa ou similar. Após estas definições são analisados os dados disponíveis e o grau de confiabilidade deles. No contexto da aplicação do Six Sigma no Office, objeto desse estudo, foi possível obter dados gerados dentro do ERP ao longo de um horizonte de 10 anos, possibilitando uma análise embasada do problema a ser atacado e seu comportamento histórico

Cabe ressaltar que a disponibilidade e confiabilidade de dados dentro da construção civil é um ponto de disparidade com a indústria seriada. Dentro do canteiro de obras, como foi o caso do estudo piloto, não existia uma cultura consolidada de criação e armazenamento de dados. A comprovação dos problemas como o atraso do cronograma se dava de forma empírica. Deming (1990) afirma que os dados são fundamentais para a garantia da qualidade dos processos. É fundamental trabalhar com dados confiáveis para que as métricas sejam estabelecidas de forma realista. Parafraseando o autor pode-se afirmar que se não temos dados, temos somente uma opinião!

A etapa Measure inicia com a estratificação do problema para preparação da proposta de solução. Neste primeiro momento, Werkema (2012b) pede que seja realizada uma análise da confiabilidade dos dados estratificados e, no caso da não existência destes que seja realizada a descrição do protocolo de coleta de novos dados. A etapa do measure segue com o detalhamento dos principais focos dos problemas baseados nos dados obtidos. Esta análise deve ser temporal e apresentar a evolução de cada um dos focos no decorrer das mensurações. Uma vez que as causas foram compreendidas, são definidas metas para cada uma delas que devem servir para cumprir a meta geral estabelecida na etapa anterior.

No estudo piloto, a falta de dados existentes referentes ao andamento do cronograma de curto prazo da obra, obrigou o início de uma coleta nova a partir das ferramentas Last Planner System e Lookahead. Já na pesquisa-ação, os dados disponíveis no ERP da empresa referentes aos resultados dos últimos projetos permitiram a análise dentro desta fase.

Nesta etapa o resultado da aplicação em canteiro de obra se distancia novamente do office. Quando se analisam processos inerentes a execução como cronograma, desperdícios, segurança do trabalho ou satisfação dos stakeholders, a disponibilidade de dados estratificados é baixa. A coleta de dados possui uma importância maior e a confiabilidade acaba sendo prejudicada pelo baixo grau de instrução da mão de obra e duração curta dos serviços.

Corroborando com Garvin (1992), para analisar a confiabilidade é fundamental ter dados confiáveis disponíveis, baseado em um plano de coleta de dados realísticos focado no problema a ser resolvido. Também é necessário ter conhecimento das ferramentas estatísticas e dos softwares para realizar a análise desses dados e verificar se eles representam o objeto de estudo.

A etapa Analyze inicia pela identificação do processo gerador do problema. Nesta etapa a ferramenta 5 porquês foi aplicada para identificação das causas potenciais que mais influenciam no processo gerador do problema. Após a identificação das causas potenciais, Werkema (2012b) apresenta uma etapa de análise da necessidade de revisão do mapa de processo. Após esta validação as causas potenciais são priorizadas. A etapa seguinte é a comprovação da quantificação das causas. Ao final da etapa Analyze é possível realizar a descrição das causas fundamentais adotadas. Na pesquisa-ação a priorização das causas se deu a partir das entrevistas semiestruturadas com os envolvidos no processo identificado.

A análise de causa raiz possibilita identificar o que realmente está causando o problema, identificando as reais causas e resolvendo o problema de forma completa para propor ações que possam eliminar efetivamente o problema (ISHIKAWA, 1990).

A etapa improve inicia pelo levantamento das possíveis soluções. Em ambas aplicações foi adotado o brainstorming entre os responsáveis para levantamento das propostas. Uma vez que as propostas de solução são apresentadas, é realizada a priorização e análise de riscos da execução. As soluções são testadas e é criado um

plano de ação para implementação de cada uma delas em larga escala. Após a aplicação das ações, é feita a análise se as metas específicas foram alcançadas.

A criação do Plano de Ação é fundamental para o sucesso da aplicação do Six Sigma pois com o planejamento é possível fazer o controle das atividades. Dentro da filosofia Lean Production a planificação das ações bem como o seu acompanhamento são fundamentais para a redução do desperdício e para possibilitar que a empresa atinja a meta (GOLDRATT, 2015).

A última etapa Control começa com a análise do atingimento da meta global e posterior análise do retorno financeiro obtido. Uma vez que a meta foi atingida e o retorno financeiro foi comprovado, é necessário comprovar a criação dos padrões necessários para que não ocorra a reincidência do erro.

É realizado também a comprovação do treinamento da equipe para cumprir o mesmo propósito. São adotados indicadores para monitorar a manutenção do resultado obtido pela aplicação da ferramenta e a criação do processo de acompanhamento. Na pesquisa-ação foi adotada a ferramenta OCAP. Por fim, a equipe deve apresentar os seus aprendizados e recomendações.

No estudo piloto, a comprovação financeira foi de difícil validação visto que a aplicação foi dentro do cronograma de um canteiro, já na pesquisa-ação foi possível mensurar o ganho financeiro satisfatório, pois ultrapassou a meta prevista.

Corroborando com o PMI (2000), um projeto de sucesso é aquele que atende o escopo, a dimensão prazo e custo e garante a segurança e a satisfação dos envolvidos. Nesse sentido, a fase de controle é fundamental pois possibilita que os envolvidos acompanhem o projeto, por meio de dashboards por exemplo, todas as fases do projeto.

Baseado na experiência de aplicação no estudo piloto e na pesquisa-ação a Figura 21 busca apresentar as etapas do roadmap proposto por Werkema (2012b) que apresentaram maior dificuldade para realização dentro do contexto da construção civil.

Figura 22 - Roadmap com marcação das etapas onde foram encontradas dificuldades



Fonte: O Autor (2024)

Na fase Define, foram encontrados obstáculos para a obtenção de dados para justificativa do projeto. Em ambas as aplicações, a cultura de criação e manutenção de dados dentro das equipes era baixa. Esta baixa disponibilidade de informações foi problemática para mensurar e justificar o projeto.

Durante a etapa de Measure foi sentida uma grande dificuldade na manutenção do fluxo de informações, principalmente junto a obra. As métricas nem sempre foram alimentadas conforme o instruído. Foi possível observar que o processo de monitoramento não se tornou parte da cultura do canteiro no primeiro momento. A falta de continuidade dos dados, principalmente dos vindos da execução, gerou uma dificuldade na análise da evolução dos focos escolhidos no tempo.

Na fase Analyse a etapa de entendimento do processo gerador do problema trouxe à tona as diferenças entre os processos produtivos. O alto grau de especificidade e baixa repetição da produção por projeto dificultou o entendimento de qual o processo gerador de cada foco e conseqüentemente da priorização das causas potenciais.

Na fase Improve, a execução da análise de riscos das soluções propostas se apresentou como um grande obstáculo. Apesar de difundido e comum no meio corporativo, não existe a cultura da análise de riscos dentro de canteiros de obras. No contexto office, ou seja dentro do escritório e longe da execução, foi possível perceber que há uma preocupação com o gerenciamento dos cenários, porém de maneira majoritariamente financeira.

A fase final de Control apresentou dois pontos de bastante dificuldade. O primeiro deles, foi a obtenção do retorno financeiro. Dentro do ciclo produtivo de um canteiro de obra a monetização da economia nem sempre é palpável. No estudo modelo, por exemplo, a quantificação do retorno obtido pela economia de cronograma e redução de desperdícios se tornou uma tarefa difícil devido à falta de dados prévios e de acompanhamento. O segundo ponto foi a definição de indicadores para o acompanhamento do mantimento dos resultados obtidos. Em aplicações os resultados obtidos foram suficientes para o atingimento da meta, porém não houve uma adesão dos envolvidos na cultura de criação e controle de dados para o monitoramento futuro.

Ao fim das aplicações da ferramenta DMAIC dentro de cenários da construção civil foi possível identificar que existe uma falta de dados confiáveis dentro das

organizações. Isto ocorre, na visão do autor, devido a cultura de resolução de problemas imediatos e não priorização de métricas e indicadores confiáveis. A falta de planejamento e controle também é fator de impacto neste cenário.

A seguir apresentam-se algumas sugestões para melhorar este cenário:

- Qualificação dos gestores de obras: o currículo dos cursos de engenharia civil precisa ter mais enfoque na gestão de obras;
- Uso de sistemas ERP: faz-se necessário o aumento da digitalização das organizações pela adoção de ERP, entretanto é necessário ter profissionais que saibam estruturar os dados dentro do sistema de acordo com a prática da empresa;
- Realização do planejamento e controle das obras de maneira efetiva: os dados reais precisam ser levantados e inseridos de forma correta no sistema ERP. Precisa existir a rastreabilidade dos dados;
- Envolvimento de Suprimentos: A gestão de suprimentos precisa estar alinhada ao planejamento e controle de obras. Os dados de notas fiscais precisam ser estratificados seguindo a lógica do orçamento (que deve estar no ERP);
- Indicadores de desempenho: é necessário estabelecer indicadores de desempenho confiáveis ao longo do processo de planejamento e controle que mostrem se a empresa está sendo lucrativa e indiquem onde está a raiz dos problemas;
- Uso de Dashboards: Criar mecanismos de visualização das informações de acordo com o nível hierárquico da empresa (dashboards) é fundamental para a gestão do negócio;
- Padronização: Padronizar os projetos e materiais para facilitar a repetição é um facilitador para a Gestão de Obras. Não esquecendo de customizar partes do produto que interessam o usuário final.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível observar que a aplicação da ferramenta DMAIC é possível e gera resultados positivos dentro da construção civil. Apesar disto, as diferenças entre a produção por projeto inerente a atividade da construção e a produção seriada resulta em dificuldade no levantamento de dados para comprovação de etapas.

5.1 Conclusão Sobre os Objetivos

O objetivo principal da pesquisa foi implantar ações que possam melhorar o desempenho do PCP na construção civil utilizando a ferramenta DMAIC da abordagem Lean Six Sigma. Durante a aplicação no estudo piloto, o DMAIC - mesmo que parcialmente aplicado - resultou no aumento do PPC até o atingimento da marca de 90%, garantindo o sucesso do projeto. Já na pesquisa-ação, a aplicação completa da ferramenta resultou no atingimento da meta definida com a economia alcançada na compra das esquadrias de alumínio. Com estes resultados o objetivo principal foi considerado alcançado.

Quanto aos objetivos específicos, o primeiro deles “realizar a RSL e análise de conteúdo sobre PCP e Lean Six Sigma” foi plenamente atingido (capítulo 2, item 2.2 - Revisão Bibliométrica e de Conteúdo). Os resultados obtidos nesta análise possibilitaram balizar as aplicações realizadas explicitando as diferenças e dificuldades encontradas dentro do contexto office e production da construção civil. Além disso, a análise da bibliometria permitiu identificar a relevância do tema.

O segundo objetivo específico “identificar quais etapas do DMAIC são possíveis de serem implantadas na construção civil” foi atingido (item 4.3 Discussão, figura 21). Esta figura foi o resultado da análise completa do roadmap proposto por Werkema (2012b) aplicado pelo autor. Em vermelho foram destacadas as etapas de difícil aplicação dentro da construção civil.

O terceiro objetivo “propor sugestões para melhorar o desempenho do PCP na construção civil”, foi parcialmente atingido. A discussão que resultou na figura 21 indica a criação de uma ferramenta específica para a melhora do desempenho do PCP na construção civil. A criação desta ferramenta é uma das propostas para trabalhos futuros.

5.2 Conclusão da Revisão da Literatura

A revisão da literatura empreendida nesta dissertação delineou o contorno teórico e prático da implementação do Lean Six Sigma na gestão e controle da produção na construção civil, evidenciando uma evolução conceitual desde suas origens até as discussões contemporâneas. Esta análise desvendou a complexidade inerente à adoção dessas metodologias no setor, sublinhando tanto avanços significativos quanto desafios persistentes que limitam sua aplicabilidade.

A investigação revelou que, apesar da robustez teórica do Lean Six Sigma e sua comprovada eficácia em outros setores, sua transposição para o ambiente da construção civil é obstaculizada por peculiaridades inerentes a este setor. Tais peculiaridades incluem a variabilidade dos projetos, a intensa segmentação dos processos produtivos e a dinâmica de interações entre os diversos stakeholders. Foi constatado que a rigidez de algumas ferramentas e técnicas tradicionalmente associadas ao Lean Six Sigma necessita de uma adaptação estratégica para se alinhar com a flexibilidade requerida pelos projetos de construção civil.

Além disso, a revisão literária apontou para uma disparidade entre o conhecimento acadêmico acumulado sobre o Lean Six Sigma e sua aplicação prática na gestão de projetos e produção na construção civil. Tal lacuna sugere uma oportunidade para investigações futuras focadas no desenvolvimento de frameworks metodológicos que integrem de maneira mais efetiva as lições aprendidas no campo teórico com as necessidades práticas do setor.

Importante destacar que a análise bibliométrica e de conteúdo contribuiu para a identificação de tendências de pesquisa, revelando um interesse crescente nas interseções entre Lean Six Sigma, gestão de projetos e construção civil. No entanto, observou-se também que, apesar dessa tendência positiva, a profundidade da integração entre essas áreas ainda é insuficiente para superar os desafios práticos enfrentados pela indústria.

Em conclusão, a revisão da literatura efetuada forneceu insights valiosos sobre o estado atual do conhecimento na aplicação do Lean Six Sigma na construção civil, destacando tanto o potencial quanto os desafios dessa abordagem. Os resultados enfatizam a necessidade de pesquisas adicionais que se debrucem sobre o desenvolvimento de abordagens adaptadas que possam mitigar as barreiras à

implementação efetiva do Lean Six Sigma neste setor, promovendo uma maior sinergia entre teoria e prática.

5.3 Conclusão Sobre o Método de Pesquisa

A adoção da pesquisa-ação como metodologia neste estudo reflete um compromisso com a geração de conhecimento prático e aplicável, direcionado para a melhoria do PCP na construção civil. Essa abordagem metodológica permitiu uma interação direta do pesquisador com o ambiente e os sujeitos de estudo, facilitando a identificação precisa dos problemas existentes e a implementação de soluções eficazes por meio da ferramenta DMAIC, um componente central da abordagem Lean Six Sigma.

Por meio da pesquisa-ação, foi possível não apenas analisar os processos de PCP em profundidade, mas também intervir ativamente nessas práticas, testando e refinando soluções em tempo real. Esta abordagem proporcionou insights valiosos sobre a aplicabilidade e eficácia das práticas Lean Six Sigma na construção civil, uma área que apresenta desafios únicos devido à sua natureza dinâmica e complexa.

A estruturação das fases da pesquisa, desde a identificação do problema até a implementação e controle das ações de melhoria, seguiu um processo lógico e sistemático, garantindo a coerência e a eficácia das intervenções. A pesquisa-ação mostrou-se uma estratégia metodológica robusta, capaz de promover mudanças significativas nas práticas de PCP estudadas, contribuindo assim para a redução de desperdícios e a otimização dos processos de produção.

A conclusão do método de pesquisa adotado neste trabalho ressalta a importância de abordagens metodológicas que combinam teoria e prática de forma integrada, destacando a pesquisa-ação como uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento e implementação de melhorias no setor da construção civil. Este estudo contribui para a literatura existente ao demonstrar como a aplicação prática da abordagem Lean Six Sigma, por meio da pesquisa-ação, pode resultar em melhorias tangíveis e sustentáveis no PCP, oferecendo um modelo replicável para futuras pesquisas e práticas profissionais na área.

5.4 Conclusão Sobre o Estudo Piloto

No estudo piloto conduzido no contexto específico de uma obra da construção civil (production), a aplicação do método Lean Six Sigma por meio da ferramenta DMAIC forneceu um quadro detalhado das possibilidades e desafios inerentes à adaptação de práticas de gestão de produção em um ambiente caracterizado por sua complexidade e dinamismo. Apesar das dificuldades encontradas na coleta de dados, essenciais para as fases de Medir e Analisar do DMAIC, o estudo conseguiu aplicar de forma eficaz nas etapas de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, revelando insights valiosos sobre a gestão do Planejamento e Controle da Produção (PCP) na construção civil.

A introdução do Last Planner e do Lookahead na rotina de planejamento da obra enfrentou obstáculos iniciais, principalmente devido à variabilidade das condições de trabalho e à resistência à mudança, comuns em canteiros de obra. No entanto, a implementação disciplinada do DMAIC possibilitou a identificação e a análise sistemática dos principais desafios enfrentados, permitindo a proposta de soluções focadas e a implementação de ações de melhoria. Este processo foi crucial para alinhar as atividades planejadas com as realizadas, evidenciado pelo aumento do Percentual do Planejado Concluído (PPC), que reflete diretamente na eficiência e na eficácia dos processos de PCP.

Os resultados do estudo piloto sublinham a importância de uma abordagem adaptada e flexível ao aplicar metodologias de gestão de produção na construção civil. A capacidade de ajustar o método DMAIC ao contexto específico da obra demonstrou ser fundamental para superar os desafios de coleta e análise de dados, permitindo uma avaliação precisa do desempenho do planejamento e controle da produção. A experiência adquirida ao longo deste estudo piloto enfatiza a necessidade de desenvolver estratégias de coleta de dados robustas e adaptáveis, capazes de capturar a complexidade e a dinâmica das operações de construção.

Em conclusão, o estudo piloto confirmou a viabilidade de aplicar o Lean Six Sigma no contexto da construção civil, apesar dos desafios associados à coleta de dados e à adaptação das práticas de gestão de produção. O sucesso na implementação do DMAIC em uma obra real ressalta o potencial desta metodologia para promover melhorias significativas no PCP, contribuindo para a entrega de projetos dentro do prazo, do orçamento e com a qualidade esperada. Este estudo

oferece uma contribuição valiosa para o campo da gestão de construção, provendo um caminho para a integração efetiva de práticas de melhoria contínua em ambientes de produção na construção civil.

5.5 Conclusão Sobre a Pesquisa-Ação

A pesquisa-ação, conduzida no âmbito do Planejamento e Controle da Produção (PCP) de uma construtora de edifícios residenciais, demonstrou a eficácia da metodologia Lean Six Sigma através do processo DMAIC na identificação e resolução de desafios operacionais significativos. Este estudo, embasado na análise de quatro obras distintas, revelou a aplicabilidade da ferramenta DMAIC para otimizar processos, reduzir desperdícios e aprimorar a eficiência operacional, apesar dos desafios inerentes à coleta de dados e à complexidade do setor da construção civil.

A fase de Definição revelou um desalinhamento crítico entre o orçamento projetado e os custos reais, impactando diretamente na saúde financeira da empresa. Este desafio foi identificado como um fator de alta relevância, dada sua influência direta sobre o resultado operacional e a satisfação do cliente. A implementação do DMAIC possibilitou uma abordagem sistemática para abordar este problema, com a fase de Medição utilizando o indicador Percentual de Previsão do Custo Real (PPR) para avaliar a precisão do orçamento das obras.

Na fase de Analyze, foi possível identificar as causas fundamentais do problema, destacando-se o atraso na entrega de projetos e orçamentos, erros no orçamento e uma abordagem reativa do departamento de suprimentos. A fase de improve focou na elaboração de um conjunto de ações prioritárias, selecionadas através de um processo colaborativo de brainstorming, visando abordar as causas raiz identificadas.

O controle das ações implementadas demonstrou uma melhoria significativa no alinhamento entre o custo projetado e realizado, alcançando a meta de redução de 5% na discrepância entre o orçamento estimado e o executivo para a obra em andamento. Além disso, a introdução de dashboards de controle e a atualização dos parâmetros de orçamento paramétrico foram medidas efetivas para garantir a continuidade das melhorias e a aplicabilidade das soluções desenvolvidas em futuros projetos.

Este estudo contribui para a literatura existente ao demonstrar a aplicabilidade da metodologia Lean Six Sigma no contexto da construção civil, ressaltando a

importância de adaptar ferramentas de gestão de produção para atender às especificidades do setor. A pesquisa-ação realizada fornece um modelo valioso para outras empresas do setor que enfrentam desafios semelhantes, evidenciando o potencial de metodologias de melhoria contínua para promover eficiência operacional e satisfação do cliente em projetos de construção.

5.6 Limitações da Pesquisa

Este estudo apresenta limitações inerentes à sua estrutura e metodologia, que influenciaram os resultados e conclusões alcançadas. Uma dessas limitações decorre do espaço amostral restrito, que se concentrou especificamente em uma construtora com maturidade de gestão baixa (estudo piloto) e outro com maturidade intermediária (pesquisa-ação). Esta escolha metodológica, embora tenha permitido uma análise detalhada nos contextos office e production, restringiu a investigação de variáveis adicionais. Consequentemente, a pesquisa pode não capturar totalmente as nuances e variações que caracterizam diferentes setores e processos dentro desta indústria.

Além disso, a delimitação do espaço amostral implicou em uma exploração limitada de variáveis potencialmente relevantes, deixando lacunas no entendimento de como a ferramenta DMAIC poderia ser otimizada ou adaptada para melhor atender às necessidades de organizações com características distintas. A ausência de uma análise comparativa envolvendo organizações de diferentes níveis de maturidade constitui outra limitação significativa. A literatura sugere e os resultados preliminares deste estudo corroboram que o nível de maturidade organizacional é um fator determinante para o sucesso da implementação do DMAIC. No entanto, sem uma avaliação abrangente que considere essa variabilidade entre as organizações, as conclusões deste estudo sobre a eficácia da ferramenta podem não refletir plenamente seu potencial impacto em diferentes contextos organizacionais.

Portanto, enquanto este estudo oferece uma reflexão sobre a implementação da ferramenta DMAIC na indústria da construção civil, reconhece-se que suas conclusões são delimitadas pelas escolhas metodológicas e pelo escopo da pesquisa. Futuras investigações poderiam expandir este trabalho ao explorar variáveis como o nível de maturidade das organizações, padrão construtivo, localização, produto

ofertado influenciam a eficácia da implementação do DMAIC, contribuindo assim para uma compreensão mais rica e nuanciada de sua aplicabilidade em diversos contextos organizacionais.

5.7 Proposta de Trabalhos Futuros

A partir dos pontos da ferramenta DMAIC levantados como dificultosos no contexto da construção civil, propõem-se como trabalho futuro o desenvolvimento de uma ferramenta baseada nos preceitos do Lean Six Sigma similar ao DMAIC, porém com as adaptações necessárias.

A ferramenta DMAIC adaptada para a construção civil, deve possuir maior flexibilização na coleta de dados e validações das etapas iniciais. Sua difusão pode ser um meio para o aumento da industrialização da construção civil e aproximação entre a produção da indústria seriada com a construção civil.

Tomando como referência o Lean Construction é fundamental manter uma perspectiva aberta para a adoção de ferramentas já consolidadas em outras cadeias produtivas mais avançadas, visando a modernização e aprimoramento do setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

- ABRAIN; FIPE. Informe de julho de 2021. , p. 27, 1. jul. 2021. São Paulo.
- AL-AOMAR, R. Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry. **Lean Construction Journal**, v. 2012, p. 105–121, 2012. Lean Construction Institute.
- AL-AOMAR, RAID. A lean construction framework with Six Sigma rating. **International journal of lean six sigma**, v. 3, n. 4, p. 299–314, 2012. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.
- ANTONY, J.; SNEE, R.; HOERL, R. Lean Six Sigma: yesterday, today and tomorrow. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 34, n. 7, p. 1073–1093, 2017.
- AZEVEDO, L. P. E B. DE. O Impacto da Pandemia na Construção Civil. **Boletim do Gerenciamento**, v. 20, n. 20, p. 71–80, 2020.
- BALLARD, G. Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control. **th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, , n. 97, 1997.
- BALLARD, H. G. **The Last Planner System of Production Control**, 2000. Birmingham: The University of Birmingham.
- BARROS, E. DE. **Aplicação Da Lean Construction No Setor De Edificações: Um Estudo Multicaso**, 2015. UFPE.
- BARROS, S. C. O operário da construção civil: as funções dos significados do trabalho e do dinheiro. **Athenea Digital. Revista de pensamento e investigación social**, v. 21, n. 2, 2021. Disponível em: <<https://atheneadigital.net/article/view/v21-n2-barros>>. Acesso em: 19/6/2023.
- BEHR, A.; MORO, E. L. D. S.; ESTABEL, L. B. Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca. **Ciência da Informação**, v. 37, n. 2, p. 32–42, 2008.
- BLAXILL, M. F.; HOUT, T. The Fallacy of the Overhead Quick Fix. **Harvard Business Review**, 1. jul. 1991. Disponível em: <<https://hbr.org/1991/07/the-fallacy-of-the-overhead-quick-fix>>. Acesso em: 19/6/2023.
- BRASIL, G. DO. Novo Caged: Brasil registra 130.097 postos de trabalho com carteira assinada em novembro. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/noticias-e-conteudo/2023/dezembro/novo-caged-brasil-registra-130-097-postos-de-trabalho-com-carteira-assinada-em-novembro>>. Acesso em: 20/5/2024.
- BRAVO, M.; EUPHROSINO, C. A.; PUCHARELLI FONTANINI, P. S. DMAIC manual for an integrated management system: Application in a construction company. IGLC

28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020. **Anais IGLC 28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020**. p.169–180, 2020. The International Group for Lean Construction. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85104885782&doi=10.24928%2f2020%2f0106&partnerID=40&md5=3eac83f234332669f59be193b43fdc98>>. .

CAGED. Evolução das Admissões. Disponível em: <<http://pdet.mte.gov.br/novo-caged>>. Acesso em: 10/9/2023.

CALL, R. “Lean” approach gives greater efficiency. **Health estate**, v. 68, n. 2, p. 23–25, 2014.

CNI. Indústria da construção segue confiante, apesar do recuo da atividade em julho. Disponível em: <<http://portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondagem-industria-da-construcao/>>. Acesso em: 10/9/2023.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. Marques Saraiva, 1990.

DIXIT, S.; MANDAL, S. N.; SAWHNEY, A.; SINGH, S. Area of linkage between lean construction and sustainability in indian construction industry. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 8, n. 8, p. 623–636, 2017. IAEME Publication.

DOLORES ANDUJAR-MONTOYA, M.; GILART-IGLESIAS, V.; MONTOYO, A.; MARCOS-JORQUERA, D. A Construction Management Framework for Mass Customisation in Traditional Construction. **Sustainability (Basel, Switzerland)**, v. 7, n. 5, p. 5182–5210, 2015. BASEL: Mdpi.

FERNG, J.; PRICE, A. D. F. An exploration of the synergies between Six Sigma, total quality management, lean construction and sustainable construction. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 1, n. 2, p. 167–187, 2005.

FERRÃO, C. C.; MORAES, J. A. R. Analysis of environmental risks and accidents at work in urban solid waste collection services. **Gestão & Produção**, v. 28, n. 1, p. e4885, 2021.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Qualitymark, 1992.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. A meta: um processo de aprimoramento contínuo. **A meta: um processo de aprimoramento contínuo**. p.318–318, 1984.

HAN, S. H.; CHAE, M. J.; IM, K. S.; RYU, H. D. Six Sigma-Based Approach to Improve Performance in Construction Operations. **Journal of management in engineering**, v. 24, n. 1, p. 21–31, 2008. RESTON: American Society of Civil Engineers.

HUSSAIN, K.; HE, Z.; AHMAD, N.; IQBAL, M.; NAZNEEN, S. Mapping Green, Lean, Six Sigma enablers through the lens of a construction sector: an emerging economy’s perspective. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 66, n. 4, p. 779–812, 2023. Routledge.

HUSSAIN, K.; HE, Z.; AHMAD, N.; IQBAL, M.; SAEED, M. Z. Establishing a Green, Lean and Six Sigma implementation model for sustainable construction industry: an analysis of driving forces through ISM-MICMAC approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 11, p. 30462–30492, 2023. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

IBGE. PIB cresce 1,9% no 1º trimestre de 2023 | Agência de Notícias. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/37029-pib-cresce-1-9-no-1-trimestre-de-2023>>. Acesso em: 10/9/2023.

ISA, M. F. M.; USMEN, M. Improving university facilities services using Lean Six Sigma: a case study. **Journal of facilities management**, v. 13, n. 1, p. 70–84, 2015. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.

ISHIKAWA, K. **Introduction to Quality Control**. Taylor & Francis, 1990.

JULIANI, F.; DE OLIVEIRA, O. J. Lean Six Sigma principles and practices under a management perspective. **Production Planning and Control**, v. 31, n. 15, p. 1223–1244, 2020. Taylor and Francis Ltd.

KASTLE, B.; ROWLANDS, D. T.; GEORGE, M. L. **What's Lean Six Sigma?** 2006. KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford University, 1992.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction management and economics**, v. 5, n. 3, p. 243–266, 1987. E. & F.N. Spon Ltd.

LIMA JR., J. DA R. **Real Estate: Fundamentos para Análise de Investimento**. 1º ed. GEN Atlas, 2010.

LIN, P.-Y.; CHEN, K.-Y.; CHENG, C.-Y.; SU, W.-H.; LU, L. Y. Y. The Academic Development Trajectories of the Lean Production Based on Main Path Analysis Method. **Processes**, v. 10, n. 8, p. 1495, 2022. Basel: MDPI AG.

LINS, B. F. E. Ferramentas básicas da qualidade. **Ci. Inf Brasília**.

NASCIMENTO, D. J. DO; BENTO, M. DE L.; SILVA, V. P. DA; NASCIMENTO, L. G. DO; PEDERNEIRAS, M. M. M. Características do uso de sistemas ERPS na gestão de informações e controladoria no ramo da construção civil: um Estudo de caso numa empresa paraibana / Characteristics of the use of ERPS systems in information management and controlling in the construction sector: a case study in a paraiba company. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 22472–22493, 2019.

OCHOA, J. J.; SHEN, L. Y.; HAO, J. The use of six sigma and lean construction for assessing the production planning process of sustainable building projects? **VTT Symposium (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus)**, , n. 259, p. 302–319, 2009. Espoo: Technical Research Center of Finland.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção além da produção em larga escala**. Japão: Productivity, 1997.

PERGHER, I.; RODRIGUES, L. H.; LACERD, D. P. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 4, p. 673–686, 2011.

PMI. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK Guide**. 7º ed. Pennsylvania, USA: Project Management Institute, 2021.

REXPERS. **Relatório de Atualização Mensal de Indicadores de Mercado Fevereiro 2024**. Digital, rexperts.com.br: RExperts, 2024.

SAKR, T. A.; NASSAR, A. H. Improving Project Management at the Design Phase by Applying Lean Six Sigma as a Troubleshooting System. **IEEE Engineering Management Review**, v. 50, n. 3, p. 213–227, 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

SALES, F. J. L. **Precificação de Imóveis: Um Estrudo de Caso**, 2013. Fortaleza: UFCE.

SATOLO, E. G.; LEITE, C.; CALADO, R. D.; GOES, G. A.; SALGADO, D. D. Ranking lean tools for world class reach through grey relational analysis. **Grey Systems**, v. 8, n. 4, p. 399–423, 2018. Emerald Group Holdings Ltd.

SCHUCH, T. M.; KLIEMANN NETO, F. J. Viabilidade econômico-financeira de empreendimentos imobiliários: elaboração de uma metodologia de avaliação.

SENAI; CBIC. Informativo Econômico. **Informativo Econômico**, p. 9, jun. 2021.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**. 1º ed. Bookman, 1996.

SIMÕES, J. C. P.; REIS, M. T. MEIO AMBIENTE E OS EMBATES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. , v. 6, n. 2, 2014.

SINDHWANI, R.; VAIDYA, O. S.; ANTONY, J.; SHOKRI, A. Evaluating Performance of Projects Using Six Sigma Approach. **IEEE transactions on engineering management**, p. 1–14, 2021. IEEE.

SREEDHARAN V, R.; SANDHYA, G.; RAJU, R. Development of a Green Lean Six Sigma model for public sectors. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 9, n. 2, p. 238–255, 2018. Emerald Group Holdings Ltd.

STALK, G.; HOUT, T. M. **Competing against Time: How Time-Based Competition Is Reshaping Global Markets**. Free Press, 2003.

SULLIVAN, K. T. Quality management programs in the construction industry: Best value compared with other methodologies. **Journal of Management in Engineering**, v. 27, n. 4, p. 210–219, 2011.

SVENLIN, M.; JUSSLIN, S. Thinking brainstorming as otherwise in collaborative writing: A rhizoanalysis. **Linguistics and Education**, v. 77, p. 101218, 2023.

TASDEMIR, C.; GAZO, R.; QUESADA, H. J. Sustainability benchmarking tool (SBT): theoretical and conceptual model proposition of a composite framework. **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, n. 7, p. 6755–6797, 2020. Springer.

THIOLLENT, M. Pesquisa-Ação nas Organizações. **Revista Organizações em Contexto**, v. 4, n. 7, 1997. Programa de Pós-Graduação em Administração da Faculdade de Administração e Economia.

THOMAS, D.; KHANDUJA, D. ISM–ANP hybrid approach to prioritize the barriers in green lean Six Sigma implementation in construction sector. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 13, n. 2, p. 502–520, 2022.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443–466, 2005.

VAN DEN BOS, A.; KEMPER, B.; DE WAAL, V. A study on how to improve the throughput time of Lean Six Sigma projects in a construction company. **International journal of lean six sigma**, v. 5, n. 2, p. 212–226, 2014. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.

VELDMAN, J.; KLINGENBERG, W. Applicability of the capability maturity model for engineer-to-order firms. **International Journal of Technology Management**, v. 48, n. 2, p. 219–239, 2009. Inderscience Publishers.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma**. Elsevier Editora Ltda, 2012a.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. 2012b.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel**. 10º ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.