

O método Seis Sigma aplicado à construção de edificações: aspectos técnicos e metodológicos

Daniel Barroso Rosa Bueno do Couto

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Jorge Santos, D. Sc

Rio de Janeiro

Outubro de 2020

O método Seis Sigma aplicado à construção de edificações: aspectos técnicos e metodológicos

Daniel Barroso Rosa Bueno do Couto

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Prof. Jorge dos Santos, D.Sc., Orientador

Prof^a. Isabeth Mello

Prof. Wilson Wanderley da Silva

Prof^a. Mayara Amario,

Rio de Janeiro

Outubro de 2020

Do Couto, Daniel Barroso Rosa Bueno

O método Seis Sigma aplicado à construção de edificações: aspectos técnicos e metodológicos/ Daniel Barroso Rosa Bueno do Couto. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2020.

XV, 101 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge dos Santos

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Civil, 2020

Referências Bibliográficas: p 99-101.

1. Introdução. 2. Construção de edificações. 3. O Método Seis Sigma (6σ). 4. A implementação do Seis Sigma na organização. 5. O Seis Sigma na Construção Civil 6. Aspectos técnicos e metodológicos para a aplicação do Seis Sigma na Construção de Edificações. 7. Considerações finais. 9. Referências

I. Jorge dos Santos II. Universidade Federal do Rio de Janeiro,

Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. Engenheiro Civil

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, pelas lições de dedicação, persistência e amor incondicional.

A todos os professores da Escola Politécnica, que me motivaram ao longo dos anos e sem os quais jamais poderia ter chegado a este momento.

Aos amigos e colegas que me acompanharam nesta caminhada.

Ao meu orientador, pelas instruções que me possibilitaram concluir o presente trabalho.

RESUMO

A despeito da grande relevância para o desenvolvimento socioeconômico brasileiro, o segmento da construção civil nacional encontra-se historicamente em descompasso com o estado da arte da gestão da qualidade. Esta realidade se manifesta em todos os níveis da cadeia produtiva, quer seja na especificação e padronização de insumos; baixa qualidade do treinamento de mão de obra ou gerenciamento deficiente, fatos de naturezas distintas, mas cuja confluência invariavelmente resulta em desperdícios e perda de competitividade no setor. O presente trabalho realiza uma leitura acerca do conjunto de ferramentas que compõem o corpo de conhecimento Seis Sigma, bem como os possíveis benefícios e entraves à sua aplicação na construção de edificações, quer seja na capacidade de provocar mudanças organizacionais à nível cultural ou melhor controle de processos.

Palavras-chave: Seis-Sigma, qualidade, controle de processos, DMAIC, DMADV, DFSS, edificações, melhoria contínua.

ABSTRACT

Despite its great relevance to the nation's socioeconomic growth that the construction industry has in Brazil, this industry is historically in not in synch with the quality management state-of-the-art. This reality manifests itself throughout all levels ins its process chain, either on the lack of materials specifications and padronization; low levels of labor training or deficient management procedures, all facets of distinctive and different nature, but that invariably will result in material and competitive losses. This work consolidates some of the tools inherent to the Six Sigma body of knowledge, as well as its benefits and difficulties, either on organizational and cultural aspects or simply on process controlling.

Keywords: Six Sigma, quality, process controlling, DMAIC, DMADV, DFSS, construction, continuous improvement.

SIGLAS

CEP – *Controle Estatístico de Processos*

COO – *Chief Operations Officer*

CEO – *Chief Executive Officer*

CTC – *Critical-to-cost*

CTD – *Critical-to-delivery*

CTQ – *Critical-to-quality*

CTS – *Critical-to-satisfaction*

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

DMADV – *Define, Measure, Analyze, Design, Verify*

DFSS – *Design for Six Sigma*

GPD – *Gerenciamento Pelas Diretrizes*

IBGE – *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*

O&G – *Óleo e Gás*

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

PIB – *Produto Interno Bruto*

PMBOK – *Project Management Body of Knowledge*

SINAPI – *Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices*

TQM – *Total Quality Management*

FIGURAS

Figura 1 - Ruínas de Tel Tsaf, em Beit-She'an, Israel.	21
Figura 2 - Cientista examina antigo píer romano, executado em concreto.....	21
Figura 3 - Planilha de Controle de Qualidade de Shewhart, adaptado pelo autor de www.pmi.org	40
Figura 4 - "Regra Empírica", adaptado pelo autor de www.pmi.org	41
Figura 5 - Planilha de Controle de Qualidade para o 6σ, adaptado pelo autor de www.pmi.org ...	42
Figura 6 – Impacto e custo de vulnerabilidades por etapas de ciclo de vida de projeto, adaptado pelo autor de Yang et El Haik (2003).....	60
Figura 7 - Ferramentas DFSS e DMAIC na linha de vida do projeto, adaptado pelo autor de Yang et El Haik (2003).....	60
Figura 8 - Árvore de processos de uma edificação unifamiliar. RAMOS (2018).....	74
Figura 9 - Cadeia de valor mapeada para a atividade de pintura. BANAWI (2013).....	77
Figura 10 - Diagrama de Pareto para as patologias de pintura, adaptado pelo autor de BANAWI (2013).....	78
Figura 11 - Nova cadeia de processos para pintura exterior. BANAWI (2013).....	79
Figura 12 - Ciclo de Treinamento. PANAINO 2015.....	84
Figura 13 - Modificações comportamentais em função do treinamento. PANAINO 2015.....	86
Figura 14 - Fatores intervenientes na construção civil. MORAES (1997).....	92

TABELAS

Tabela 1: Participação da Construção Civil no PIB, comparada a outros setores da economia	14
Tabela 2: Níveis Sigma por DPMO	40
Tabela 3: Elementos da Ferramenta DFSS	57
Tabela 4 - Níveis sigma por DPMO, adaptado por Ramos (2018) de Rampersad e El Homsí (2009)	73
Tabela 5 - Resultados encontrados para frequências de não-conformidades, adaptado de Ramos (2018)	73

QUADROS

Quadro 1 - Requisitos de desempenho de acordo com a NBR 15575	28
Quadro 2 - Elementos da Ferramenta DFSS, adaptado de KWAK e ANBARI (2006)	57
Quadro 3 - Fatores Críticos de Sucesso, adaptado de KWAK e ANBARI (2006)	63
Quadro 4 - Fatores críticos de sucesso, adaptado de BANUELAS. CORONADO e ANTONY (2002)	63
Quadro 5 - Relação de causa-efeito de não conformidades na construção. RAMOS (2018)	68
Quadro 6 - Ferramentas do Seis Sigma para Green-Belts	82
Quadro 7 - Ferramentas do Seis Sigma para Black-Belts	83

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. A RELEVÂNCIA DO TEMA.....	13
1.2. JUSTIFICATIVA.....	15
1.3. OBJETIVOS	17
1.4. METODOLOGIA	17
1.5. ESTRUTURA.....	17
2. CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES	19
2.1. CONCEITUAÇÃO.....	19
2.2. BREVE HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES	19
2.3. ELEMENTOS DE UMA EDIFICAÇÃO	23
2.4. MATERIAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES.....	24
2.5. SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA EDIFICAÇÕES.....	26
2.6. PROJETOS DE EDIFICAÇÕES.....	26
2.7. ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS.....	28
3. O MÉTODO SEIS SIGMA (6σ)	31
3.1. CONCEITUAÇÃO.....	31
3.2. ASPECTOS HISTÓRICOS	31
3.3. A ABORDAGEM ESTATÍSTICA DO MÉTODO SEIS SIGMA.....	37
3.4. A ABORDAGEM ESTRATÉGICA DO MÉTODO SEIS SIGMA.....	42
4. A IMPLEMENTAÇÃO DO SEIS SIGMA NA ORGANIZAÇÃO	49
4.1. ASPECTOS GERAIS	49
4.2. METODOLOGIA DMAIC PARA PROCESSOS EXISTENTES	49
4.2.1. CONCEPÇÃO E OBJETIVOS.....	49
4.2.2. ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	49
4.2.3. RECURSOS REQUERIDOS PARA IMPLEMENTAÇÃO.....	51
4.2.4. FERRAMENTAS DA QUALIDADE UTILIZADAS.....	54
4.2.5. MÉTRICAS E INDICADORES.....	57
4.3. METODOLOGIA DMADV PARA NOVOS PROCESSOS.....	58
4.3.1. CONCEPÇÃO E OBJETIVOS.....	58
4.3.2. ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	61
4.3.3. RECURSOS REQUERIDOS	62
4.3.4. FERRAMENTAS DA QUALIDADE UTILIZADAS.....	62
4.3.5. MÉTRICAS E INDICADORES.....	64
4.4. FATORES INFLUENCIADORES PARA O SUCESSO DO SEIS SIGMA.....	64
5. O SEIS SIGMA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	67

5.1. ASPECTOS GERAIS	67
5.2. ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DO DMAIC POR RAMOS (2018).....	69
5.2.1.CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	69
5.2.2.OBJETIVO DA IMPLANTAÇÃO DO SEIS SIGMA.....	69
5.2.3.METODOLOGIA ADOTADA PELO AUTOR.....	70
5.2.4.RESULTADOS OBTIDOS.....	70
5.2.5.CONCLUSÕES DO ESTUDO DE RAMOS (2018).....	76
5.3. ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DO DMAIC POR BANAWI (2013).....	76
5.3.1.CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	76
5.3.2.OBJETIVO DA IMPLANTAÇÃO DO SEIS SIGMA.....	76
5.3.3.METODOLOGIA DE APLICAÇÃO.....	77
5.3.4.RESULTADOS OBTIDOS.....	78
5.3.5.CONCLUSÕES DO ESTUDO DE BANAWI (2013).....	79
6. ASPECTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS DA APLICAÇÃO DE SEIS SIGMA NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES	81
6.1. PARTICULARIDADES A CONSIDERAR ACERCA DA IMPLEMENTAÇÃO	81
6.1.1.TREINAMENTO E CULTURA ORGANIZACIONAL	83
6.1.2.CONSIDERAÇÕES PARA APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA NA CONSTRUÇÃO.....	90
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
REFERÊNCIAS	99

1. INTRODUÇÃO

1.1. A RELEVÂNCIA DO TEMA

O segmento da construção civil brasileira consiste em uma das principais forças motrizes da economia nacional, tanto pela demanda volumosa por mão de obra de todo tipo quanto pelo consumo de bens e serviços necessários à corrente produtiva do setor. Como resumidamente exposto por Fellipe (2011), sobre o setor da construção civil:

“Formado por todos os setores da economia – extração, indústria, serviços – o Macrocomplexo da Construção envolve atividades desde a extração de matérias primas como madeira não processada até a indústria de materiais de construção e a indústria da construção. A indústria de materiais é formada pelas cadeias produtivas da Madeira (processada); Argilas e Silicatos; Calcários; Materiais químicos e petroquímicos; Siderurgia; Metalurgia de não ferrosos; Materiais elétricos; Máquinas e equipamentos. A indústria da construção é formada pela indústria da construção civil que envolve as cadeias da construção de edifícios, da cadeia de obras de infraestrutura e a cadeia de serviços especializados para a construção.”

Há, contudo, uma disparidade histórica e perceptível entre o estado da arte das técnicas de gestão da qualidade na indústria da construção em relação outros segmentos do Setor Secundário da economia brasileira. Enquanto outras indústrias se tornaram símbolos de dinamismo e inovação após a ascensão do Brasil enquanto potência econômica no contexto do mundo globalizado — a citar as indústrias petroquímica; O&G e agropecuária nacionais —, a construção civil em sua maior parte tem-se mantido avessa à mudanças conceituais que impulsionam estas inovações, a despeito do grande o peso da contribuição do segmento de construção ao Produto Interno Bruto Nacional (“PIB”), como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Participação da Construção Civil no PIB, comparada a outros setores da economia.

Fonte: IBGE

Ano	Agropecuária	Indústria		Serviços	
		Total	Construção Civil	Total	Atividades imobiliárias
2000	5,5	26,7	7,0	67,7	12,2
2001	5,6	26,6	6,3	67,8	11,4
2002	6,4	26,4	6,5	67,2	10,7
2003	7,2	27,0	4,6	65,8	9,9
2004	6,7	28,6	4,9	64,7	9,5
2005	5,5	28,5	4,6	66,0	9,3
2006	5,1	27,7	4,3	67,2	8,9
2007	5,2	27,1	4,6	67,7	8,8
2008	5,4	27,3	4,4	67,3	8,4
2009	5,2	25,6	5,4	69,2	8,7
2010	4,8	27,4	6,3	67,8	8,3
2011	5,1	27,2	6,3	67,7	8,4
2012	4,9	26,0	6,5	69,1	8,8
2013	5,3	24,9	6,4	69,9	9,2
2014	5,0	23,8	6,2	71,2	9,3
2015	5,0	22,5	5,7	72,5	9,7
2016	5,7	21,2	5,1	73,1	9,7
2017	5,3	21,1	4,3	73,5	9,8
2018*	5,2	21,2	3,9	73,6	9,9

Esta disparidade se traduz na análise dos indicadores do setor nos últimos anos — a despeito da crise econômica brasileira, e do setor em especial — pois enquanto constata-se que relevância econômica tem se mantido, a produtividade do setor tem decaído progressivamente ano a ano, ou seja, identifica-se que a pujança econômica do setor construtivo não vem aliada ao estado da arte esperado no que tange as melhores práticas de engenharia; de técnicas de gestão e, por fim, de concepção — e efetiva execução — do produto.

No contexto dinâmico e competitivo da construção civil, é essencial que as organizações busquem sempre aprimorar suas cadeias produtivas haja vista que a otimização dos processos inerentes à estas cadeias potencialmente resultará em uma maior agregação de valor ao produto final pela otimização do capital de giro disponível, redução de custos, diminuição de retrabalhos e melhor alocação de recursos, ou seja, aumento de lucros. Estes benefícios geralmente são interpretados como ganhos em “produtividade”. Salienta-se que enquanto o conceito de “produtividade” encontra definições variadas em função da abordagem utilizada, ou mais

precisamente do conjunto de fenômenos que se pretende analisar. No contexto da construção civil, e conseqüentemente do presente trabalho, este conceito será análogo ao emprego de insumos dentro de um processo produtivo para obtenção de um resultado específico.

Considera-se que dentre todas as atividades da construção civil, a mais representativa do setor seja a construção de edificações, uma área de alta dispersão de empreendimentos multidisciplinares e de complexidade variada. Segundo dados do IBGE, o setor da construção civil responde por mais de 100,000 empresas, quase em sua totalidade micro e pequenas empresas envolvidas em empreendimentos de baixo nível tecnológico onde, aproximadamente, 73% destas empresas se concentram no segmento de edificações e obras de engenharia civil. Esta baixa qualidade da produção da construção civil nacional tem origem em diversos fatores, entre eles a baixa qualificação da mão-de-obra empregada; a falta de padronização e não conformidade dos materiais e componentes; os regimes regulatórios deficientes; a pouca utilização da Tecnologia da Informação bem como de equipamentos que permitam alta produtividade e alta incidência de tributos e encargos. (MELLO et al, 2007)

Considerado o exposto, entende-se que há ganhos a se obter com o emprego de ferramentas e metodologias que busquem trazer a construção de edificações para patamares de performance e de qualidade mais competitivos, eficientes e sustentáveis, mediante a criação de uma nova visão cultural sobre o trabalho e controle gerencial tal qual a oferecida pelo conjunto de ferramentas de controle estatístico para qualidade do Seis Sigma.

1.2. JUSTIFICATIVA

Quando avaliados o planejamento dos processos produtivos, a qualificação da mão de obra e o estado da arte tecnológico empregado no processo, fatores sensíveis no setor construtivo brasileiro haja vista a forma artesanal dos procedimentos utilizados em um sem-número de empreendimentos conforme executados pelos players nacionais, pequenos médios ou grandes, é possível caracterizar a construção brasileira como de baixa produtividade e alto desperdício de materiais (HASS E MARTINS, 2011).

Em muitos sentidos a própria conceituação do setor construtivo brasileiro como uma “indústria da construção” é, de certa forma, indevido haja vista que a maior parte dos empreendimentos carece de metodologia produtiva que produza resultados de forma padronizada e replicável, ou seja, um mesmo construtor pode executar procedimentos e práticas segundo uma determinada metodologia por diversas vezes dentro de uma mesma obra e obter resultados distintos.

Evidencia-se, portanto, que a solução para um dos maiores entraves para o desenvolvimento do setor construtivo brasileiro, no que tange os aspectos organizacionais e produtivos, se encontra na elevação dos padrões de qualidade mediante a redução da variabilidade de resultados esperados, contribuindo assim para a redução de perdas, padronização e aumento da produtividade num sentido amplo, e assim, para com o aumento da eficiência e da competitividade do setor como um todo.

Uma das metodologias de melhoria e controle da qualidade que vêm sendo estudadas para tal fim porém ainda pouco aplicadas na construção civil é o Seis Sigma, método que considera-se aderente à realidade das solicitações do setor da construção nacional dentro deste âmbito uma vez que este promove metas baseadas em análise de dados reais, sempre orientadas para a melhoria contínua dos processos e performance organizacional, razões sobre as quais a escolha deste tema para o presente trabalho se fundamenta. Considera-se que a adoção de uma metodologia que reduza perdas e promova qualidade como o Seis Sigma atenda também às demandas do setor da construção civil enquanto agente transformador de aspectos econômico, social e ambiental, por contribuir para a melhoria da qualificação da mão de obra e por promover mudanças nos paradigmas do setor construtivo para com as questões de sustentabilidade e “*lean thinking*”¹, aos quais todos os agentes do setor deverão se ajustar, por imposição das forças do mercado, do público ou das agências regulatórias.

¹ *Lean Thinking* – “Mentalidade enxuta”, conceito de gestão focado na diminuição de desperdícios.

1.3. OBJETIVOS

O presente trabalho propõe apresentar em estudo algumas das oportunidades de emprego da metodologia Seis Sigma no segmento da construção de edificações; os aspectos positivos e negativos deste emprego e, por fim, as dificuldades identificadas e esperadas para a implementação deste método, a despeito de outros possíveis. De forma geral, busca-se estudar a viabilidade da técnica DMAIC sobre processos relacionados ao ambiente da construção civil, fundamentando-se na literatura técnica corrente e experiências registradas da utilização deste método em empreendimentos ao redor do mundo e no Brasil.

1.4. METODOLOGIA

Na elaboração deste trabalho buscou-se a revisão bibliográfica de autores e pesquisadores nacionais e internacionais acerca do tema, quer sejam acadêmicos; consultores de qualidade ou profissionais atuantes nas indústrias onde porventura tenham-se aplicado as técnicas de gestão do Método Seis Sigma. Isto inclui publicações e jornais específicos ao tema discutido, teses de mestrado e doutorado, manuais de implementação do Método Seis Sigma e livros técnicos que abordam a gestão da qualidade e ferramentas de controle estatístico de processos.

1.5. ESTRUTURA

O presente trabalho é composto de sete capítulos desenvolvidos e segmentos com o objetivo de apresentar os aspectos principais necessários à implementação do programa de qualidade Seis Sigma em obras de construção de edificação, apresentando as particularidades do setor da construção civil brasileira que representam oportunidades e obstáculos à uma experiência de implementação bem-sucedida.

O primeiro capítulo busca introduzir o leitor ao tema através da justificativa para elaboração do trabalho, seus objetivos e a metodologia utilizada para o seu desenvolvimento.

O segundo capítulo aborda as particularidades do setor de construção civil, apresentando seus aspectos técnicos mais abrangentes, seus aspectos normativos e características principais.

O terceiro capítulo apresenta o método Seis Sigma através de sua conceituação e histórico, bem como os aspectos estratégicos e técnicos de sua fundamentação.

O quarto capítulo trata da implementação do método Seis Sigma em organizações, trazendo os aspectos principais para uma experiência bem sucedida, algumas das ferramentas da qualidade e estatísticas envolvidas. Seu enfoque principal resta na apresentação do conjunto de ferramentas DMAIC e DMADV/DFSS, as métricas e indicadores mais utilizados e os fatores críticos para o sucesso do método.

O quinto capítulo trata das experiências de implementação do Seis Sigma na construção de edificações segundo a literatura consultada, trazendo dois estudos de caso, a metodologia adotada pelos autores e as conclusões de seus estudos.

O sexto capítulo traz os aspectos técnicos e metodológicos para a implementação do Seis Sigma na construção de edificação, tratando das particularidades que condicionam o treinamento dentro das ferramentas e a identificação de oportunidades para programas de melhoria contínua.

O sétimo e último capítulo apresenta as considerações finais e análise de cada item apresentado ao longo do trabalho.

2. CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES

2.1. CONCEITUAÇÃO

Edificação é o nome dado às obras arquitetônicas civis, que se caracterizam por seu uso, aspectos construtivos e de ocupação. Grosso modo estas se dividem em edificações residenciais; comerciais ou industriais. A NBR 13531 – Elaboração de projeto de edificações (1995) define como edificação todo aquele produto constituído de elementos definidos e articulados, em conformidade com os princípios e as técnicas do urbanismo, de maneira que, ao integrar a microrregião, venha a desempenhar funções ambientais em níveis adequados previamente concebidos. (PINTO, 2016). Segundo Pinto (2016), podemos classificá-las como:

A. Edificações Residenciais:

São aquelas estruturas que abrigam pessoas. São exemplos de estruturas residenciais, além das residências unifamiliares os conjuntos habitacionais; condomínios e apartamentos.

B. Edificações Comerciais:

São aquelas estruturas que abrigam comércios, restaurantes e escritórios, podendo ser simples (único negócio) ou compostas, como por exemplo condomínios de negócio, shopping centers, entre outros.

C. Edificações Industriais

São aquelas estruturas onde se instalam unidades para fabricar, processar ou desenvolver produtos e materiais, sendo normalmente separadas de outras tipologias de edificações haja vista o risco à saúde humana e poluição. Também podem ser encontradas como unidades simples ou compostas.

2.2. BREVE HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES

A evolução da construção civil é um espelho da evolução das organizações sociais humanas. Com a congregação populacional em grupos cada vez maiores, cada qual dotado de convenções religiosas; sociais e hierárquicas próprias, converteram-se as necessidades básicas de abrigo do clima e do refúgio dos predadores num desejo de não apenas construir, mas construir de

maneira diferenciada: templos, túmulos, residências; cada qual dentro de suas importâncias funcionais e estéticas.

Os vestígios mais antigos do ato de construir remontam ao período Neolítico (10.000 AC – 4500 AC), junto do surgimento das primeiras experiências agrícolas e pecuárias, porém é no período Clássico (800 AC – 600 DC) que encontramos as raízes culturais mais relevantes para a construção civil moderna, resultado da busca pela preservação e registro das práticas e do conhecimento que se estenderam muito após o fim das primeiras grandes civilizações. São exemplos destas grandes civilizações o Antigo Egito, Grécia Antiga, Cartago, Roma e Fenícia, bem outras ainda mais antigas e nascidas entre os rios Tigre e Eufrates, como a civilização da Mesopotâmia. A civilização Ocidental moderna, num contexto histórico, é herdeira cultural do antigo Império Romano e do Mundo Grego, tendo suas fontes de conhecimento preservadas até os dias de hoje pelos esforços dos estudiosos medievais e renascentistas. (HANSEN, 2011)

A ciência da construção tem evoluído junto das ciências da natureza e dos materiais. Como ainda ocorre na era contemporânea, a construção era condicionada aos materiais e ferramentas disponíveis em cada local, de maneira que cada civilização desenvolveu técnicas próprias, em variados graus de refinamento. A exemplo cita-se o emprego pelos antigos romanos de um material semelhante ao concreto (“Opus caementicium”), enquanto na região do Levante simultaneamente eram utilizados blocos de adobe, um predecessor dos tijolos cerâmicos atuais, ou arenito como material principal., a exemplo das Figuras 1 e 2.



Figura 1 - Ruínas de Tel Tsaf, em Beit-She'an, Israel.

FONTE: Times of Israel 2014



Figura 2 - Cientista examina antigo pier romano, executado em concreto.

FONTE: BBC, 2017

Com o advento de ferramentas gráficas e analíticas para a compreensão e concepção de estruturas, pode-se compreender como os diversos materiais empregados se comportam quando submetidos à esforços solicitantes, concebendo à arte de construir um aspecto mais técnico que artesanal, mesmo que num período relativamente recente. Desta forma, a concepção de uma edificação tem tomado um aspecto cada vez mais técnico e fundamentado cientificamente onde antes havia a experiência e vivência pessoais, e as ações, os materiais e as práticas da construção foram normalizados, de forma a garantir padrões mínimos de desempenho e segurança. (HANSEN, 2011)

As mudanças das técnicas construtivas no decorrer do tempo são oriundas de diversos fatores, contudo todos estes são consequências de acontecimentos históricos que repercutiram em aspectos sociais, políticos e econômicos correntes, podendo citar-se as tendências arquitetônicas; as alterações políticas; as alterações sociais; as alterações econômicas; a “cientifização” das atividades e mesmo a sustentabilidade, num contexto mais atual. (SATO, 2011)

Considera-se que no Brasil a construção de forma científica se deu com a chegada dos primeiros colonizadores portugueses, sendo um dos mais antigos registros sobre a arte de construir datado de 1684, que consiste num manuscrito de autoria de um frei beneditino responsável pela

reforma de seu mosteiro (RIBEIRO, 2011), mas será somente com a chegada da família real portuguesa no ano de 1808 que surgirá a primeira escola de engenharia brasileira, a Real Academia Militar do Rio de Janeiro, herdeira intelectual e funcional da antiga Academia Real de Artilharia, Fortificação e Desenho, de 1792, sendo que ao contrário desta a primeira se destina à construção de obras civis e não somente militares.

Nesta academia eram formados os intelectuais militares habilitados para a execução de obras, atividade na qual os membros do Exército e da Marinha atuavam como executores e fiscalizadores das obras públicas no Império. Na segunda metade do século XIX, esta escola militar seria dividida em Escola Central, de 1858, e Escola de Aplicação do Exército, concretizando a divisão dos ensinamentos de engenharia civil e militar, sendo que em 1874, a Escola Central se transformou na Escola Polytechnica, passando ao domínio do Ministério do Império e funcionando no Largo do São Francisco, no centro do Rio. Hoje esta é a Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. (CAMPOS, 2012).

Nota-se ao decorrer da história brasileira a adoção de estilos e técnicas em defasagem em relação à matriz europeia, onde a importação de movimentos arquitetônicos resultando em muitos casos também a tropicalização de técnicas construtivas mais atuais, que viabilizem estas novas construções. Há contudo, uma diminuição drástica deste fenômeno de defasagem com a vinda de mão de obra mais qualificada junto aos movimentos imigratórios do século XIX, não sendo por acaso este o período de grandes obras de reformulação das maiores cidades brasileiras, alterando as condições técnicas e até mesmo sociais da mão de obra brasileira, que até este momento era predominantemente, mas não exclusivamente, escrava.

Passa a haver um grande intercâmbio de técnicas e experiências sobre a arte de construir, ficando a construção sob o controle dos chamados “mestres de obra”, jargão ainda atual na construção brasileira, responsáveis pela execução de todas as técnicas construtivas ainda de forma artesanal, sendo somente com a ampliação da atuação do profissional engenheiro civil que a solução de problemas técnicos construtivos passou a ter uma parcela de métodos e teorias científicas. (SATO, 2011)

Atualmente a construção de edificações brasileira é diversa. Enquanto há empreendimentos que empregam o estado da arte da construção, um sem número de edificações ainda são executadas de forma artesanal e com pouco ou nenhum controle tecnológico ou técnico, de forma regionalizada e com mão de obra ineficiente.

2.3. ELEMENTOS DE UMA EDIFICAÇÃO

As edificações são compostas por subsistemas cuja atuação conjunta permite não somente o soerguimento dos edifícios, mas também o uso específico característico esperado, durante a vida útil de projeto. Estes subsistemas podem ser sumarizados nos seguintes itens:

A. Fundações:

Compreendem a infraestrutura da edificação, sendo responsáveis por receber as cargas da superestrutura da edificação e distribuí-las no solo. Se dividem grosso modo em fundações diretas (ou rasas) e fundações profundas, sendo caracterizadas por Danziger (2014, apud PINTO, 2019) como:

- i. Fundação direta (ou rasa): Caracterizadas pela norma brasileira NBR 6122:2010 por terem profundidade de assentamento limitada a metade do tamanho da sua base e por transferirem as cargas para o terreno através das suas bases, sendo exemplos as sapatas, os radiers e os blocos de fundação.
- ii. Fundação profunda: Caracterizadas pela norma brasileira NBR 6122:2010 por transmitirem a carga para o terreno tanto pela sua base como pelas laterais, de forma uma ou simultânea, devendo-se ter uma profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em projeto e contando com uma profundidade mínima de 3 metros. São exemplos de fundações profundas as estacas e os tubulões.

B. Estruturas:

Compreendem os elementos que compõe o sistema de suporte das cargas de peso próprio, uso e ações sísmicas e de vento, sendo responsáveis pela estabilidade da edificação. Os elementos estruturais são as vigas, os pilares e as lajes, de variados tipos e designs, podendo ser estes

elementos executados em concreto armado, aço estrutural, e madeira, ou sistemas mistos entre estes.

C. Vedação:

São os elementos que fazem o fechamento dos vãos, internos e externos, da edificação, sendo sua principal função conferir um ambiente estanque à agentes como o ar, a chuva e o calor. Podem ser executados em alvenaria, *dry-wall*, placas cimentícias; gesso acartonado, entre outros materiais.

D. Coberturas:

São os elementos de fechamento superior da edificação, como telhados e forros.

E. Sistemas Mecânicos:

São os elementos que garantem as condições necessárias de saneamento, iluminação, força elétrica e conforto à edificação, São exemplos as instalações elétricas e hidráulicas; ar-condicionado; esgotamento sanitário etc.

2.4. MATERIAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Definem-se como materiais de construção de edificação todo e qualquer material que venha a ser utilizado na execução de qualquer produto da Engenharia Civil, podendo estes ser simples ou compostos, obtidos diretamente da natureza ou resultado de trabalho industrial e sem emprego estando condicionado à solidez, durabilidade, custo e acabamento desejado, de maneira a otimizar ou maximizar fatores relativos ao empreendimento, tais como seu desempenho e sua viabilidade econômica. (OLIVEIRA, 2015)

Atualmente utilizam-se como materiais para a construção de edificações:

A. Metais:

Ligas metálicas são usadas em todos os segmentos da construção civil, sendo caracterizadas por características físicas como brilho, opacidade, condutibilidade térmica e elétrica e dureza, razões pelas quais são amplamente utilizados em toda a cadeia produtiva da construção, desde fios condutores a elementos estruturais e de acabamento, sendo os metais mais largamente encontrados na construção o ferro, as ligas de cobre e as ligas de aço.

B. Cerâmicas:

Conjunto de materiais inorgânicos e não-metálicos obtido mediante o tratamento térmico de matérias-primas naturais (“cozimento”), que confere aos produtos alta estabilidade química, resistência à corrosão e ao calor. São exemplos de cerâmicas as telhas, os blocos, os tijolos e os revestimentos.

C. Agregados:

Agregados são materiais granulares pétreos, de origem diversa, sem forma ou volume definidos. São quimicamente inertes, obtidos por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia. São utilizados para a fabricação de argamassas, concretos de cimento e concretos betuminosos para pavimentação, além de outras aplicações.

D. Rochas:

Materiais naturais que além de serem empregados na construção civil também dão origem a outros materiais, tal qual areias, pedregulhos, brita, entre outros. As rochas mais comumente utilizadas para a construção de edificações são os granitos, os basaltos, os dioritos, os arenitos, os calcários e dolomitos, as ardósias, os quartzitos, os mármore e as gnaisses.

E. Aglomerantes:

Materiais empregados na construção civil com finalidade de fixar ou aglomerar outros materiais, sendo exemplos dos produtos compósitos dessa mistura as pastas; as argamassas e os concretos. Os aglomerantes mais comuns à construção civil são os gessos, a cal e o cimento.

F. Plásticos:

Materiais empregados na construção civil na execução de tubulações e sistemas hidráulicos, esquadrias e revestimentos, tendo por características principais a sua flexibilidade e durabilidade. É amplamente utilizado também como material de vedação e de isolamento acústico e térmico.

G. Vidros:

Materiais versáteis, empregados tanto por suas características estéticas quanto funcionais, sendo utilizados como elementos de vedação e divisórias, portas e janelas, guarda-corpos, coberturas, marquises e fachadas.

2.5. SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA EDIFICAÇÕES

As edificações podem ser executadas de maneiras diferentes, estando o ambiente a construir condicionado por fatores internos e externos aos processos executivos necessários. Quanto a estes aspectos limitantes cita-se a disponibilidade de materiais adequados, a natureza das solicitações de uso e estrutura das edificações, a qualidade da mão de obra e as condicionantes de prazo e custo, de maneira que haverá sempre uma difusão e variabilidade de técnicas construtivas em concordância com as limitações locais impostas, indo do processo mais defasado e artesanal ao estado da arte da construção.

Quanto aos sistemas construtivos mais comuns da construção civil, figuram em destaque:

- i. Estrutura metálica;
- ii. Estrutura em concreto armado e/ou protendido;
- iii. Alvenaria estrutural;
- iv. Elementos de concreto pré-moldado/pré-fabricado;
- v. Estrutura em madeira

2.6. PROJETOS DE EDIFICAÇÕES

A etapa de projeto na construção de edificações é de grande importância para o alcance dos objetivos reais e estratégicos do executor da construção por meio de seu potencial de influenciar e definir as características e assim desempenhando um papel de grande responsabilidade como otimizador dos processos de construção e como instrumento de aumento da satisfação dos usuários finais. (OLIVEIRA, 2005)

Manso (2003, apud. OLIVEIRA, 2005) estabelece que, dentre os diversos processos envolvidos na construção de um empreendimento imobiliário, o projeto é o processo que potencialmente gera os maiores impactos na cadeia de valor do empreendimento, haja vista que as soluções adotadas no desenvolver do projeto repercutirão em todos os demais processos executivos e financeiros da construção, definindo entre outros os detalhes construtivos e as especificações do produto, bem como influenciando na exequibilidade da construção, quer seja técnica ou econômica.

Segundo Oliveira et al. (2004, apud. OLIVEIRA, 2005), num sentido abrangente, um projeto na construção civil deve apresentar o design e as características físicas do produto em questão; deve permitir a introdução de inovações tecnológicas; promover a redução de patologias; garantir a qualidade, a racionalidade e a exequibilidade do empreendimento, gerando reflexos positivos na adequação ao uso e a redução dos prazos executivos e dos custos finais da obra, sempre alinhado com as melhores práticas de segurança e sustentabilidade.

Fabício (2002, apud PINTO, 2006) aponta que todo projeto terá suas peculiaridades sendo, portanto, único dentro das especificidades locais de implantação. Desta forma cada projeto apresentará características construtivas próprias e específicas que por sua vez demandarão subprojetos de especialidades diversas que reflitam toda a gama de informações necessárias para executar a construção. Justamente esta pluralidade de informações, em geral, ocasiona problemas entre as partes envolvidas, haja vista, em muitos casos, estarem espalhadas da forma desestruturada na realidade da execução das obras. Em paralelo a troca de fornecedores em função das etapas executivas e o dinamismo das relações entre os stakeholders também são fatores que tornam difícil a flexibilização do “processo projeto”, contribuindo também para dificuldades na troca de informações.

Com o avançar das etapas de projeto e execução diminui-se a possibilidade de preverem-se possíveis problemas em relação à execução das obras uma vez que certas falhas e incompatibilidades serão detectadas apenas durante a construção, aumentando-se a possibilidade de retrabalhos, quer sejam executivos ou relativos à projetos. Isso invariavelmente impactará negativamente na competitividade do empreendimento, onerando o executor e partes envolvidas em tempo custo, e diminuindo a qualidade do empreendimento num sentido geral. (PINTO, 2016)

No Brasil a elaboração de projetos de edificação é regida pelas normas técnicas NBR 13531/1995 e NBR 13532/1995, que definem as orientações para desenvolvimento dos elementos arquitetônicos de uma edificação, ficando os elementos técnicos sob a tutela de outros instrumentos normativos, de acordo com as necessidades específicas de cada tipo de edificação e os subsistemas inseridos nestas, gerando uma multiplicidade de projetos que devem, além de ser

compatíveis, também estabelecer de forma clara quem são os agentes responsáveis e quais são os recursos necessários para sua execução.

2.7. ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS

As edificações devem obrigatoriamente seguir a legislação e planejamento urbanístico das áreas metropolitanas em que estão inseridas, além das normativas a nível federal e estadual. No caso da cidade do Rio de Janeiro, Pinto (2019) estabelece que, baseado no Código de Obras e Edificações da Cidade do Rio de Janeiro (2013), e no Projeto de Lei Complementar Nº 43/2017 as edificações devem atender os seguintes instrumentos e normativas:

- i. Plano diretor
- ii. Lei de Uso e Ocupação do Solo - LUOS
- iii. Legislação de Uso e Ocupação do Solo Locais – PEUS
- iv. Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT
- v. Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho – MTB
- vi. Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico e demais regulamentos do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro –CBMERJ
- vii. Demais normas relacionadas ao uso específico da edificação

No Brasil, a norma técnica vigente para projeto de edificações é a NBR 13531 - Elaboração de Projetos de Edificações. Contudo, são aplicáveis quando necessário diversas outras, a citar a NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações, a NBR 6120 – Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações; NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios; NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira e NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto, entre outras.

Em especial para o trabalho que ora se apresenta, cita-se em destaque a NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais, que estabelece critérios e orientações para a promoção da sustentabilidade, habitabilidade e segurança nas edificações e traz para a concepção dos empreendimentos residenciais preocupações para com a expectativa de vida útil, o desempenho e a eficiência das edificações, contribuindo para a cadeia de valor e qualidade ao edifício, ou seja,

foca-se no uso dos elementos e subsistemas do edifício bem como no atendimento dos requisitos dos usuários, e não no dimensionamento e projeto de como os subsistemas são construídos.

No Quadro 1 são elencadas algumas das particularidades e critérios avaliados pela NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais.

Quadro 1 - Requisitos de desempenho de acordo com a NBR 15575.

Fonte: Adaptação por CAU-BR de ABNT NBR 15575 (2015)

Segurança	Segurança estrutural	Resistência mecânica e ações estáticas e dinâmicas; Efeitos climáticos (fadiga)
	Segurança contra incêndio	Risco de propagação de chamas; Efeitos fisiológicos (controle de fumaça e ventilação); Tempo de alarme; Tempo de evacuação; Tempo de sobrevivência;
	Segurança no uso e operação	Proteção contra explosões e queimaduras; Proteção contra movimentos mecânicos; Proteção contra choques elétricos; Proteção contra radioatividade; Segurança durante movimentos e circulação; Segurança contra intrusão humana ou animal
Habitabilidade	Estanqueidade	Estanqueidade à água; Estanqueidade ao ar; Controle de intrusão de poeira
	Desempenho térmico	Controle da temperatura do ar; Radiação térmica
	Desempenho acústico	Controle de ruídos; Inteligibilidade do som; Tempo de reverberação
	Desempenho lumínico	Controle da iluminação natural e artificial; Insolação; Nível de iluminância e contraste de luminância; Possibilidade de escurecimento; Aspectos de acabamento (cor, textura, regularidade);
	Saúde, higiene e qualidade do ar	Instalações para o cuidado do corpo humano; Suprimento de água limpa; Evacuação das águas servidas; Materiais e fumaça; Ventilação e controle de odores; Controle de gases tóxicos
	Funcionalidade e acessibilidade	Número; Tamanho; Geometria; Inter-relações dos espaços; Provisão de serviços e equipamentos; Flexibilidade

	Conforto tátil e antropodinâmico	Limitações de acelerações e vibrações; Aspecto de resistência e manobrabilidade humana; Aspereza e flexibilidade das superfícies; Umidade e temperatura nas superfícies; Ausência de descargas de eletricidade estática
Sustentabilidade	Durabilidade	Conservação do desempenho durante toda vida útil
	Manutenibilidade	Possibilidade de manutenção e reposição.
	Adequação ambiental	Minimizar alterações, Impactos ambientais durante o ciclo de vida da edificação; Consumo de recursos naturais.

3. O MÉTODO SEIS SIGMA (6 σ)

3.1. CONCEITUAÇÃO

O método Seis Sigma consiste num conjunto de ferramentas estatísticas e de qualidade cujo emprego objetiva alcançar maiores e melhores patamares de desempenho nos processos de uma organização ou projeto principalmente através do controle e monitoramento dos resultados a cada etapa do processo. Este método promove um ambiente de melhoria contínua dos processos produtivos, entre outros, através do alinhamento dos resultados com a expectativa dos clientes, do treinamento contínuo em ferramentas estatísticas e de qualidade e na criação de uma cultura de trabalho que agregue valor à cadeia de processos de uma organização ou projeto, minimizando perdas e maximizando a qualidade conforme percebida pelos stakeholders. Este é um conjunto de ferramentas adaptável às necessidades de qualquer organização, com soluções aplicáveis a todos os níveis, tendo incorporado ao corpo de conhecimentos aspectos de gerenciamento de projetos, manufatura enxuta, controle estatístico de processos e gestão da qualidade.

Nas seções subsequentes deste capítulo se verá que este método, enquanto atual, é uma releitura de técnicas e conceitos que remontam aos primeiros gurus da qualidade, em especial aos trabalhos de W. Deming e seus contemporâneos no Japão e nos EUA, bem como se definirá os passos para sua implementação, ilustrando suas principais características estratégicas e sua fundamentação teórica.

3.2. ASPECTOS HISTÓRICOS

O esboço do que eventualmente viria a ser conhecido como “Método Seis Sigma” foi inicialmente desenvolvido e implementado pela Motorola Corporation, no início da década de 80, após uma série de reveses comerciais relacionados à uma das submarcas de televisores do grupo, a Quasar Electronics Incorporated, que ensejaram mudanças na organização (PYZDEK, 2003). Esta submarca fora operada por algum tempo pela Motorola, tendo sido revendida em 1974 para a

empresa Matsushita, um *zaibatsu*² japonês, que promoveu uma profunda reformulação dos processos fabris da linha de produção dos aparelhos televisores da Quasar através da aplicação da Gestão da Qualidade Total (“TQM”), reduzindo drasticamente os índices de perdas e sobrecustos operacionais, tais como:

- a. Custos com garantia de produtos diminuíram de U\$\$ 22 M para U\$\$ 3.2 MM;
- b. Taxa de rejeição pelo consumidor diminuiu de 140% para 6%
- c. Aumento de produtividade em 30%;
- d. Diminuição de retrabalhos em 75%;
- e. Aumento da linha de produção em 100%.

A implementação de nova gestão pela Matsushita proporcionara à marca um salto de produtividade sem precedentes até aquele momento, agregando aos seus produtos aquilo que se pode definir como qualidade. O conceito de “qualidade”, tal qual “produtividade”, também possui muitas interpretações, adotando o presente trabalho aquelas entendidas segundo o PMBOK³ (2017), onde é definida das seguintes formas:

- a. A capacidade de um dito serviço ou produto de satisfazer as finalidades esperadas ou atestadas pelo fabricante/prestador de serviço;
- b. A conformidade de um dito produto ou serviço para com as normas e diretrizes do fabricante/prestador de serviço;
- c. A percepção de um consumidor/tomador de serviço acerca do quão aderente às suas expectativas, muitas vezes subjetivas, um dado produto ou serviço é.

De fato, a mudança dos padrões de qualidade e de valor sobre a marca promovidos pela Matsushita, uma empresa de menor porte quando comparada ao fabricante original, alterou a própria percepção do consumidor acerca da Motorola enquanto fabricante de eletroeletrônicos, que

² Zaibatsu: Termo japonês que designa os conglomerados industriais familiares.

³ PMBOK – “*Project Management Body of Knowledge*”: Conjunto de práticas na gestão de projetos organizado pelo instituto PMI e é considerado a base do conhecimento sobre gestão de projetos por profissionais da área

somados à perda de *marketshare* da Motorola teria instado o seu então COO (“*Chief Operations Officer*”), William J. Weisz, a promover uma revolução operacional nos métodos empregados pela empresa, adotando os conceitos da Gestão de Qualidade Total inteiramente.

É necessário salientar que muitos dos conceitos-chave que hoje são inerentes ao método Seis Sigma já vinham sendo aplicados por outras organizações com variados graus de sucesso. As mais relevantes experiências para o que se discute no presente trabalho remontam aos anos de 1950, no Japão do pós-guerra e no contexto do forte intercâmbio cultural entre japoneses e americanos por conta do Plano Marshall. Através da orientação mútua e troca de experiências entre as lideranças empresariais japonesas e ocidentais, experimentou-se uma forte mudança de consciência em relação aos conceitos de qualidade e gestão da qualidade. Dentre estes ocidentais, talvez a figura mais relevante seja a do americano W. Edward Deming, um dos primeiros proponentes do controle estatístico sobre processos produtivos (“CEP”) e treinamento de lideranças focados em “*problem-solving*” (“resolução de problemas”, em livre tradução). Deming era da opinião que 85% de todos os problemas relacionados à qualidade eram resultados das decisões gerenciais, e por esta razão deveriam ser justamente os gestores os primeiros buscar realizar nas organizações as mudanças conceituais necessárias que pudessem viabilizar minimamente implementarem-se procedimentos e práticas para sua melhoria. (PYZDEK, 2003)

Estes conceitos seriam sintetizados de forma abrangente nos seus “14 Pontos para a Gestão da Qualidade Total”, que só viriam a ser formalmente disponibilizados para o grande público no seu livro “*Out of the Crisis*”, de 1982. São eles:

1. Criar uma mentalidade de necessidade de melhoria dos produtos e serviços, e acreditar no propósito dela;
2. Abraçar esta nova mentalidade;
3. Abandonar a necessidade de inspeção sobre atividades para obtenção da qualidade;
4. Abandonar a prática de adotar relações comerciais com fornecedores apenas sobre o critério de menor preço, buscando reduzir custos com um único fornecedor;

5. Melhorar continuamente e indefinidamente todo e qualquer processo de planejamento, produção e serviço;
6. Instituir treinamentos no local de trabalho;
7. Criar lideranças;
8. Eliminar medos e receios na organização;
9. Eliminar barreiras entre setores da organização;
10. Eliminar *slogans*, frases de efeito e objetivos diversos para a força de trabalho dentro da organização;
11. Eliminar quotas de produção para a força de trabalho na planta e metas numéricas para a gerência;
12. Acabar com elementos que promovam a diminuição do orgulho sobre o trabalho executado, bem como sistemas de mérito, avaliações anuais, entre outros;
13. Instituir programas de educação continuada e melhoria pessoal para todos na organização;
14. Instituir a obrigatoriedade da contribuição individual de todos na organização para promover estas transformações.

Paralelamente, Deming também ressaltou os comportamentos que considerava nocivos à perpetuação das organizações, formulando o que vieram a ser conhecidos como “doenças mortais” (*Demings Deadly Diseases*). São eles:

1. Falta de propósito;
2. Foco em lucros de curto-prazo;
3. Avaliações de performance individual, avaliações anuais, premiações por mérito;
4. Gestão intermitente;
5. Filosofia de gestão pautada apenas no aspecto financeiro do negócio;
6. Gastos excessivos com saúde;
7. Gastos excessivos com riscos do negócio.

Como se verá em seções subsequentes deste trabalho, estes aspectos gerenciais formulados por Deming, aliados às ferramentas estatísticas, formaram a base conceitual para o

Método Seis Sigma. Contudo, Deming não foi o único proponente desta visão, sendo importante apontar que as organizações japonesas já possuíam larga bagagem cultural em relação à gestão da qualidade e têm historicamente se mantido como uma das forças maiores que impulsionam a busca pela qualidade industrial, sendo inclusive responsáveis pelo desenvolvimento de diversas das ferramentas e metodologias mais difundidas. Pode-se citar em listagem breve e não-exaustiva o “Kaizen⁴”; o “Just-in-Time”, o “LEAN”, o “Sistema Toyota” e o “GPD” (Gerenciamento pelas Diretrizes), dentre outras.

A mais reconhecida e citada inspiração de Deming foi seu contemporâneo Walter Shewhart, o primeiro a aplicar controle estatístico sobre processos industriais, de maneira que seu mundialmente reconhecido “ciclo de Shewhart” ou “ciclo PDCA” é renomeado por vezes como “roda de Deming” haja vista sua utilização por ele nas suas publicações, apesar de Deming sempre ter remetido a concepção desta ferramenta ao primeiro.

Outras fontes de inspiração foram Joseph M. Juran; Phillip B. Crosby, Genichi Taguchi, e Kaoru Ishikawa, todos considerados precursores da gestão da qualidade, e formuladores de metodologias, práticas e ferramentas próprias difundidas na indústria e academia. Muitas destas ferramentas e práticas hoje foram incluídas no corpo de conhecimento que compõe o Seis Sigma, a citar:

- a. **Joseph M. Juran:** Trouxe os aspectos do planejamento e desenvolvimento estratégico nos sistemas de gestão da qualidade. Contribuiu ao corpo de conhecimento, entre outros, com o seu Diagrama de Pareto;
- b. **Kaoru Ishikawa:** Trouxe os aspectos de treinamento extensivo dos funcionários e enfoque no consumidor/cliente. Contribuiu ao corpo de conhecimento, entre outros, com o seu Diagrama de Ishikawa;

⁴ Kaizen: Do japonês, “melhoria” ou “mudança para melhor”

- c. **Genichi Taguchi:** Desenvolveu o método Taguchi e o conceito de Projeto Robusto. Contribuiu extensamente para com o desenvolvimento de *design* da qualidade, que veio a influenciar o futuro “DFSS” – “*Design for Six Sigma*”.

O Método Seis Sigma se resumiria, portanto, em uma visão holística de como a organização deve se comportar.

Até meados da década seguinte, contudo, esta visão inovadora seria abraçada e implementada apenas pela organização que a criara. Eventualmente, em 1995 a GE - General Electric, através de Jack Welch (seu então CEO – “*Chief Executive Officer*”), também passaria a aplicar princípios Seis Sigma na melhoria da qualidade e da eficiência econômica de processos.

Poucos anos depois, em 1999, a Ford Motor Company seria outra grande organização a abraçar esta metodologia e desde então muitas outras organizações têm buscado alcançar a excelência mediante a adoção de princípios Seis Sigma, ensejando a publicação de trabalhos acadêmicos e estudos de caso tratando da aplicabilidade de Seis Sigma em indústrias complexas, tal qual a indústria da construção civil, identificando áreas de oportunidade para melhoria de sua performance. Segundo Jesus (2015), hoje muitas das empresas listadas na Fortune 500 adotaram estas práticas em suas organizações.

Como é comum à todas as ciências, as práticas de gestão evoluem e englobam conhecimentos; técnicas e conceitos, de maneira a melhor atender as demandas por melhores e mais novas tecnologias e serviços, e com o corpo de conhecimento do Método Seis Sigma não é diferente. Cada indústria e cada consultor que vinham a implementar o método invariavelmente viriam também a ensejar o desenvolvimento de novas visões para sua aplicação, expandindo o escopo de funcionalidades da metodologia e transformando o que inicialmente fora concebido para redução de variabilidade através da medida de um parâmetro único por processo para uma visão

⁵ Fortune 500 é uma lista anual compilada e publicada pela revista Fortune que contém a 500 maiores corporações dos Estados Unidos por receita total em seus respectivos anos fiscais. A lista inclui tanto empresas de capital aberto quanto empresas privadas

holística de toda a cadeia produtiva, focando não apenas em otimizar mas também em alcançar novos patamares de performance e qualidade.

Como atesta Jesus (2015), hoje são conhecidas três fases distintas de desenvolvimento do corpo de conhecimentos do Seis Sigma:

- A. **1ª Geração** (1987-1994): Foco na redução de defeitos, sendo o maior estudo de caso o da própria empresa *Motorola*, fabricante de eletroeletrônicos;
- B. **2ª Geração** (1994-2000): Foco na redução de custos, sendo os maiores estudos de caso os da General Electric; da petroquímica DuPont e da fabricante de eletroeletrônicos HoneyWell;
- C. **3ª Geração** (2000-Atualidade): Foco em gerar valor para os seus clientes e para a organização. São considerados os maiores casos de estudo as da siderúrgica Posco e da fabricante de dispositivos e eletroeletrônicos Samsung.

Hoje o corpo de conhecimento abarcado pelo Método Seis Sigma é consideravelmente mais extenso que quando inicialmente concebido, tendo ao longo dos anos agregado diversas ferramentas e práticas. Estas serão identificadas em capítulo posterior deste trabalho.

3.3. A ABORDAGEM ESTATÍSTICA DO MÉTODO SEIS SIGMA

O Método Seis Sigma tem sua fundamentação no emprego de ferramentas estatísticas para medição e controle de processos dentro de um projeto ou organização. Ao conjunto de ferramentas envolvidos, no contexto da gestão da qualidade, é dado o nome abrangente “controle estatístico de processos”, e este remonta aos primeiros especialistas da qualidade como Deming e Shewhart. Desde sua concepção o controle estatístico de processos tem sido, como afirmado em capítulo anterior, um conceito central à filosofia da Gestão da Qualidade Total, se traduzindo em uma ferramenta de monitoramento e gestão que visa controlar e garantir que um determinado processo seja mantido dentro do nível de performance considerado ideal.

A principal vantagem para as organizações ao adotarem uma metodologia de controle estatístico é dispor de um instrumento que permite monitorar o desempenho dos processos, apoiando ações de melhoria focadas no atendimento de metas quantitativas objetivas. Para tal, trabalha-se com dois tipos de tomada de dados estatísticos: estatística descritiva e estatística

inferencial, onde resumidamente a primeira pode ser definida como a tentativa de descrever conjuntos de dados discretos analisados e a segunda busca indutivamente expandir as constatações obtidas de amostras de dados para um contexto mais amplo.

Apesar de diferentes, estas duas escolas dividem muitas das ferramentas e medidas utilizadas para seu emprego, tanto numéricas quanto gráficas. Nas diversas aplicações da metodologia de controle estatístico de processo nota-se que algumas destas ferramentas são mais amplamente utilizadas que outras. Isto ocorre justamente em função do tipo de tomada de dados e natureza das medidas utilizadas, que se relacionam quase que na totalidade dos casos com dois conceitos: tendência e dispersão.

Entenda-se tendência como o valor central para uma distribuição de probabilidades, e se traduz na maioria dos casos nas medidas para média, mediana e moda, onde:

- i. **Média (μ):** Corresponde à soma de todas as medidas de uma série de dados, divididos pelo total de medidas tomadas. É definida pela fórmula:

$$\mu = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_N}{N}$$

- ii. **Mediana:** Corresponde à medida situada no meio de uma distribuição de dados ou, no caso de uma distribuição com número ímpar de elementos, na média dos dois valores centrais.
- iii. **Moda:** Corresponde ao valor que mais frequentemente se repete em uma série.

O conceito de dispersão busca exprimir como um conjunto de medidas se relaciona à uma medida de tendência central, em termos de aproximação ou afastamento em uma distribuição. Essas medidas são comumente expostas em termos de amplitude; desvio-médio; desvio-padrão, variância e covariância, onde:

- iv. **Desvio-Padrão (σ):** Corresponde em estatística à dispersão de uma medida em relação à tendência central. É o parâmetro mais importante em termos da compreensão e aplicação da metodologia Seis Sigma, inclusive conferindo nome ao método. Se define pela fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

- v. **Amplitude:** Corresponde à diferença entre o maior e menor dos valores tomados em uma distribuição.
- vi. **Desvio-Médio:** Corresponde à média das distâncias entre cada dado medido e a média de uma distribuição, sendo um indicativo da variabilidade dos dados.
- vii. **Variância:** Em estatística corresponde à medida de distância entre o valor médio de uma distribuição (moda, mediana, média) e os demais valores de um conjunto de dados de uma distribuição. Equivale ao quadrado do desvio-padrão.
- viii. **Covariância:** Em estatística é um indicativo da relação linear entre duas variáveis distintas, ou distribuições de variáveis distintas correlacionadas.

O emprego destes conceitos sobre processos produtivos fundamentalmente busca reduzir variabilidades e trazer os resultados para valores esperados mais próximos de um benchmark ou tendência desejada. Para tal, Shewhart inicialmente propusera o emprego de “Planilhas de Controle de Qualidade”, conforme ilustrado pela Figura 3, onde encontram-se plotadas em um quadro de três eixos (superior, central e inferior) as medidas das modas de um determinado processo após a implementação de ferramentas de controle estatístico e a medida obtida para moda anterior à esta implementação no eixo central. O objetivo é acompanhar como estas medidas se localizam graficamente em relação ao intervalo de $\pm 3\sigma$ de variabilidade em relação às medidas para a moda originais.

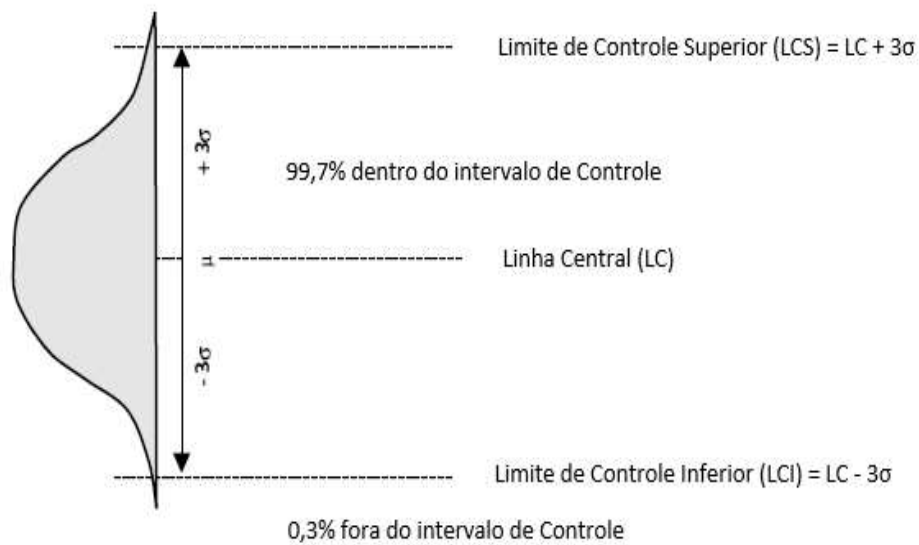


Figura 3 - Planilha de Controle de Qualidade de Shewhart, adaptado pelo autor de www.pmi.org

No corpo de trabalho do Seis Sigma a fundamentação estatística para redução de variabilidades emprega os mesmos conceitos básicos sobre uma distribuição de probabilidade (ou função densidade de probabilidade) dos valores reais de uma variável contínua, ou seja, analisa estatisticamente as medidas tomadas sobre os infinitos resultados possíveis para as atividades e processos de uma organização.

A função de densidade de probabilidade mais utilizada em análises deste tipo a chamada “Distribuição Normal”, ou “Distribuição Normal de Gauss”, e seu emprego é particularmente interessante haja vista possuir apenas dois parâmetros de análise (média e desvio-padrão); ser adequada para análise de variáveis contínuas e distribuições simétricas; e correlacionar os dois critérios essenciais ao controle estatístico, quais sejam, o padrão desejado e a dispersão dos resultados em relação à ele.

Esta dispersão é mais facilmente ilustrável pelo que é conhecido em estatística como a “Regra do 68-95-99.7” ou “Regra Empírica”, conforme demonstrado na Figura 4, que define que 68% dos valores observados estarão dentro de 1 desvio-padrão em cada direção (1σ); 95% dos

valores observados estarão dentro de 2 desvios-padrão em cada direção (2σ); e 99,7% dos valores observados estarão dentro de 3 desvios-padrão em cada direção (3σ).

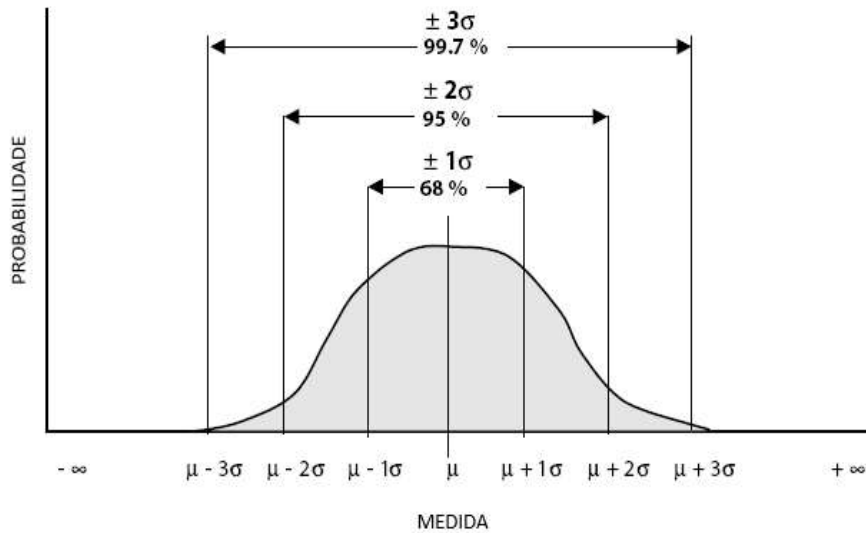


Figura 4 - "Regra Empírica", adaptado pelo autor de www.pmi.org

A métrica mais utilizada para promover estas ações de controle estatístico e redução de variabilidade consiste na medida de "DPMO" — Defeitos por Milhões de Oportunidade (*Defects per Million Opportunities*, em livre tradução) método ora discutido busca atingir o nível de sigma igual a 6, onde é esperado um DPMO de 3,4, ou seja, 3,4 defeitos a cada milhão de oportunidades, uma eficiência de 99,9997%, conforme ilustrado na Tabela 2 e Figura 5 a seguir:

Tabela 2 - Níveis Sigma por DPMO, adaptado pelo autor de "The Lean Six-Sigma Black Belt Handbook"

Nível de σ	DPMO	Eficiência (%)
1	690.000,00	30,90%
2	308.537,00	62,20%
3	66.807,00	93,20%
4	6.210,00	99,40%
5	233,00	99,98%
6	3,40	99,9997%

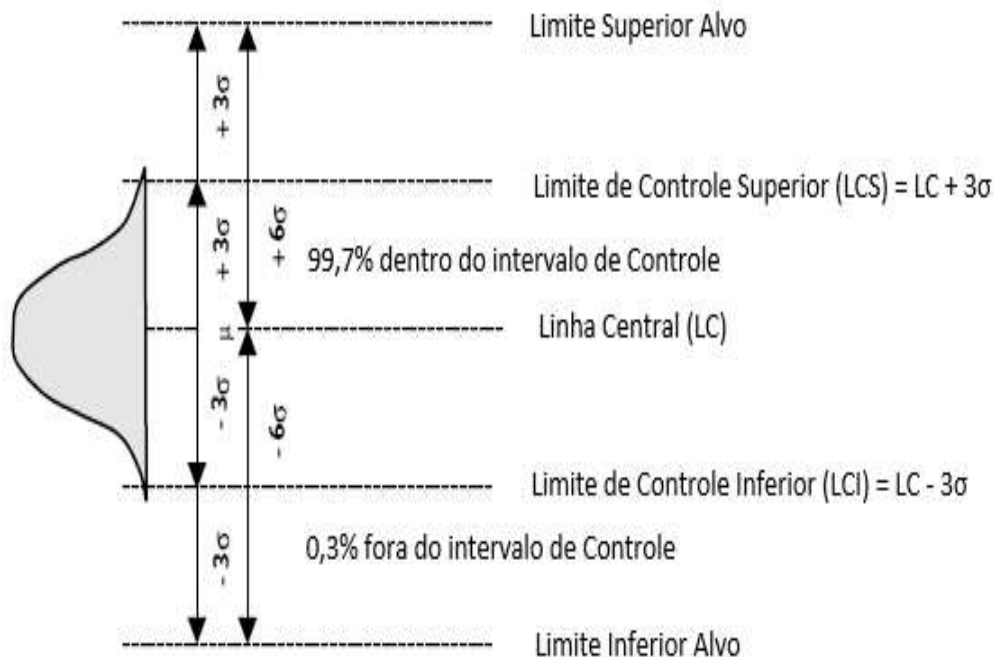


Figura 5 - Planilha de Controle de Qualidade para o 6σ, adaptado pelo autor de www.pmi.org

De fato, poucas são as indústrias que conseguem operar em nível de performance próximo ao 6σ, sendo mais comum empresas operarem em nível de performance entre 3σ e 3.8σ, correspondendo a 68.807 oportunidades de defeitos por cada milhão de oportunidades. (JESUS, 2015)

3.4. A ABORDAGEM ESTRATÉGICA DO MÉTODO SEIS SIGMA

A essência do Método Seis Sigma se fundamenta na formação de uma cultura de melhoria contínua nos processos produtivos, o que remete a mudanças na mentalidade da organização em todos os seus níveis. Para alcançar estes objetivos, estrategicamente é necessário que sejam pontos focais da atenção da organização o planejamento e estruturação da implementação do sistema de forma paulatina e programática. Segundo Pyzdek (2003) isso se traduz em:

- a. Treinamento da liderança sênior nas ferramentas, práticas e filosofias do método;
- b. Aprimoramento das relações com consumidores/clientes, fornecedores e funcionários;
- c. Identificação de entraves nas comunicações internas e externas à organização;

- d. Instituição de treinamentos de funcionários na metodologia, de acordo com nível hierárquico;
- e. Estabelecimento de um *framework* para melhoria contínua de ditos processos, com identificação clara de metas e objetivos estratégicos;
- f. Formação de equipes multidisciplinares e estratificadas hierarquicamente que promovam a busca pelo atingimento deste *framework* e cultura de trabalho.

O foco principal do Método Seis Sigma está na redução da variabilidade de processos produtivos e/ou serviços, promovendo um aumento de eficácia e eficiência da organização e diminuição de perdas, quer sejam estes representados pelo desperdício de recursos, de tempo ou receitas financeiras. Isto demanda uma integralidade de ações em todos os níveis hierárquicos da organização, com o emprego de mais de uma centena de ferramentas gerenciais e estatísticas. Shigeo Shingo definiu o termo “processo” como um ato de criação de valor inerente à transformação de recursos materiais e humanos em produtos ou serviços, e esta é a definição adotada por este trabalho.

Contudo, a aplicação destas práticas e ferramentas levam tempo e ocorrem de forma simultânea à própria atividade econômica da organização, o que em termos estratégicos é considerado uma fraqueza do método, fato apontado por Antony (2004) e Salah et al (2010). Estes autores identificaram que enquanto o método busca utilizar ferramentas estatísticas e gerenciais para otimizar os processos da organização através da redução da variabilidade, ele não ataca à curto prazo as questões consideradas essenciais ao cliente no que tange suas expectativas, tais como prazos de processamento e entrega.

Segundo Antony (2004) há oportunidades presentes, e haverá outras mais no futuro, para adaptações estratégicas que promovam soluções customizadas para cada demanda do mercado. Uma destas estratégias, talvez a mais relevante, seja hoje encontrada na incorporação de aspectos LEAN dentro da metodologia Seis Sigma. LEAN é um herdeiro filosófico e uma evolução das metodologias “Just-in-Time”, sistema de gestão onde é determinada uma hora exata para todas as atividades da cadeia produtiva e cuja concepção é creditada à Toyota Motor Corporation, sendo inclusive tratada em algumas publicações por “TPS” – Toyota Production System (“Sistema de Produção Toyota”), e tendo como seu precursor Taiichi Ohno, um dos gurus da qualidade industrial.

A filosofia LEAN, sinônimo tanto para “Lean Manufacturing” (Manufatura Enxuta) e “Lean Thinking” (Mentalidade Enxuta), é pautada na identificação e eliminação de desperdícios nos processos produtivos da organização, podendo estes ser tanto de natureza quantitativa quanto qualitativa e definidos em três termos de origem japonesa: muda⁶; mura⁷ e muri⁸. Outra definição de desperdício é oferecida através do conceito de qualidade por Pyzdek (2003), que afirma existir duas dimensões distintas para a qualidade: qualidade potencial, que se traduz como o valor máximo possível a agregar por oportunidade (“valor perfeito”) dentro dos recursos disponíveis; e qualidade real que seria o valor agregado presentemente manifestado. A diferença destas seria equivalente ao desperdício, ou seja, a incapacidade de transformar esta potencialidade em valor real.

Os conceitos de mitigação do desperdício na filosofia LEAN remetem aos sete tipos de desperdício conforme percebidos por Ohno é possível sumarizar estes desperdícios em sete tipologias distintas:

1. Defeitos de fabricação;
2. Produção excessiva de mercadorias desnecessárias;
3. Estoques desnecessários aguardando processamento;
4. Processamentos desnecessários;
5. Trânsito e movimentação desnecessária de pessoas;
6. Transporte desnecessário de mercadorias;
7. Ociosidade

Como existe na ocorrência destes desperdícios um aspecto comportamental inerente à organização, muitas vezes sua ocorrência se dá de maneira despercebida. Para combater esta relação viciosa o sistema LEAN procura então instituir na organização uma filosofia de atenção para

⁶ *Muda*: Do japonês, “o que excede”. Adaptado de “*The Lean Six-Sigma Black-Belt Handbook*”

⁷ *Mura*: Do japonês, “o que é irregular”. Adaptado de “*The Lean Six-Sigma Black-Belt Handbook*”

⁸ *Muri*: Do japonês, “o que é extenuante”. Adaptado de “*The Lean Six-Sigma Black-Belt Handbook*”

com a cadeia de valor do produto ou serviço ofertado, ou seja, pautar-se sempre na performance dos processos da organização do momento da solicitação do produto ou serviço até o momento em que o consumidor recebe dito produto ou serviço, necessariamente de forma sistemática e padronizada, sempre focada na agregação de valor ao ofertado sob o ponto de vista do consumidor. Entende-se por valor toda característica própria, adicionada ou não, ao produto e serviço que o tornem mais atraentes ao consumidor, a exemplo da definição oferecida pelo “The Lean Six-Sigma Black-Belt Handbook”.

Uma organização que opera com conceitos LEAN, portanto, pode ser caracterizada como uma organização que procura entender como sua cadeia produtiva pode ser otimizada para agregar valor ao consumidor final com desperdício nulo, o que se traduz em menores tempos de processamento; menores prazos de entrega; menor consumo de recursos materiais e humanos e, logicamente, menores custos, o que torna interessante sua aplicação em conjunto ao Método Seis Sigma e sendo notória a correlação entre os dois métodos (JOUR et al, 2010).

A combinação destas duas metodologias pode ser descrita como um conjunto de ferramentas e práticas que busca reduzir desperdícios e variabilidade de processos. Apesar de muitas destas ferramentas serem comuns às duas metodologias originais, o potencial para otimização dos processos organizacionais quando aplicadas de forma sinérgica e a maneira são capazes de provocar mudanças na organização faz com que esta combinação seja considerada uma metodologia diferente, e que vem sendo aplicada desde o início dos anos 2000 sob termos diferentes: Sheridan (2010, apud PYZDEK, 2003) a descreveu sob o nome de “Lean Sigma”; a empresa HoneyWell o faz sob o nome de “Sigma Plus” (KOVACH et al 2005, apud PYZDEK 2003), enquanto outras organizações mantêm o termo “Six-Sigma”. Contudo, o termo mais amplamente utilizado é “LSS” ou “Lean Six-Sigma”.

Pyzdek (2003) afirma que toda organização e todo negócio que possua alguma de variabilidade nos seus processos produtivos certamente irá encontrar resultados positivos com a aplicação do Método Seis Sigma, sob condição que esta variabilidade esteja respaldada em dados empíricos tomados adequadamente e analisados adequadamente, ou seja, dentro de um bom

modelo de tomada medidas. Contudo, organizações diferentes, sob demandas de mercado diferentes e em indústrias diferentes não poderiam encontrar solução única para esta modelagem.

A solução estratégica para o planejamento deste modelo de tomada de medidas que melhor define o método segundo este autor já havia sido proposta por Rose (1995, apud PYZDEK, 2003), que entendia ser adequado todo planejamento estratégico para adoção de modelo de tomada de medidas que apresentasse as seguintes características:

- a. Ser focado nas expectativas do consumidor/cliente e na cadeia de valor do produto ou serviço, ou seja, buscar indicadores que ilustrem a qualidade como percebida pelo consumidor/cliente tal como manutenibilidade e confiabilidade do produto ou serviço; cumprimento de prazos, entre outros;
- b. Apresentar leituras que permitam observar a evolução das medidas em uma série temporal, indicando tendências e não apenas sendo um registro momentâneo dos processos;
- c. Trazer informações diretas sobre o processo analisado;
- d. Ser relacionados com a estratégia de negócio, visão e valores da organização, representando parâmetros cuja análise contribua para a direção e controle da qualidade dos processos; e através de leituras obtidas por equipes multidisciplinares, em esforço colaborativo.

O planejamento estratégico ideal para obtenção de medidas de performance em uma organização segundo esta lógica foi apresentado em Pyzdek (2003) como o “Processo de 8 Etapas de Rose”, em livre tradução do inglês. São eles:

1. *“Performance Category” – “Identificação de categorias de performance”*: Etapa onde são definidas as *categorias de performance* que melhor descrevem a organização no nível de processo que se pretende medir, muitas vezes sendo identificadas mais de uma categoria por organização. Estão fortemente correlacionadas com a visão, missão e valores da companhia e, portando, à própria atividade economia.
2. *“Performance Goals” – “Estabelecimento de metas para performance”*: Etapa onde são definidas as *metas operacionais* para as categorias de performance da Etapa 1. Cada meta

terá um ou mais *indicadores de performance*, e cada indicador deverá contar uma definição operacional. Por esta razão devem ser estabelecidas de forma clara e orientativa.

3. *“Performance Indicator” – “Acompanhamento dos indicadores de performance”*: Etapa onde efetivamente é identificado o progresso alcançado em relação às metas estabelecidas. Nesta etapa são descartadas as medidas sobre indicadores que não contribuem para as metas organizacionais definidas.
4. *“Elements of Measure” – “Compilação dos elementos de medida”*: Etapa onde são tratadas as informações básicas obtidas (dados) que indicam o quão bem os indicadores da organização se comportam em relação às metas, e que são inerente aos seus processos internos, ou seja, dizem respeito aos fatores que se encontram sob controle da organização.
5. *“Parameters” – “Identificação de outros parâmetros”*: Etapa de identificação dos parâmetros externos à organização, fora de seu controle, mas que possam ser relevantes à análise dos dados a colher.
6. *“Means of Measurements” – “Contextualização das informações obtidas”*: Nesta etapa são interpretadas todas as informações obtidas nas etapas anteriores, e define-se como provocar ações que levem ao atingimento das metas estabelecidas para o processo/organização.
7. *“Notional Metrics – “Métricas conceituais”*: Etapa onde são discutidas as interpretações da etapa anterior, e onde há oportunidade de serem discutidas métricas alternativas às aplicadas, mesmo que conceitualmente. Nesta etapa busca-se o consenso nos níveis da organização sobre a aderência da metodologia até então empregada para atingimento de metas.
8. *“Specific Metrics” – “Especificação das métricas”*: Etapa final, onde registra-se de forma definitiva o tipo de dados que se espera colher, a forma ideal para sua obtenção, qual seu significado, como serão utilizados, o que efetivamente significam e como afetam a organização.

Considerado o exposto, pode-se definir que a abordagem estratégica para alcance dos objetivos pautados do Método Seis Sigma consiste:

- i. Na identificação dos fatores chave para sua implementação através da instituição de uma visão por uma liderança treinada na metodologia e que promova mudanças na organização;
- ii. Na instituição de treinamentos extensivos sobre os temas da qualidade no quadro de funcionários da organização;
- iii. No estabelecimento de metas e objetivos claros e reais;
- iv. Na identificação das melhores métricas e indicadores que descrevam os processos da organização
- v. Na interpretação destas métricas e indicadores, bem como fatores internos e externos à organização, que impactem o atingimento das suas metas e objetivos;
- vi. No controle estatístico destas métricas;
- vii. Na constante identificação com o propósito da melhoria contínua, em todos os níveis organizacionais; sempre com foco no consumidor/cliente e buscando agregar máximo valor à cadeia produtiva com o menor emprego de recursos possíveis.

4. A IMPLEMENTAÇÃO DO SEIS SIGMA NA ORGANIZAÇÃO

4.1. ASPECTOS GERAIS

O Método Seis Sigma envolve uma gama de ferramentas estatísticas e de gestão da qualidade, algumas das quais vêm sendo usadas há décadas e são comuns a outras metodologias e sistemas de gestão, inclusive mais antigas que este. O diferencial do Seis Sigma em relação à estas outras metodologias, e razão primária pela qual o método foi considerado inovador na sua concepção, se resume em dois pontos: (i) estas ferramentas são aplicadas de maneira bem definida e sinérgica para obtenção da melhoria contínua; e (ii) são aplicadas em projetos reais objetivando metas atingíveis à organização, através de regimes intensos de treinamento e atuação dedicada de membros da equipe. (PYZDEK, 2003)

4.2. METODOLOGIA DMAIC PARA PROCESSOS EXISTENTES

4.2.1. CONCEPÇÃO E OBJETIVOS

A ferramenta de controle de performance mais comumente encontrada no Seis Sigma é o DMAIC - “Define, Measure, Analyze, Improve, Control”, ou adaptado para o português DMAMC – “Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar”. Este é o modelo para o planejamento da melhoria contínua de forma econômica e dentro de prazos ideais que é, contudo, aplicável somente em casos em que as metas já definidas sejam atingíveis através do aprimoramento de processos já existentes dentro da organização.

A aplicação do DMAIC objetiva alcançar o controle estatístico de um processo, ou conjunto de processos, trazendo-as para um patamar de qualidade em nível sigma igual a 6, ou seja, com um intervalo de controle de 99,7% dos resultados projetados. Para tal, são empregadas ferramentas de controle estatístico e da qualidade que possibilitem criar uma infraestrutura de papéis e responsabilidades, procedimentos e documentação de projeto de forma a registrar, visualizar e aplicar os controles para obtenção das metas definidas.

4.2.2. ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO

- I. **“DEFINE” ou DEFINIR:** Etapa de definição das metas atingíveis, quer sejam orientadas pelo cliente/tomador de serviços ou por agentes internos à organização, o que por sua vez demanda

que as equipes de trabalho sejam preferencialmente multidisciplinares e englobem diversos níveis dentro da organização de maneira a melhor aproveitar os recursos e facilitar a compreensão dos processos analisados. Estas deverão, resumidamente, abranger dois grupos distintos:

- a. **Metas Estratégicas:** Metas mais relacionadas à visão do negócio e à liderança superior da organização, e, portanto, serão mais relacionadas às demandas destes como fidelização do cliente; maiores taxas de retorno do investimento; satisfação do usuário; expansão do negócio, entre outros.
- b. **Metas Operacionais:** Metas relacionadas à produção, e que, portanto, se relacionam com demandas como melhoria de processos e diminuição de defeitos. Estes são obtidos tanto através de procedimentos internos à organização quanto pelo *feedback* de clientes, em algumas indústrias.

O objetivo desta etapa é, ao seu término, poder estabelecer claramente o que se deseja realizar na organização; quais são as restrições à aplicação da metodologia Seis Sigma; quais mudanças na organização promoveriam melhoras e quais os melhores indicadores destas melhoras. Indica-se para isso a adoção de algumas das ferramentas de gestão testadas na indústria e que fazem parte do corpo de conhecimento da metodologia.

- II. **“MEASURE” ou MEDIR:** Etapa de estabelecimento de métricas adequadas que promovam o melhor monitoramento possível do progresso em relação ao atendimento às metas estabelecidas na etapa anterior, o que se traduzirá primeiramente na identificação das características mais críticas em relação à qualidade do produto e, secundamente, na definição de uma abordagem clara para aplicação de controle estatístico dos processos.

Para tal deve-se conhecer o processo e todas as atividades por ele englobadas, o que possibilitará identificar os papéis de cada colaborador; o relacionamento entre atividades; quais atividades não agregam qualidade ao produto; onde estão os gargalos e perdas, entre outros. Isso influirá na melhor decisão para escolha das métricas adequadas de maneira a reduzir variabilidades e alcançar a padronização. O foco principal nesta etapa se traduz na avaliação da *capabilidade* e da *estabilidade* dos processos, ou seja, na capacidade de entrega dos

processos e na resposta do processo às instabilidades operacionais em termos de custo e tempo.

III. **“ANALYZE” ou ANALISAR:** Etapa onde são definidas, para cada atividade e processo, as causas e soluções para as deficiências identificadas em função dos dados coletados, focando na identificação de oportunidades de melhoria nos processos produtivos que sejam fundamentadas, ou seja, preferencialmente balizadas por dados estatísticos.

IV. **“IMPROVE” ou MELHORAR:** Etapa onde, após identificadas as oportunidades de mudança que agreguem positivamente em termos de qualidade, estas são desenvolvidas e testadas dentro da organização. São verificados os riscos e benefícios destas mudanças, e como elas contribuem para o resultado ao término do processo produtivo.

Sendo uma etapa de retroalimentação, semelhante à lógica experimentada no PDCA (ou como também conhecido, “Ciclo de Shewhart”), objetiva-se que ao seu fim sejam eleitas novas metas e métricas, qualitativas e quantitativas, que possibilitem atingir o estado de melhoria contínua na organização. Desta forma, além de demandar liderança por parte da gerência da organização, é também necessário que estas melhorias sejam fundamentadas e validadas por análises estatísticas.

V. **“CONTROL” ou CONTROLAR:** Etapa onde são referendadas dentro da organização as melhorias. Isto se traduz na mudança de políticas da organização; treinamento de equipes; instruções técnicas e operacionais e documentação. Esta etapa se dividirá em duas sub-etapas, quais sejam, a implementação das melhorias e o controle e monitoração dos seus efeitos na organização.

4.2.3. RECURSOS REQUERIDOS PARA IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do Método Seis Sigma é, em muitos sentidos, orientada em sentido “*top-down*”, ou seja, é necessário que a liderança da organização abrace a filosofia e a promova através da formação de novos líderes e gerentes a cada nível abaixo. A forte ênfase no treinamento e o aspecto hierárquico de responsabilidade do método fizeram com que estes níveis fossem simbolizados por “*Belts*” (“faixas”, como em graduações em artes marciais). Inicialmente estas graduações eram três, Green; Black; e Master Black, porém após diversas experiências e cases

de sucesso algumas organizações implementaram níveis abaixo e acima da estrutura hierárquica original, de forma a melhor aproveitar os recursos disponíveis e suprir demandas internas, quer sejam de suporte ou liderança, em função do escopo de trabalhos e atividades a executar.

Hoje considera-se que todas as graduações abaixo podem ser representativas dos níveis hierárquicos de uma equipe Seis Sigma, apesar de não ser necessário que todas se façam presentes simultaneamente em uma organização hipotética para que esta seja uma experiência Seis Sigma:

- a. **“Yellow Belts” (YB):** Os chamados “Faixas Amarelas” são colaboradores cujo domínio e conhecimento das ferramentas Seis Sigma é básico, contudo, são invariavelmente membros valiosos para a organização e contribuem para a qualidade e resultado dos processos. Normalmente são profissionais que dominam processos à nível operacional, e possuem suficiente expertise para aprimorar e conduzir todas as atividades inerentes a estes processos, dando suporte a outros recursos mais graduados e podendo ser ativos nos projetos de melhoria em regime de dedicação parcial ou integral. Ao contrário de *Green Belts* e *Black Belts*, este é um recurso que não orienta equipes e não coordena projetos de implementação da metodologia.
- b. **“Green Belts” (GB):** Os “Faixas Verdes” são indivíduos com treinamento relevante em ferramentas de qualidade, estando aptos a promover mudanças na organização. Ao contrário dos “*Yellow Belts*”, conduzem projetos menores em posição de liderança além de oferecer suporte aos “*Black Belts*”, não sendo, contudo, recursos dedicados exclusivamente à implementação da metodologia e resolução de problemas. São responsabilidades dos “*Green Belts*” a estruturação de equipes de trabalho, condução de projetos, entrega de resultados e promoção e divulgação das melhores práticas de gestão dentro da organização.
- c. **“Black Belts” (BB):** Os chamados “Faixas Pretas” são indivíduos que foram treinados dentro da metodologia Seis Sigma especificamente para ocupar a posição de liderança de projetos como “*Black Belts*”, dominando a fundo o conjunto de ferramentas e práticas consideradas necessárias a este nível, em especial as ferramentas estatísticas e gerenciais. São os líderes de projeto de alta complexidade e dedicados exclusivamente à resolução de problemas e

mentoria de recursos menos graduados da organização. Os “*Black Belts*” fornecem a visão estratégica e tática para alcance das metas estabelecidas, orientam a realização das mudanças necessárias na organização e promovem a manutenção destas mudanças através da geração de uma cultura virtuosa de divisão de experiências e transferência de conhecimento. São responsabilidades destes profissionais a execução dos projetos maiores, estruturação de equipes, alcance de metas e resultados e mentoria dos recursos menos graduados da organização.

- d. “**Master Black Belts**” (MBB): Os “Mestres Faixas Pretas” são “*Black Belts*” com extensa experiência em gestão de projetos dentro da metodologia Seis Sigma, sendo considerado necessário dentro de algumas literaturas a execução de não menos que 15 projetos de elevado impacto na organização para tornarem-se elegíveis à esta certificação. São consultores e mentores de “*Black Belts*”, “*Sponsors*” e “*Champions*”, além de líderes de projetos, e como tal são responsáveis pela transformação dos objetivos da alta gerência em visão estratégica para o negócio e para os colaboradores envolvidos, o que se traduz na remoção de obstáculos à implementação da metodologia, mentoria e formação de “*Black Belts*” dentro das ferramentas estatísticas, condução dos projetos e alcance de metas e resultados. pela promoção de uma cultura de melhoria em todos os níveis da organização.
- e. “**Champions**” e “**Sponsors**”: Os “Campeões” são membros da alta gerência da organização e, portanto, responsáveis pela implementação do método Seis Sigma através da mentoria aos “*Master Black Belts*” e remoção de interferências e obstáculos dentro da organização. São eles que definem a visão e escopo dos projetos, suas metas e instituem o comprometimento da liderança do negócio para obtenção de resultados. Para todos os efeitos, são peças-chave na organização e essenciais para a saúde do projeto e do negócio como um todo. Algumas literaturas técnicas e organizações tratam “*Champions*” e “*Sponsors*” como termos equivalentes, uma vez que “*Sponsors*” (“Patrocinadores”) também são membros do nível de liderança mais altos, geralmente CEOs e stakeholders, cuja principal função é promover uma visão clara sobre a organização, metas e inovações.

4.2.4. FERRAMENTAS DA QUALIDADE UTILIZADAS

A. DEFINIR

- i. **SIPOC:** Ferramenta da qualidade que visa retratar de forma descritiva e gráfica a lógica de entradas e saídas de um processo, demonstrando a sequência de atividades; responsabilidades e papéis, e efetivamente mapeando o fluxo a seguir. O nome da ferramenta é um acrônimo para *Suppliers* (Fornecedores); *Inputs* (Entradas); *Process* (Processo); *Outputs* (Saídas) e *Customers* (Clientes).
- ii. **VOC:** Ferramenta da qualidade onde buscam-se *feedbacks* e críticas do ponto de vista do cliente, de maneira a melhor entender as suas necessidades e demandas e ajustar os processos de forma a atendê-las. É uma das ferramentas mais essenciais para a implementação do Seis Sigma, e uma das formas mais acessíveis de agregar e reconhecer valor na cadeia de processos. O nome da ferramenta é um acrônimo para *Voice of Consumer* (Voz do Consumidor).
- iii. **Matriz de Comunicação:** Ferramenta da qualidade que busca estabelecer a documentação do projeto, estabelecendo padrões, papéis e responsabilidades dos agentes envolvidos, bem como a frequência de envio destas documentações.
- iv. **Diagrama de Afinidades:** Ferramenta da qualidade que busca expressar graficamente como se relacionam ideias e conceitos, agrupando-os por áreas de afinidade de maneira a promover soluções criativas mediante o agrupamento de um grande número de informações correlatas.

B. MEDIR

- i. **Fluxograma de Processos:** Ferramenta da qualidade que busca estabelecer etapas de início, meio e fim de um processo dentro de um sequenciamento lógico, demonstrando a interação das atividades através de uma codificação gráfica que indica os documentos produzidos ou necessários para uma atividade; os gargalos do processo; entre outros.
- ii. **Análise de Causa-Efeito:** Ferramenta amplamente utilizada na indústria, com aplicações na qualidade e gestão. Consiste na elaboração de soluções para problemas mediante a identificação das causas geradoras, exprimindo dentro de um intervalo de tempo como esta causa geradora ocorre e seus efeitos, distinguindo-os de outras possíveis causas e efeitos dentro da mesma atividade, tanto descritiva quanto graficamente.

- iii. **Diagramas de Frequência:** Ferramenta estatística usada para plotar graficamente as frequências de ocorrências em tomadas de dados contínuas, ou seja, durante a ocorrência de atividades e analisadas sem tratamento preliminar dos dados obtidos. Seu emprego principal é identificar como estas frequências se distribuem, se se agrupam em torno de valores específicos, se são randômicas, estáveis no tempo etc.
- iv. **Diagrama de Pareto:** Tipo especial do diagrama de frequências, sendo uma das ferramentas mais amplamente utilizadas na qualidade, com inúmeras aplicações na indústria. Consiste numa diagramação de dois conjuntos de dados correlatos: um diagrama de frequências orientado em ordem decrescente, com as frequências de ocorrências dispostas em barras, e uma curva onde são dispostas as frequências acumuladas. Desta forma pode-se retratar e separar as maiores frequências nas tomadas de dados realizadas, indicando quais são as frequências mais significativas para a qualidade geral do processo analisado. Se fundamenta na relação 80-20, descoberta pelo economista italiano Vilfredo Pareto, estendida para a qualidade por Juran.
- v. **5WHYS:** Uma das ferramentas originais do sistema Toyota de gestão da qualidade, que consiste numa análise causa-efeito iterativa, onde são buscadas as origens para determinada ocorrência por cinco vezes repetidas, desta forma dirimindo dúvidas a respeito da causa de determinada ocorrência de forma a eliminá-la definitivamente. Seu nome deriva das cinco interações realizadas, onde são buscados os “porquês” da ocorrência.
- vi. **Análise de Variância:** A análise de variância, ou como também é conhecida “ANOVA”, consiste num conjunto de aplicações estatísticas para determinação de médias sobre conjuntos diferentes de tomadas de dados, permitindo verificar e comparar grupos de dados distintos simultaneamente. É aplicada mais comumente para determinar se as causas para a variância entre conjuntos de dados têm causas reais ou casuais, ou seja, se são inerentes às diferenças entre estes conjuntos de dados ou meramente resultado da variabilidade de tomadas contínuas de dados.

C. ANALISAR

- i. **FMEA:** FMEA, ou “*Failure Mode and Effect Analysis*” (Análise de Modos e Efeitos de Falha, em português), é uma ferramenta da qualidade utilizada com o objetivo de aumentar o intervalo de

confiabilidade de um determinado processo ou atividade mediante a identificação e eliminação prévia de possíveis falhas no processo e suas causas geradoras. Essas falhas e causas devem ser classificadas quanto sua probabilidade de ocorrência, potencial de ser detectada e severidade dos efeitos para o processo analisado, podendo a ferramenta também ser estendida para análise de sistemas, design de projetos ou serviços.

ii. Diagrama de Ishikawa: O diagrama de Ishikawa, ou “espinha de peixe” como também é conhecido, é uma ferramenta da qualidade que busca exprimir descritiva e graficamente as causas para defeitos dentro de um determinado processo ou serviço mediante a análise das dimensões envolvidas em dito processo ou serviço, referidas como “6M”: Método, Máquina, Medida, Meio Ambiente, Mão-de-Obra, Material. Esta classificação envolve equipes multidisciplinares em processo de *brainstorming*, de maneira a refletir as potenciais causas de defeito em cada uma destas dimensões.

iii. Teste de Hipótese: Ferramenta estatística que possibilita uma melhor tomada de decisão sobre determinadas amostras de dados mediante a verificação de hipóteses estatísticas formuladas, buscando-se evidências nas leituras de dados que as suportem.

As etapas MELHORAR e CONTROLAR são de retroalimentação e análise dos resultados das etapas anteriores, sendo mais comumente realizadas a recalibração das ferramentas ora já apresentadas acima e reinício das tomadas de dados, treinamentos, entre outros. Pande (2000, apud CORRÊA et al, 2014) sintetizou no Quadro 1 a seguir como se dá a implementação do DMAIC em uma organização padrão, oferecendo uma listagem sumarizada e não exclusiva de ferramentas e atividades para cada etapa.

Quadro 1 - Método de Melhoria DMAIC, adaptado por CORRÊA et al (2014) de PANDE et al (2000),

ETAPA	OBJETIVO	PRINCIPAIS ATIVIDADES	FERRAMENTAS
DEFINE (DEFINIR)	Definir oportunidades	Definir requisitos do cliente; Identificar variáveis para medição do projeto; Criar infraestrutura; Avaliar impacto; Planejar projeto.	Indicadores de desempenho Custos da qualidade Pesquisa de mercado Quality Function Deployment Diagrama de causa-e-efeito Gráfico de Pareto Mapa de raciocínio Minuta do projeto
MEASURE (MEDIR)	Mapear e mensurar os processos	Mapear processo; Avaliar variáveis-chave de entrada; Avaliar capacidade do processo; Identificar variáveis dominantes; e Refinar problemas e objetivos.	Fluxograma do processo; Diagrama de causa-e-efeito; Estatística descritiva; MSA (Measure System Analyse); FMEA (Failure Modes Effects and Analyse); Planos de Controle; Cartas de controle; Capabilidade de processo; Análise de Variância (ANOVA);
ANALYZE (ANALISAR)	Analisar os dados e identificar soluções	Avaliar a relação entre variáveis de entrada e de saída; Analisar a variação predominante; Verificar a relação entre variáveis; e Verificar e Implementar soluções.	Matriz de causa-e efeito; Estatística descritiva; Boxplot; Análise de regressão e correlação; Intervalo de confiança; Teste de hipóteses; Análise de Variância (ANOVA); Cartas multivariadas; DOE (<i>Design Of Experiments</i>); Data Mining.
IMPROVE (MELHORAR)	Aperfeiçoar processos Obter resultados	Selecionar fatores e níveis; Executar experimentos e analisar resultados; Determinar tolerâncias; e Desenhar e implementar modificações no processo.	DOE (<i>Design Of Experiments</i>); Superfície de resposta; OE (Operação evolutiva); e Dimensionamento de tolerâncias
CONTROL (CONTROLAR)	Padronizar Manter ganhos obtidos	Estabelecer padrões de medição Treinar os envolvidos.	Plano de Controle; Cartas de Controle; Poka yoke; Pré-controle; Instruções de trabalho.

4.2.5. MÉTRICAS E INDICADORES

O controle estatístico dos processos somente será efetivo quando as métricas e indicadores utilizados forem apropriados, refletindo tanto a capacidade das atividades envolvidas quanto a visão estratégica do negócio. Em Seis Sigma não existe uma única métrica utilizada universalmente, haja vista o vasto campo de aplicações do método e a diversidade de ferramentas, conceituais e estatísticas, utilizadas. No entanto, invariavelmente estas serão divididas em dois grupos distintos: métricas principais e métricas secundárias. Consideram-se métricas principais aquelas alinhadas com a visão do negócio e gerência, sendo definidas pelos líderes de projeto como Green Belts,

Black Belts, Master Black Belts e Champions ou Sponsors. Numa visão ampla, métricas principais podem ser definidas como aquelas que exprimem o que se deseja objetivamente melhorar. Não há uma especificação de “quais” devem ser estas métricas, mas sim de “como” devem ser, sendo consideradas boas métricas principais aquelas que:

- i. São vinculadas aos interesses do cliente;
- ii. São correlacionadas com os problemas ou oportunidades percebidas;
- iii. São mensuráveis;
- iv. São exprimíveis por fórmulas ou conceitos matemáticos;
- v. São alinhadas o negócio;
- vi. São exprimíveis graficamente;
- vii. Possuem períodos de controle bem definidos (horários, diários, semanais)

Métricas principais são essenciais para monitoramento do progresso dos projetos e sucesso, sendo consideradas críticas para o sucesso. As métricas secundárias, por outro lado, existem para controlar os processos de maneira que as mudanças promovidas na organização não comprometam outros processos, ou que problemas intrínsecos ao negócio não migrem para outros processos em função do controle da qualidade do Seis Sigma. Geralmente, se a métrica principal é quantitativa, a métrica secundária é qualitativa. São exemplos mais comuns de métricas o DPO (“Defeitos por Oportunidade”); DPU (“Defeitos por Unidade”); e o já citado DPMO (“Defeitos por Milhão de Oportunidade”); que é o mais utilizado em grandes indústrias.

4.3. METODOLOGIA DMADV PARA NOVOS PROCESSOS

4.3.1. CONCEPÇÃO E OBJETIVOS

Enquanto o DMAIC objetiva alcançar o estado de melhoria contínua sobre processos defeituosos já existentes, o DMADV é uma ferramenta para a concepção de processos novos dentro da organização, fundamentando-se destarte no corpo de conhecimento da metodologia Seis Sigma.

Portanto, as ferramentas DMAIC e DMADV são as mesmas no conjunto de técnicas e conhecimento, entretanto são aplicadas em contextos diferentes. Segundo Werkema (2002), a metodologia DMADV seria análoga o DFSS, termo este presente em outras literaturas técnicas

analisadas. Em relação às etapas do DMADV/DFSS, algumas destas são similares às etapas do DMAIC explicitadas na seção anterior, em especial as ferramentas estatísticas, contudo utilizam também de ferramentas conceituais específicas, especialmente as relacionadas com os processos de conceituação, design e busca por mudanças originais e criativas nos processos. De Feo e Bar-EI (2002, apud. KWAK e ANBARI, 2006), estabeleceram sete elementos principais inerentes ao DFSS que possibilitam este design criativo e potencializam novos níveis de performance, conforme consta no Quadro 02:

Quadro 2 - Elementos da Ferramenta DFSS, adaptado pelo autor de KWAK e ANBARI (2006)

ELEMENTOS DO DFSS
Promove o design de processos vinculando a Voz do Cliente ao Seis Sigma
Prevê a qualidade do design desde o início
Compatibiliza documentos e capacidade ("flow-down e flow-up")
Integra e envolve funcionalidades distintas num mesmo design
Promove medições de qualidade nos processos e previsão de melhorias desde o início
Utiliza dados de capacidade dos processos na tomada de decisões
Monitora variabilidade de processos e verifica se as especificações do cliente são atendidas

Conforme definido por Yang e El-Haik (2003), "DFSS" é, em livre tradução do inglês, "(...)uma teoria científica que engloba áreas fundamentais do conhecimento, através do entendimento e compreensão de seus diversos campos e da correlação entre estas áreas fundamentais.", sendo esta concepção ("design") viabilizada com o emprego de ferramentas matemáticas robustas e estatísticas empíricas aliadas à capacidade de abstração, criatividade e solução de problemas, qualidades necessárias e até mesmo essenciais para o design de novos processos ou atividades dentro de uma organização, que venham a promover melhorias sustentadas e contínuas, com o mínimo de susceptibilidade às possíveis vulnerabilidades sistêmicas, sendo estas ou de natureza conceitual ou operacional.

Por esta razão, as ferramentas empregadas durante o processo de implementação de um DFSS serão também de natureza conceitual e estatística, dependendo da fase do projeto, onde a dimensão estatística inerente ao método Seis Sigma será referente ao nível esperado onde quaisquer vulnerabilidades de design não surtirão efeito sobre o produto, ou este efeito será mínimo.

Uma ilustração que retrata a relação de impacto e custo que estas vulnerabilidades de design podem representar, de acordo com a etapa da vida de projeto, pode ser encontrada na Figura 06.

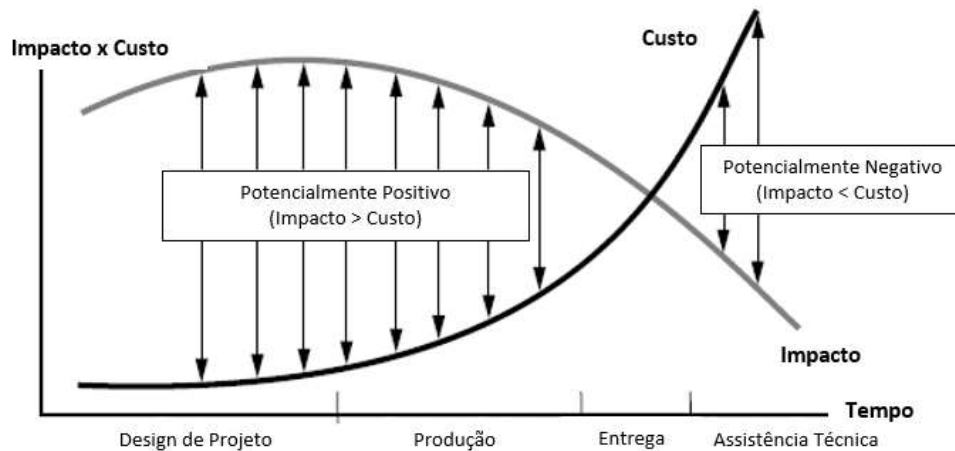


Figura 6 – Impacto e custo de vulnerabilidades por etapas de ciclo de vida de projeto, adaptado pelo autor de Yang et El Haik (2003)

A aplicação de cada um destes dois grupos de ferramentas se dará em função da etapa da vida do projeto, sendo mais comumente aplicadas as ferramentas conceituais na etapa de conceituação e desenvolvimento de produto e as ferramentas estatísticas análogas ao DMAIC nas etapas da produção, conforme retrata a Figura 6.

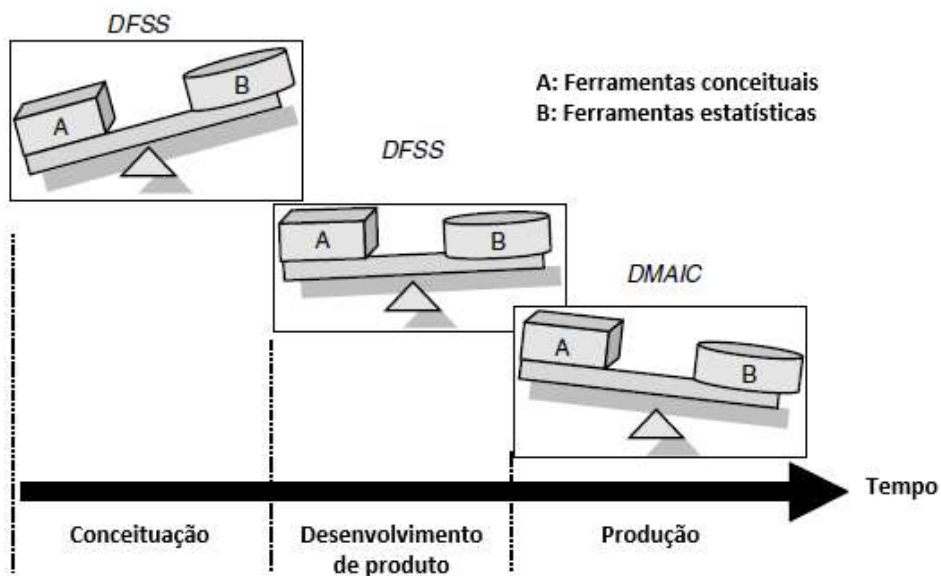


Figura 7 - Ferramentas DFSS e DMAIC na linha de vida do projeto, adaptado pelo autor de Yang et El Haik (2003)

4.3.2. ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO

Yang e El- Haik (2003), estabelecem que o DFSS apresenta 4 fases distintas, representadas pelo acrônimo ICOV, quais sejam:

A. IDENTIFICAÇÃO DE REQUISITOS (I):

Etapa onde se verifica se é necessário criar-se processos e procedimentos ou se é somente necessário reconfigurar processos já existentes. Nessa etapa são identificados todos os parâmetros críticos para satisfação do cliente e as métricas adequadas para acompanhá-los.

Resumidamente, segundo Yang e El-Haik (2003) nesta etapa ocorrem:

- i. Identificação dos requisitos e demandas do cliente;
- ii. Transformação dos requisitos e demandas do cliente através da utilização do VOC (*“voice of customer”*);
- iii. Transformação do VOC em requisitos funcionais, adequados e mensuráveis;
- iv. Identificar os aspectos considerados como críticos à satisfação do cliente (CTS) como sendo críticos para a qualidade (CTQ), críticos para entrega (CTD) ou críticos para custo;
- v. Quantificar, estabelecer métricas e níveis de performance adequados e aceitáveis para os fatores críticos à satisfação do cliente;

Nesta etapa são utilizadas ferramentas análogas às do DMAIC, entre elas a Análise de Kano, Pesquisas de Mercado e Análise de Risco.

B. CARACTERIZAÇÃO DO DESIGN (C):

Etapa onde os aspectos relacionados às expectativas e desejos do cliente são traduzidos efetivamente em requisitos funcionais para os processos ou produto. Após esta determinação dos requisitos funcionais para o processo ou produto, é necessário o desenvolvimento de meios para que estes sejam materializados. De forma geral, existem duas possibilidades:

- a. Os processos atuais na organização atendem aos requisitos do cliente satisfatoriamente. Desta forma novos processos não são necessários e o DMAIC pode ser aplicado.
- b. Os processos atuais não são capazes de atender aos requisitos do cliente satisfatoriamente, logo novos processos devem ser desenvolvidos, podendo estes ser novos ou apenas incrementos nos processos atuais.

Diversas opções de design para incremento de processos ou mesmo novos processos podem surgir nesta etapa, e estas devem ser avaliadas e selecionadas criteriosamente. Durante esta avaliação é possível que sejam identificadas fraquezas nos processos, que demandarão a revisão e melhora destes. Nesta etapa é amplamente utilizada a ferramenta TRIZ.

C. OTIMIZAÇÃO DO DESIGN (O):

Etapa de ajuste e/ou alteração dos parâmetros definidos na etapa anterior através de ferramentas de modelagem, cujo objetivo é fornecer uma base lógica e objetiva para definição dos limites de tolerância do produto. Caso os parâmetros de projeto não sejam controláveis, como geralmente é o caso com projetos que utilizam o DFSS, o processo deve ser concebido novamente desde a etapa inicial.

D. VALIDAÇÃO DO DESIGN (V):

Etapa de testes e refinamento do design escolhido, de maneira que o produto ou serviço conforme projetado alcance os patamares de performance esperados e que o controle sobre os processos da produção seja tal que as características críticas à qualidade sempre estejam dentro dos parâmetros estabelecidos até a etapa anterior.

4.3.3. RECURSOS REQUERIDOS

Para implementação do DMADV/DFSS é considerada necessária a mesma infraestrutura de suporte descrita no DMAIC, ou seja, uma equipe multinível e multidisciplinar treinada nas competências do Seis Sigma de acordo com as demandas da organização e do projeto.

4.3.4. FERRAMENTAS DA QUALIDADE UTILIZADAS

As ferramentas da qualidade e da estatística utilizadas no DMADV/DFSS são, em tese, as mesmas do DMAIC, contudo com algumas modificações conceituais haja vista a necessidade de se criarem processos na organização. Em especial, para concepção e design de processos, identifica-se na literatura técnica corrente a importância da ferramenta TRIZ (“Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch”), ou Teoria Inventiva de Solução de Problemas” em tradução do termo original russo.

A TRIZ foi desenvolvida na União Soviética nos anos 40 a partir de estudos realizados sobre a publicação de patentes inovativas nos campos das ciências e engenharia, bem como acerca dos aspectos condicionantes da criatividade humana, por Genrich S. Altshuller, um engenheiro e inventor soviético, seu emprego fundamentalmente busca atingir a excelência em termos de design e criatividade através de 5 conceitos-chave: Idealidade; Funcionalidade; Recursos; Contradição; Evolução, que quando fielmente seguidos possibilitam a modelagem e análise funcional do sistema; identificação de problemas; desenvolvimento de métodos para sua solução e avaliação de conceitos, onde:

- i. **Idealidade:** É o conceito principal para a excelência de um processo ou organização (sistema) caracterizando-se pela maximização de benefícios conjuntamente à minimização de riscos, danos ou custos. Sendo uma medida da excelência do sistema, quanto maior for este indicador mais próximo da idealidade este sistema será. Esta razão é definida por Yang *et al* (2003) como:

$$Idealidade = \frac{\Sigma Benefícios}{\Sigma Custos + \Sigma Riscos}$$

- ii. **Funcionalidade:** Fundamenta a análise do sistema, traduzindo como é seu funcionamento, como gera valor, quais seus custos e quais os riscos envolvidos;
- iii. **Uso de Recursos:** Máxima utilização dos recursos disponíveis é um objetivo, podendo estes ser de natureza variável como energia, matéria-prima, espaço, tempo etc.;
- iv. **Contradições:** Se traduzem por entraves ou problemas críticos ao nível de performance do sistema, podendo ser de natureza técnica ou física, e de dimensões quantitativas ou qualitativas.
- v. **Evolução:** Prever as tendências para evolução do estado da arte tecnológico, de maneira a guiar o aprimoramento do sistema como um todo.

Outras ferramentas utilizadas no DMADV/DFSS que também são citadas e fazem parte do DMAIC, mas não são aplicadas comumente à engenharia e construção de edificações:

- i. Design for Manufacturing (DFM);
- ii. Design for Assembly (DFA);

iii. Análise de Pugh.

4.3.5. MÉTRICAS E INDICADORES

As métricas e indicadores devem atender as características tal qual descritas na etapa DMAIC, na seção 3.2.5 do presente trabalho.

4.4. FATORES INFLUENCIADORES PARA O SUCESSO DO SEIS SIGMA

Sendo o Seis Sigma um corpo de trabalho e conhecimento amplo, cujo emprego objetiva principalmente a identificação e eliminação de aspectos do negócio que sejam fatores geradores de perdas ou que não agreguem para a qualidade geral, promovendo práticas virtuosas e mudanças à níveis cultural e organizacional, é esperado que existam obstáculos engessados dentro da organização para sua melhor implementação.

Desta forma, nos últimos anos muitos foram os trabalhos acadêmicos e experiências reportadas dentro de organizações inseridas em indústrias diferentes têm focado em definir e orientar quais seriam os fatores que mais contribuem para o sucesso do método, qualitativa e quantitativamente.

Autores como Pyzdek (2003), Kwak et Anbari (2006), e Antony (2002) buscaram estabelecer quais seriam os fatores mais importantes para a implementação bem-sucedida de um programa Seis Sigma. Jesus (2015), em revisão ampla da literatura técnica acerca do tema realizada que contemplou um total de 26 artigos de diferentes nacionalidades e metodologias de pesquisa, apontaram-se 71 diferentes fatores críticos para o sucesso da metodologia Seis Sigma, dentre os quais os 20 fatores mais relevantes foram selecionados pelo autor, conforme os Quadros 3 e 4 e a Tabela 3:

Quadro 3 - Fatores Críticos de Sucesso, adaptado pelo autor de KWAK e ANBARI (2006)

FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO
Compromisso claro e sustentado da gerência para com a metodologia
Educação e treinamento continuados de gerentes e colaboradores
Definição de metas claras e seleção adequada de líderes de projeto
Selecionar estrategicamente projetos relevantes

Quadro 4 - Fatores críticos de sucesso, adaptado pelo autor de BANUELAS. CORONADO e ANTONY (2002)

FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO
Envolvimento e compromisso da gerência para com a metodologia
Compreensão da metodologia e suas ferramentas
Vincular o Seis Sigma à estratégia do negócio
Vincular o Seis Sigma aos clientes
Selecionar bons projetos, adequados à metodologia
Infraestrutura organizacional
Mudança cultural
Boas práticas de gestão de projeto
Vincular Seis Sigma aos fornecedores
Treinamentos
Vincular Seis Sigma aos recursos humanos

Tabela 3 - Fatores Críticos de Sucesso, adaptado pelo autor de JESUS (2015)

FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO	RANKING
Comprometimento da alta administração	1
Treinamento	2
Ligação do 6 Sigma com os interesses dos clientes	3
Ligação do 6 Sigma com a estratégia do negócio	4
Mudança cultural	5
Seleção e priorização de projetos	6
Infraestrutura organizacional do 6 Sigma	7
Experiência com Gerenciamento de Projetos	8
Compreensão da metodologia Seis Sigma	9
<i>Link SS with Suppliers</i>	10
Ligação do 6 Sigma com os interesses dos Empregados/RH	11
Sistemas de comunicação	12
Monitoramento dos projetos e revisões	13
Integração do 6 Sigma com os resultados financeiros/contabilidade	14
Programa de incentivos/bônus diferenciados	15
<i>Frequent communication and assessment on LSS result</i>	16
<i>Company financial capability</i>	17
<i>Clear performance metric</i>	18
Comprometimento de toda a empresa	19
Ambiente de confiança, ética, integridade e respeito às pessoas	20

Depreende-se das pesquisas relacionadas, portanto, que os maiores fatores encontram-se relacionados ao comprometimento da gerência, promoção de treinamentos, instituição de uma

cultura que promova a melhoria contínua em todos os níveis da organização; escolha de bons projetos, estabelecimento claro de metas atingíveis e como alcançá-las, visão estratégica e compreensão do corpo de trabalho e conhecimento do Seis Sigma, bem como de suas ferramentas e aplicações.

5. O SEIS SIGMA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

5.1. ASPECTOS GERAIS

Apesar de todos os esforços, historicamente há obstáculos à aplicação do controle estatístico de processos na construção civil em todos os aspectos da indústria, haja vista a alta diversificação de técnicas e práticas envolvidas. Mesmo num contexto intraorganizacional é possível se observar em uma mesma atividade procedimentos diferentes sendo aplicados e conseqüentemente medidas obtiveis distintas — por exemplo, dois pedreiros não executarão uma mesma parede em alvenaria num mesmo tempo, com mesmo emprego de materiais, e à um mesmo custo. Portanto, no contexto da construção civil artesanal, como é majoritariamente a construção brasileira fora das grandes empreiteiras e centros urbanos, o desafio resta na busca pela definição de um padrão de qualidade ideal e próprio para cada processo, ao qual todos deverão ater-se.

A evolução do estado da arte da construção, em especial nos últimos anos, tem permitido que algumas ferramentas da qualidade para controle estatístico de processos sejam aplicadas às técnicas cujos resultados sejam mais replicáveis, conquanto não se manifeste este fenômeno de maneira abrangente.

De fato, quando se considera a indústria da construção holisticamente, agregamos sob este nome uma série de subsetores da indústria da transformação como fabricantes de insumos, componentes elétricos, equipamentos etc., contudo, no que tange à indústria que contempla o processo construtivo em si, existe uma descontinuidade no que diz respeito à possibilidade de controle de processos quando comparada a estes subsetores mencionados, fato este perceptível não somente na experiência brasileira como internacional, e manifesta através dos índices de desperdícios experimentados na construção. Shingo (1981 apud BARROS, 2017) classificou as perdas na construção da seguinte forma:

- i. Perdas por produção em quantidades superiores à necessária (“superprodução”);
- ii. Perdas pela existência de processos assíncronos, onde uma atividade entra em espera em decorrência de atrasos ou gargalos em outra;
- iii. Perdas por atraso com transporte;
- iv. Perdas por emprego de mão de obra de baixa qualificação;

- v. Perdas com estoques, tanto com excesso de estoque ou estoque deficiente;
- vi. Perdas por movimento excessivo;
- vii. Perdas com retrabalhos.

Estas perdas são muito semelhantes às experimentadas em praticamente todas as indústrias onde são aplicáveis ferramentas de qualidade, incluindo-se aquelas do corpo de conhecimentos e práticas do Seis Sigma. Contudo, identifica-se na literatura técnica corrente aspectos limitantes para experiências bem-sucedidas com a aplicação do Seis Sigma na construção civil. Spencer e Stewart (2006) atestam que isso se deve na maior parte dos casos à ausência de uma estrutura que permita a melhoria contínua e a qualidade total, bem como que quando possíveis, as melhorias ocorrem de forma isolada e pouco replicáveis.

No caso da construção civil, tornam-se ainda mais relevantes os possíveis mecanismos de mitigação das perdas por retrabalhos, haja vista os altos índices de desperdício na construção civil, especialmente no caso brasileiro. Desta forma, a adoção de práticas que contribuam positivamente para a sustentabilidade figura como o novo desafio da construção civil, sendo este um paradigma principal de enfoque em uma experiência que promova melhoria da qualidade e diminuição das perdas, tal qual o presente método do estudo propõe.

Perdas e retrabalhos recebem na construção civil o nome de “não-conformidades”. Segundo Marrafa (2006, apud RAMOS, 2018), não-conformidade é a deficiência em uma característica, especificação de produto, parâmetro de processo, registro ou procedimento que torna a qualidade de um produto inadmissível, indeterminada ou fora de requerimentos estabelecidos. Ramos (2018) estabelece ainda que as não conformidades na construção civil tornam as edificações inadequadas ao que elas se destinam, reduzindo o seu valor e podendo ainda diminuir a segurança e conforto ao usuário.

Sukumar e Rhadika (2017) estabeleceram em revisão da literatura que os maiores problemas geradores de perdas nos processos da construção civil são:

1. Falta de materiais
2. Dificuldades de transporte
3. Dificuldade com manejo de equipamentos e materiais no local da obra

4. Ausência de um plano de trabalho
5. Atrasos em decorrência de condições climáticas
6. Quebra de equipamentos
7. Ausência de planejamento
8. Trabalho em repetição
9. Rotação de funcionários e equipe
10. Falhas de comunicação

Em pesquisa ampla realizada para conclusão deste trabalho, envolvendo a leitura de mais de 30 trabalhos, publicações e livros sobre o tema, não foram identificadas publicações ou estudos onde tenha-se aplicado o Seis Sigma satisfatoriamente em construções civis, sendo a maior parte trabalhos sobre a possibilidade de aplicação das ferramentas estatísticas para alcançar padrão seis sigma, ou aplicações teóricas da metodologia. De forma a enriquecer o presente trabalho, são apresentados a seguir dois estudos de caso, um no âmbito nacional e outro fora do Brasil, onde se propôs aplicar a metodologia DMAIC a processos existentes, mesmo que do ponto de vista teórico.

5.2. ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DO DMAIC POR RAMOS (2018)

5.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Empreendimento teórico residencial e unifamiliar, em alvenaria; com cobertura em telhas suportadas por estrutura de madeira; com sistemas hidrossanitários, de gás, elétrico e de ar-condicionado; revestimentos cerâmicos no piso; pinturas nas paredes e esquadrias de portas e janelas convencionais. Ramos aplicou a metodologia DMAIC aos processos de uma obra de edificação unifamiliar típica, após a aplicação de questionário à engenheiros de campo. No caso, a obra como um todo foi considerada como o “produto”, e cada processo em que foi identificada uma relação de causa-efeito para geração de não-conformidade, ou insatisfação do ponto de vista do cliente, foi tratada como processo para aplicação do Seis Sigma.

5.2.2. OBJETIVO DA IMPLANTAÇÃO DO SEIS SIGMA

Elaboração de tese para conclusão de curso de Engenharia Civil e obtenção do título de engenheiro.

5.2.3. METODOLOGIA ADOTADA PELO AUTOR

O autor elaborou uma listagem de não-conformidades a partir da qual foram elaborados dois questionários, um contendo os principais defeitos que aparecem em obras de construção civil e outro contendo as principais causas para o surgimento destes defeitos em obras. Estes questionários foram aplicados à 50 engenheiros de campo, que elegeram dentre as opções aquelas consideradas por eles mais representativas em cada questionário.

Obtidas as respostas aos questionários foram aplicadas as ferramentas estatísticas do método Seis Sigma, sendo calculado o DPMO (defeitos por milhão de oportunidades) utilizando o critério que leva em conta a ocorrência de defeitos e a partir deste cálculo foi feita a conversão para o nível Sigma, por meio de uma tabela de conversão.

Não foram empregados recursos além do próprio autor e não há menção no trabalho publicado sobre o tempo transcorrido nesta experiência de implementação do método.

5.2.4. RESULTADOS OBTIDOS

Ramos (2018) estabeleceu em sua pesquisa diferentes frequências de ocorrência de não-conformidades, sob as quais aplicou ferramentas estatísticas próprias do corpo de conhecimento do Seis Sigma para elencar quais ações seriam as maiores geradoras de não-conformidades e qual o padrão sigma para uma obra de edificação na tipologia estudada na Figura 6.

Para identificação da relação causa-efeito das não conformidades esperadas, foi realizada uma bateria de entrevistas e questionários com engenheiros de campos, cujas respostas estão retratadas no Quadro 05.

Quadro 5 - Relação de causa-efeito de não conformidades na construção. RAMOS (2018)

Defeitos	Causas
Recalques das fundações;	<ul style="list-style-type: none"> • Não execução de sondagem; • Projeto de fundações com baixo nível de detalhamento; • Não conformidades entre o projeto e a execução; • Projetos dimensionados apenas por capacidade, sendo avaliação do recalque negligenciada; • Falta de investigação geotécnica (solos colapsíveis, expansíveis e moles); • Investigação geotécnica mal feita; • Investigação geotécnica não adequada com a magnitude do projeto; • Baixa qualidade do material; • Falha de especificação de materiais frente aos padrões normativos;
Deformações excessivas dos elementos estruturais;	<ul style="list-style-type: none"> • Escoramento insuficiente; • Desforma antes da data prevista; • Posicionamento inadequado da armadura; • Falta de armadura; • Comprimento insuficiente de ancoragem; • Sobrecarga excessiva devido à enchimentos na regularização de pisos; • Não atingir a resistência característica do concreto à compressão;
Ruptura do elemento estrutural;	<ul style="list-style-type: none"> • Não atingir a resistência característica do concreto à compressão; • Falta de armadura; • Comprimento insuficiente de ancoragem;
Fissuração da alvenaria;	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa inadequada para assentamento da alvenaria; • Ausência ou má execução da ligação pilar-alvenaria; • Ausência ou má execução das vergas e contra-vergas; • Recalques da fundação; • Deformações excessivas dos elementos estruturais; • Arraste por dilatação térmica dos elementos constituintes;

<p>Mau funcionamento das redes de distribuição hidrossanitárias;</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ligações entre tubos e acessórios mal executadas; • Não conformidades entre os traçados das tubulações no projeto e o executado; • Tubulação incompatível com o projeto; • Tubulação não certificada; • Diâmetros das tubulações incompatíveis com o projeto; • Ausência ou insuficiente inclinação das tubulações de esgoto; • Deformação das tubulações;
<p>Redes de distribuição elétrica defeituosas;</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aterramento da rede de instalações elétricas mal executada; • Ligações incorretas nos quadros e disjuntores; • Não cumprimento das distâncias mínimas de tomadas e pontos de corrente em zonas de instalações sanitárias; • Ausência de cachimbos nas tubulações externas; • Emendas dos cabos inadequadas; • Amassamento ou obstruções dos eletrodutos; • Quantidade de cabos superior ao máximo admissível por eletroduto; • Disjuntores abaixo da capacidade definida em projeto;
<p>Redes de distribuição de gás defeituosas; (Paulo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ligações defeituosas de gás (fugas); • Não conformidades entre os traçados das tubulações no projeto e o executado; • Inexistência de um projeto de gás por empresa especialista;
<p>Umidade nas paredes; (Paulo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Não elaboração dos projetos de impermeabilização; • Ausência ou má execução do sistema de impermeabilização; • Penetração de água nas interfaces das esquadrias com a alvenaria; • Inexistência de um projeto de fachadas; • Contato do solo com a interface das alvenarias; • Ausência ou má execução das vergas e contra-vergas; • Recalques da fundação; • Deformações excessivas dos elementos estruturais; • Arraste por dilatação térmica dos elementos constituintes;

Fissuras no revestimento; (Paulo)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência ou má execução das armaduras de reforço em zonas de transição no revestimento; • Execução de reboco com espessura diferente da especificada em projeto; • Argamassa com traço inadequado; • Uso inadequado de materiais na composição do traço das argamassas; • Não preparo das superfícies a serem rebocadas;
Desaprumo das paredes; (Paulo)	<ul style="list-style-type: none"> • Má execução da alvenaria; • Má execução do revestimento;
Falta de ortogonalidade do teto com as paredes; (Paulo)	<ul style="list-style-type: none"> • Desaprumo da alvenaria; • Falta de nivelamento da laje;
Desalinhamento de peças cerâmicas ou de granito; (Paulo)	<ul style="list-style-type: none"> • Assentamento das peças cerâmicas fora de esquadro; • Peças cerâmicas de diferentes tamanhos; • Não uso de gabaritos (espaçadores) para o assentamento das peças;
Desnivelamento de peças cerâmicas ou de granito; (Paulo)	<ul style="list-style-type: none"> • Falhas no procedimento de execução; • Peças com defeito; • Diferentes espessuras da massa de assentamento; • Não uso de gabaritos (espaçadores) para o assentamento das peças; • Trânsito nos ambientes antes da cura plena da massa de assentamento; • Sentido inadequado do assentamento;

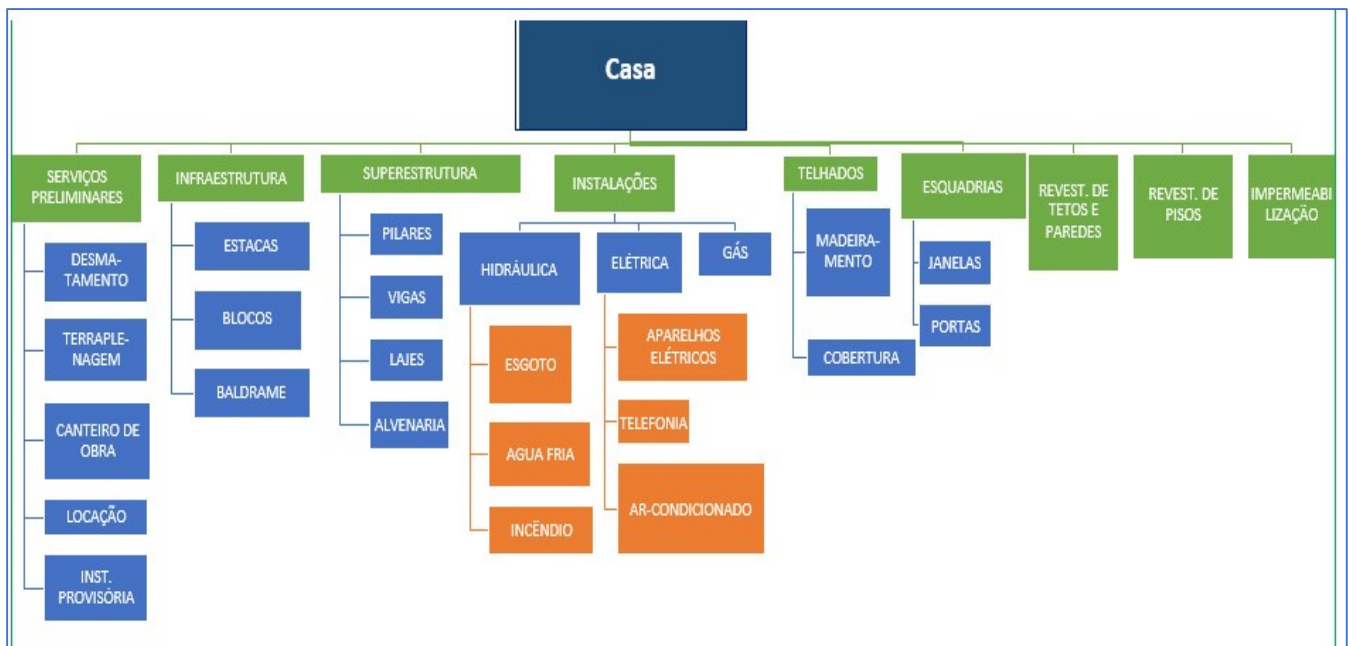


Figura 8 - Árvore de processos de uma edificação unifamiliar. RAMOS (2018)

Para determinação do nível de sigma do empreendimento, o autor estabeleceu os valores de DPU e DPMO, onde DPU é o número médio total de defeitos para o produto fabricado em cada processo e DPMO é a razão de DPUs por número total de oportunidades, sendo as duas grandezas expressas pelas seguintes equações:

$$DPU_{\text{geral}} = DPU_1 + DPU_2 + \dots + DPU_n$$

$$DPMO = (DPU_{\text{geral}}) / (n^\circ \text{ de oportunidades por unidade}) \times 1.000.000$$

Equações 1 e 2 - Equações para cálculo de DPU e DPMO. RAMOS (2018)

Rampersad e El Homsy (2009, apud. RAMOS, 2018) estabelecem a correlação DPMO para nível sigma de acordo com a Tabela 4, meio pela qual Ramos (2018) calcula os níveis de sigma para as maiores frequências de não conformidade de seu trabalho para cada unidade analisada, que no trabalho corresponde a cada subatividade da árvore de processos na Figura 6, segundo a Tabela 5.

Tabela 4 - Níveis sigma por DPMO, adaptado por Ramos (2018) de Rampersad e El Homsí (2009)

DPMO	Sigma_{st}	Sigma_{lt}
500000	1,50	0,00
300000	2,02	0,52
200000	2,34	0,84
150000	2,54	1,04
100000	2,78	1,28
68000	2,99	1,49
25000	3,46	1,96
10000	3,83	2,33
5000	4,08	2,58
1000	4,59	3,09
500	4,79	3,29
233	5,00	3,50
50	5,39	3,89
40	5,44	3,94
30	5,51	4,01
20	5,61	4,11
10	5,76	4,26
3,4	6,00	4,50
1	6,25	4,75
0,1	6,7	5,20

Tabela 5 - Resultados encontrados para frequências de não-conformidades. Ramos (2018)

Ocorrência nas respostas	DPMO	Nível Sigma_{st}
Mais de 20%	5806	4,04
Mais de 30%	5495	4,66
Mais de 40%	5828	4,04

Os resultados encontrados pelo autor demonstram que o padrão de uma obra de edificação típica, segundo a pesquisa realizada com engenheiros de campo, está em nível sigma de 4.0, o que indica um intervalo de 99,4% de assertividade. Estes valores, contudo, não retratam fielmente toda a amplitude dos empreendimentos de construção no país e no exterior. Trabalhos sobre o tema

realizados dentro e fora do Brasil variam muito no que diz respeito aos níveis de sigma nos casos estudados em relação à pesquisa de Ramos (2018), a citar Banawi (2013) que estabeleceu nível sigma 1 para um empreendimento estudado. Cabe ainda salientar que as frequências identificadas por Ramos (2018) são referentes às respostas dos questionários aplicados aos engenheiros de campo entrevistados, e não bases de dados reais de um estudo de caso em que se aplicou a metodologia.

5.2.5. CONCLUSÕES DO ESTUDO DE RAMOS (2018)

Ramos (2018) conclui que o nível sigma de curto prazo depende do número de defeitos (não conformidades) e de suas possíveis causas geradoras. Para alcançar um patamar de nível sigma igual a 6 seria, portanto, necessário minimizar as não conformidades e buscar mitigar suas principais causas geradoras, ações que o autor indica serem de responsabilidade dos *Champions* e *Black-belts*. O autor cita ainda que é indicado para uma melhoria geral do setor que as organizações se atenham a padrões e programas de qualidade já estruturados dentro da realidade da construção civil nacional, tais como o programa PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat), cuja meta é a de organizar o setor para uma melhoria da qualidade do habitat e a modernização da produção, e a ABNT NBR ISO 9001:2015.

5.3. ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DO DMAIC POR BANAWI (2013)

5.3.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Empreendimento residencial multifamiliar em Madinat Yanbu Al-Sinaiyah, na Arábia Saudita. Não são oferecidas no estudo do autor as especificações da obra, além das características do revestimento exterior das unidades residenciais, executado em pintura.

5.3.2. OBJETIVO DA IMPLANTAÇÃO DO SEIS SIGMA

Estudo para conclusão de tese de doutorado, sendo aplicado a metodologia Seis Sigma aos processos construtivos de 53 unidades residenciais, mais especificamente ao processo de revestimento externo das unidades, composto por uma camada cimentícia, selador, primer e

pintura. O objetivo final da aplicação consistia na identificação e eliminação das causas e do aparecimento de bolhas na pintura.

5.3.3. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

Foi feito inicialmente o mapeamento da cadeia de valor do empreendimento, envolvendo 4 grupos distintos: o gerenciamento do projeto como um todo, a execução do revestimento, o fornecimento de material e o consumidor. O objetivo do autor com este mapeamento era identificar oportunidades de mitigação de perdas no processo. Todo o processo durou 49 dias úteis, sendo considerados como recursos o próprio autor em cargo análogo ao de Champion, o gerente de projetos da construtora em papel similar ao de um *black-belt*, e as equipes de execução de pintura. A Figura 9 retrata a cadeia de valor do empreendimento no que diz respeito à atividade de pintura.

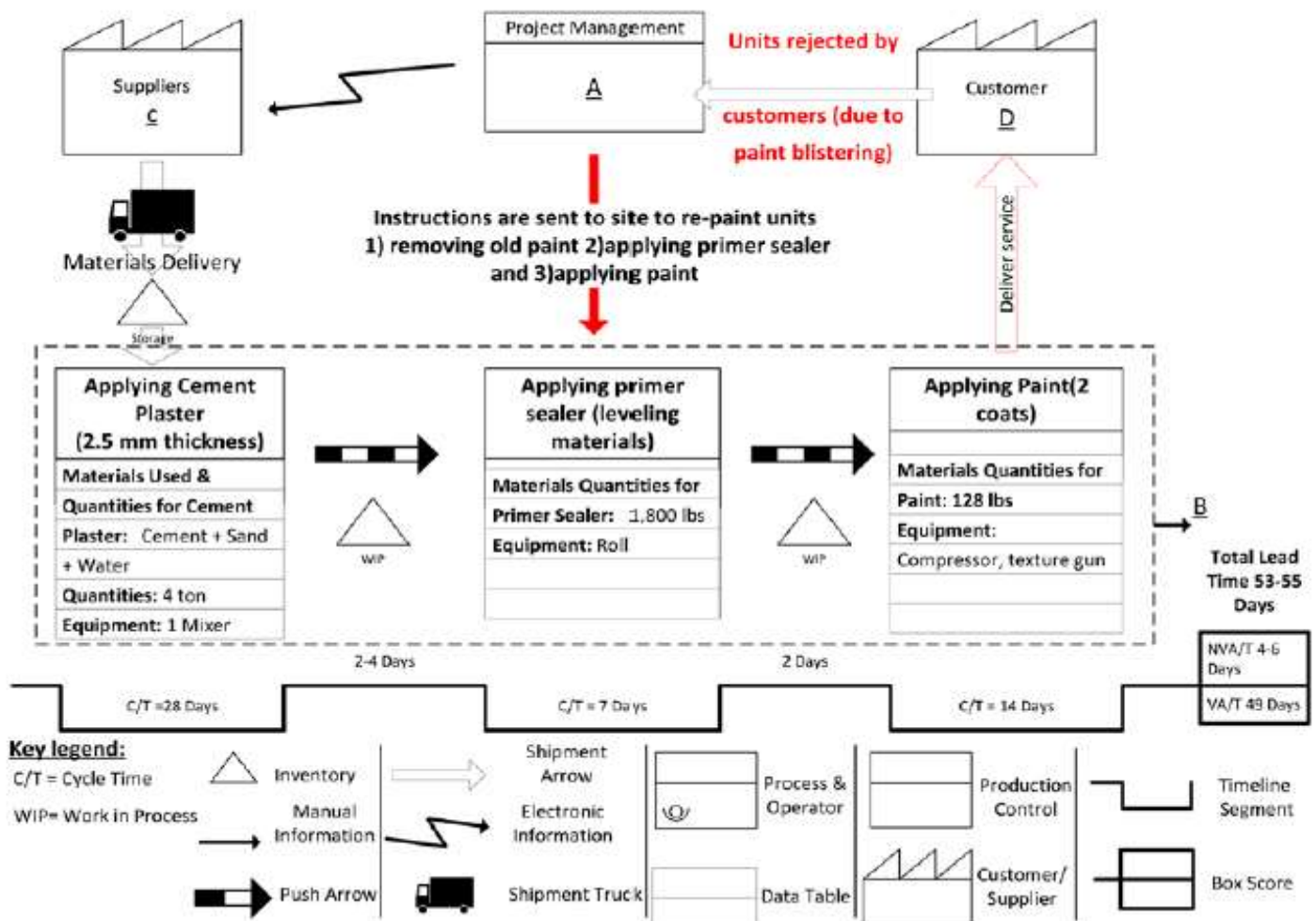


Figura 9 - Cadeia de valor mapeada para a atividade de pintura. BANAWI (2013)

5.3.4. RESULTADOS OBTIDOS

Banawi (2013) identificou junto às equipes de obra e gerência quais as possíveis relações causa-efeito para surgimento de bolhas, elaborando um diagrama de Pareto para identificar as maiores frequências de ocorrências. Esta etapa, que o autor identifica como sendo parte de ANALISAR e MELHORAR, envolveu além do gerente de projetos do empreendimento e do próprio autor também as equipes da empreiteira responsável pela execução a pintura, num framework esperado para a equipe multidisciplinar e multinível do Seis Sigma.

Ao final desta etapa foram identificadas como causas de formação de bolhas na pintura pela equipe envolvida: aplicação irregular da pintura (43% das ocorrências); profissionais pouco qualificados (31% das ocorrências); condições meteorológicas desfavoráveis (19% das ocorrências) e outros fatores não especificados (7% das ocorrências), conforme a Figura 10 ilustra.

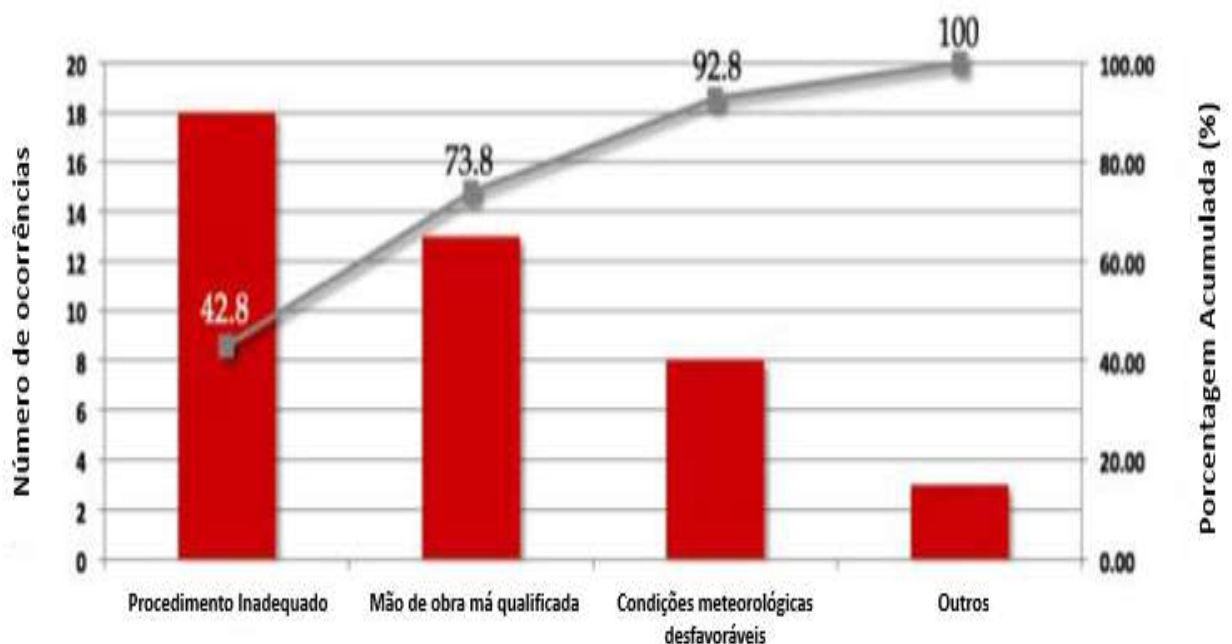


Figura 10 - Diagrama de Pareto para as patologias de pintura, adaptado pelo autor de BANAWI (2013)

Em seguida foi desenvolvido pelo autor nova cadeia de processos, inserindo novas atividades preliminares que mitigam as causas identificadas na etapa anterior. No caso estudado por Banawi (2013) estas novas atividades consistem na aplicação de uma pré-camada de material cimentício para minimizar perdas de umidade, limpeza da superfície antes da aplicação do primer

e a adoção de um período de espera de 2 a 4 dias antes de aplicação da camada final de tinta, como pode ser visto na Figura 11.

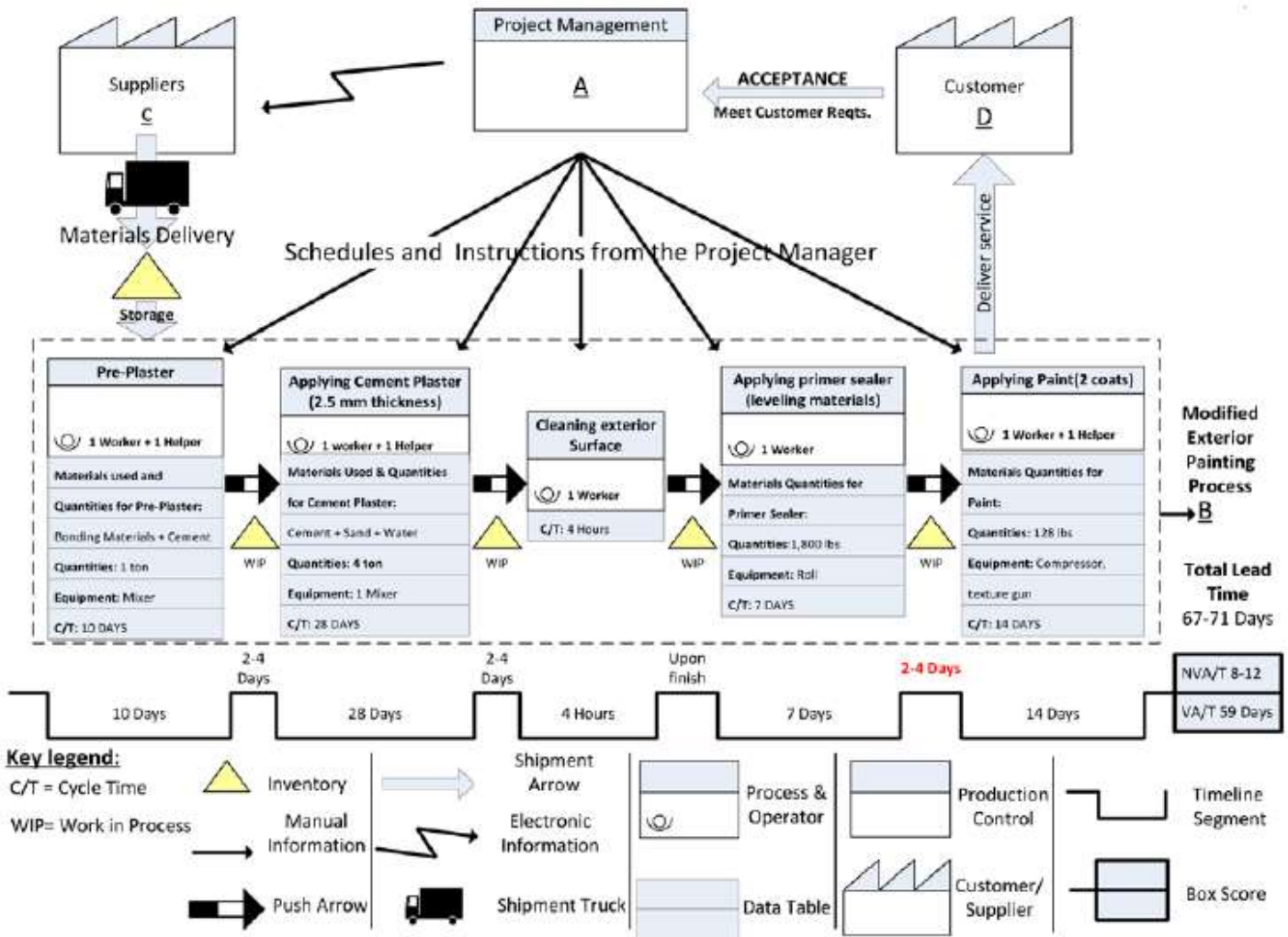


Figura 11 - Nova cadeia de processos para pintura exterior. BANAWI (2013)

5.3.5. CONCLUSÕES DO ESTUDO DE BANAWI (2013)

A metodologia quando aplicada ao empreendimento conseguiu oferecer um modelo consistente para a produção, sendo preferível ao modelo original por antever possíveis perdas relacionadas à ação do clima árido, poeira e mudanças da mão de obra local. Apesar do novo processo ser mais longo, foi superior ao original em aspectos ambientais e econômicos, produzindo menos resíduos à um mesmo custo-base (sem perdas), além de ter desempenho melhor. Cabe citar que o trabalho do autor envolve, além dos aspectos da qualidade relacionada à experiência

Seis Sigma também aspectos relacionados à metodologia LEAN, citada neste trabalho em seção anterior, e metodologia Green, de maneira que os ganhos com aplicação do trabalho possuem dimensões econômicas e socioambientais.

6. ASPECTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS DA APLICAÇÃO DE SEIS SIGMA NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES

6.1. PARTICULARIDADES A CONSIDERAR ACERCA DA IMPLEMENTAÇÃO

Conforme apresentado ao longo deste trabalho, a metodologia Seis Sigma envolve um arcabouço de ferramentas estatísticas e de qualidade cuja aplicação oferece oportunidades reais de ganhos de eficiência, eficácia e economia, minimizando perdas e maximizando o controle sobre processos. Ferramentas de qualidade já vem sendo inseridas dentro do contexto da construção civil, porém não existem muitas organizações onde tenha sido aplicado um programa bem sucedido de controle estatístico de processos. (BANAWI, 2013; RAMADAN, 2013).

Algumas explicações para este fenômeno são oferecidas, como a complexidade de algumas atividades na construção civil e a ausência de métricas próprias para efetivo controle estatístico (TEHRANI, 2010), porém o mesmo pode ser dito de outros segmentos da indústria até mesmo mais complexos, que operam em nível de sigma até mesmo superiores a 6, como é o caso da aviação civil.

Entende-se que aspectos culturais do setor da construção, tais quais a dificuldade para formação de lideranças estratégicas e treinamento da mão de obra sejam aspectos mais significativos para esta dificuldade do setor em adequar-se à metodologia. Outros aspectos importantes são os próprios processos e atividades da construção, que possuem ainda um grande grau de artesanidade, como o assentamento manual de blocos ou corte de pedras e revestimentos no local da obra que, portanto, dificultam a replicação em volume e escala dentro dos mesmos padrões. Especialmente no caso brasileiro identifica-se um atraso em relação ao estado da arte da construção quando comparada à construção em outros países. Mesenguer (1991) aponta as seguintes características na construção civil:

- i. Caráter nômade da mão-de-obra
- ii. Constância na utilização de materiais e processos;
- iii. Produção centralizada: rotinas e procedimentos baseados na criação de objetos únicos e não seriados;
- iv. Dificuldade de organização e interferências múltiplas devidas à produção centralizada;

- v. Domínio das práticas tradicionais, com grande inércia em relação a inovações;
- vi. mão de obra pouco qualificada, emprego de caráter eventual com escassas possibilidades de promoção;
- vii. Ambiente de trabalho adverso;
- viii. Pouca interferência do usuário interfere na qualidade dos produtos (as edificações em geral são objetos únicos ou quase únicos na vida do usuário);
- ix. Emprego de especificações complexas, quase sempre contraditórias e muitas vezes confusas (qualidade mal definida desde a origem);
- x. Responsabilidades dispersas e mal definidas nas etapas produtivas (ao contrário das indústrias com linha de produção em cadeia, em que a responsabilidade é concentrada, a indústria da construção tem “zonas obscuras para a qualidade”);
- xi. Sistema de produção muito flexível, e com grau de precisão menor do que o de outras indústrias

Depreende-se da pesquisa de Messenger que, enquanto há oportunidades diversas para implementação de programas de qualidade em empreendimentos da construção civil, em geral, existe uma forte resistência cultural que tem mantido este setor da indústria inerte. Um outro aspecto importante que se deve ressaltar é que a pesquisa de Messenger aponta que a construção civil brasileira vai fortemente de encontro com os aspectos mais relevantes para a implementação de uma experiência bem-sucedida de um programa Seis Sigma, apresentados neste trabalho no capítulo 4.4 como “Fatores Críticos para Sucesso do Seis Sigma”.

Entende-se portanto que para uma primeira experiência de implantação de um modelo Seis Sigma que seja minimamente bem-sucedida seria necessário primeiro eliminar ou mitigar os efeitos identificados por Messenger e listados acima, quais sejam, as dificuldades de treinamento e formação de uma cultura de trabalho, o claro mapeamento dos desperdícios e suas causas, a geração de metas atingíveis para o executar das obras e a escolha de projetos aptos a receber o Seis Sigma.

Consideradas as particularidades do método e do setor da construção em si, nas seções subsequentes do presente trabalho se proporrá identificar quais os aspectos mais relevantes e essenciais para a aplicação da metodologia Seis Sigma em obras de edificação, fundamentando-

se na literatura técnica consultada e experiências de autores sobre o tema, bem como quais os aspectos que mais dificultam sua aplicação.

6.1.1. TREINAMENTO E CULTURA ORGANIZACIONAL

Um dos aspectos principais da metodologia Seis Sigma é a divisão hierárquica e multidisciplinar das equipes de trabalho, trabalhando de forma estratégica e orientada de maneira a agregar o máximo de valor à cadeia de processos e orientada com os interesses da organização, liderança e do cliente. A implementação de um programa Seis Sigma demanda a criação de uma infraestrutura de profissionais treinados na metodologia. Fonseca (2014) propõe a seguinte estrutura de equipe de trabalho mínima para uma experiência de implementação bem-sucedida:

- I. 1 *Master Black-Belt* para cada 30 *Black-Belts*.
- II. 1 *Black-belt* para cada 100 funcionários;
- III. 1 *Green-belt* para cada 20 funcionários

De acordo com Bastos (1994, apud PANAINO, 2015) todo treinamento deve possuir uma sistemática programada, com objetivos claros e deverá atuar como meio para a transferência de conhecimentos e habilidades específicas que modificarão atitudes do profissional em treinamento em relação tanto aos demais colaboradores, à organização e às atividades a desempenhar. Desta forma, o treinamento do profissional da construção civil dentro da metodologia Seis Sigma também deverá ter uma sequência lógica a ser seguida, ao fim da qual o profissional deverá ter sua evolução avaliada, sendo necessários diversos ciclos de treinamento e performance para atingir os parâmetros esperados segundo o ciclo constante da Figura 12.

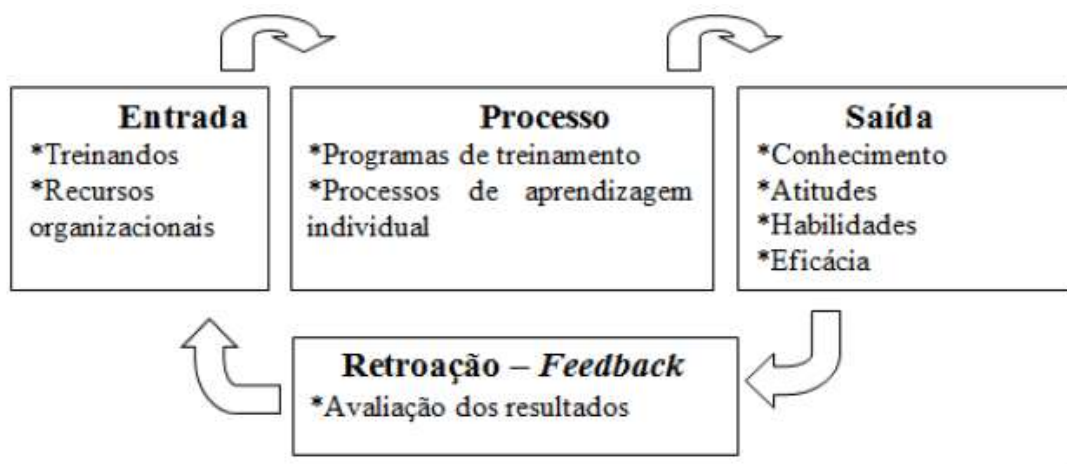


Figura 12 - Ciclo de Treinamento. PANAINO 2015

Paralelamente, Panaino (2015) estabelece que a NBR 10015:2001 – Diretrizes para Treinamento (ABNT, 2001) aponta que o envolvimento pessoal do treinando é algo virtuoso quando se direciona o treinamento, devendo-se inserir os participantes no processo de modo que eles se sintam coautores e responsáveis pelo seu sucesso e o da organização. Desta forma, as empresas são impelidas a buscar a melhoria contínua, incluindo o desempenho de seu pessoal como um fator tão preponderante para o sucesso da organização como as mudanças no mercado, tecnologia, inovações e requisitos dos clientes e de outras partes interessadas.

Dentro do corpo de conhecimentos do Seis Sigma haverá um conjunto suficiente de ferramentas adaptáveis às necessidades da organização, que, contudo, são específicas dentro do volume e performance esperados de cada profissional treinado. Assim sendo haverá ferramentas de uso constante para Champions e Black-Belts que não serão comumente utilizadas por profissionais performando como Green-Belts por exemplo, e vice-versa, haja vista a estrutura hierarquizada do método e o nível de performance esperada de cada processo.

Não existe na literatura técnica consultada um consenso sobre o conjunto de conhecimentos e das ferramentas do Seis Sigma a serem ministrados a cada nível, de forma homogênea e adaptável à todas as organizações. Contudo, a exemplo da estrutura de profissionais treinados nas ferramentas conforme proposto por Fonseca (2014), segmentada no número de Green-Belts e Black-Belts necessários para um dado número de funcionários, identifica-se na literatura técnica as seguintes ferramentas minimamente esperadas para estas duas classes, conforme Quadros 6 e 7.

Quadro 6 - Ferramentas do Seis Sigma para Green-Belts, adaptado pelo autor de "The LEAN Six Sigma Handbook"

Ferramentas da Qualidade	Ferramentas Estatísticas
Diagrama de Afinidade	ANOVA
Brainstorming	Planilhas de Controle
Diagrama de Causa e Efeito	Probabilidade
Matriz de Causa e Efeito	Estatística
Fluxograma	Distribuição Binomial
Gráficos	Capabilidade de processos
Histogramas	Média
Modelo de Kano	Mediana
Análise de Pareto	Moda
PDCA	Distribuição Normal
5S	Distribuição de Poisson
5W	Desvio-padrão
5W e 2H	Controle Estatístico de Processos

Quadro 7 - Ferramentas do Seis Sigma para Black-Belts, adaptado pelo autor de "The LEAN Six Sigma Handbook"

Ferramentas da Qualidade	Ferramentas Estatísticas
SIPOC	ANOVA
SWOT	Método de Mínimos Quadrados
Takt Time	Método de Taguchi
Mapeamento da Cadeia de valor	Testes estatísticos não-paramétricos
Matriz de Decisão	Análise por regressão
Just-in-Time	Design de experimentos
Benchmarking	Intervalos de confiança
Modelo de Kano	Box Plot
Diagrama de Pareto	Controle Estatístico de Processos
Matriz de Prioridades	Probabilidade
5S	Capabilidade de Processos

Como se depreende dos Quadros 6 e 7, as ferramentas básicas do corpo de conhecimentos do Seis Sigma para Green-Belts e Black-Belts demandam um arcabouço de conhecimentos e técnicas considerável. Este é um fator que limita sua oferta para a força de trabalho dentro do segmento da construção civil, haja vista que o número de profissionais aptos a receberem treinamentos e implementarem programas Seis Sigma se concentrariam na faixa da baixa e média gerência da execução dos empreendimentos, como engenheiros de campo, gerentes de obra e

similares, ou seja, uma parcela menor quando considerado todo o efetivo envolvido na execução de obras de edificação.

Desta forma, para melhorar a penetração dos conceitos envolvidos na metodologia e criar-se uma cultura de trabalho que envolva todos os profissionais da organização, o treinamento deve focar não apenas no uso das ferramentas da qualidade e da estatística, mas também em fatores modificadores e comportamento na organização.

Chiavenatto (1999, apud PANAINO, 2015) identifica que o treinamento também é um fator de mudanças comportamentais, as quais o autor divide em 4 grandes grupos a exemplo da Figura 11. Em paralelo, Holanda (2003, apud. PANAINO, 2015) aponta que o treinamento bem executado, que promove as alterações comportamentais, é aquele que atende as seguintes premissas:

- i. Tem seus objetivos vinculados às necessidades da organização;
- ii. Os superiores hierárquicos são conscientes de que são parte do processo;
- iii. A organização dispõe dos recursos necessários para sua realização;
- iv. É realizado de acordo com um cronograma que orienta as ações conforme ilustrado na Figura 13.

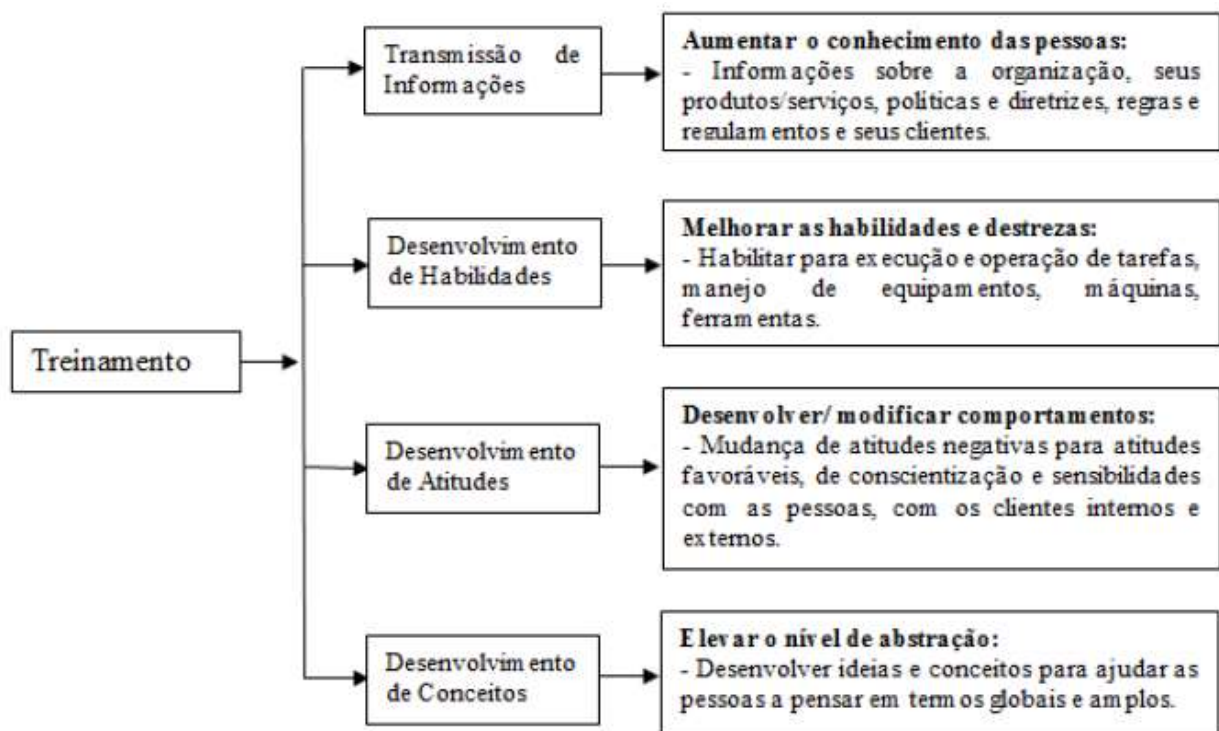


Figura 13 - Modificações comportamentais em função do treinamento. PANAINO 2015

Um fator particularmente negativo quando se trata de treinamento da mão de obra na construção civil é justamente a resistência ao treinamento em função das experiências prévias associada à formação cultural do trabalhador. Holanda (2003, apud. PANAINO, 2015) estabelece que este comportamento demonstra a necessidade de investimento em políticas de recursos humanos adequada a fim de acelerar a modernização do setor, retratando preconceitos e uma cultura tradicionalista do setor da construção civil.

Por estas razões o treinamento deve ser elaborado levando-se em consideração as características da equipe a ser treinada. Pyzdek (2003) ressalta que é necessário que seja realizado um levantamento prévio, não somente dos processos da organização, como também das atitudes, conhecimentos e habilidades das equipes a serem treinadas. Este levantamento prévio deve considerar a idade, o nível de escolaridade, o gênero e a região de origem, dados que auxiliarão na interpretação dos resultados do treinamento, pois como afirmado, a cultura e educação influenciam nas atitudes pessoais. (PANAINO, 2015)

Para implementação de uma experiência Seis Sigma na construção civil, à luz da NBR 10015:2001, indica-se, portanto, que o treinamento considere:

- i. Os objetivos e requisitos da organização;
- ii. As especificações da necessidade de treinamento;
- iii. Os objetivos do treinamento;
- iv. As metas do grupo ou metas pessoais;
- v. Os métodos de treinamento e conteúdo programático;
- vi. A programação de requisitos, tais como período de duração, datas, etapas importantes;
- vii. A equipe e materiais necessários ao treinamento;
- viii. Os requisitos financeiros;
- ix. Os critérios e métodos para avaliação dos resultados do treinamento, para medir, entre outros:
 - a. Satisfação do treinando;
 - b. Aquisição de conhecimentos, habilidades e comportamentos do treinando;

- c. Desempenho do treinando no trabalho;
- d. Satisfação do gerente do treinando;
- e. Impacto na organização do treinando;
- f. Monitoração do processo de treinamento.

Como apresentado no capítulo 3 deste trabalho, muitas destas características acima descritas são sinérgicas em relação às premissas necessárias para implementação do Seis Sigma na organização. Uma proposta interessante para o treinamento em Seis Sigma na construção civil seria encontrada em uma possível adaptação do trabalho de Panaino (2015), onde a autora elabora uma rotina programática de treinamento para profissionais da construção civil dentro da metodologia LEAN, exposta brevemente neste trabalho no capítulo 3.

Um fator motivador para esta adaptação do trabalho de Panaino, além da manifesta qualidade do conteúdo programático gerado especificamente para a construção civil brasileira, resta no fato de que a metodologia LEAN possui características muito próximas ao espírito do Seis Sigma, tendo inclusive sido incorporada ao seu corpo de conhecimento em função da aplicabilidade de seus conceitos de manufatura enxuta e pensamento enxuto.

Uma outra abordagem, igualmente interessante de ser abordada, é a rotina programática proposta por Pyzdek (2003) para treinamento das ferramentas do Seis Sigma num sentido geral. Esta abordagem, contudo, trata da apresentação do Seis Sigma e suas ferramentas para a indústria em geral, não contemplando, portanto, as limitações técnicas e culturais da construção civil, brasileira ou internacional.

Um aspecto pouco abordado na literatura técnica, é o custo de implementação de um programa Seis Sigma na construção civil, considerada a dificuldade de criar-se um framework que sustente o sucesso desse empreendimento. Em especial aponta-se a dicotomia formada entre os custos com treinamentos, e os benefícios adquiridos com o treinamento, que como apresentado devem ser realizados de forma programática e considerado à nível de organização, não somente operacional, gerencial ou financeiro.

Pyzdek (2003) identifica como exemplos destes custos com treinamento:

- i. Custos com profissionais que ministrarão os cursos;

- ii. Custos com consultores e consultorias;
- iii. Custos com aquisição de material e espaço de treinamentos;
- iv. Custos com a perda de produtividade por diminuição de horas trabalhadas;
- v. Salários.

Pyzdek (2003) também identifica como exemplos os seguintes benefícios do treinamento:

- i. Ganhos em eficiência;
- ii. Ganhos em qualidade;
- iii. Ganhos em níveis da satisfação do consumidor;
- iv. Ganhos em moral da equipe;
- v. Diminuição com substituições nas equipes
- vi. Fidelização dos fornecedores,

No caso específico da construção de edificações, os empreendimentos de médio a grande porte são invariavelmente executados por construtoras ou empreiteiras com significativa estruturação e volume de negócios suficientes para que o investimento em formação de lideranças estratégicas e profissionais treinados na metodologia Seis Sigma seja não só exequível como aceitável do ponto de vista de tempo de retorno do investimento. Em particular se salienta que, como a implementação de um programa Seis Sigma busca além da melhoria contínua de processos também a melhoria da organização como um todo, os projetos selecionados apresentariam resultados com taxa de sucesso proporcional à curva de aprendizado dos profissionais treinandos e executantes deste programa.

Assim sendo, uma vez realizado o treinamento dentro da metodologia, considerados os níveis de conhecimento e responsabilidades de cada agente dentro do projeto ou organização, e atingido o objetivo principal de criar-se um movimento virtuoso em direção à uma cultura de melhoria contínua, a organização estaria apta a iniciar a implementação das ferramentas de qualidade e estatística dentro dos processos existentes da organização. Para tal, emprega-se a ferramenta DMAIC ou DMADV, apresentadas no capítulo 4 do presente trabalho.

6.1.2. CONSIDERAÇÕES PARA APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA NA CONSTRUÇÃO

Como apresentado no Capítulo 4 do presente trabalho, existem dois conjuntos de ferramentas para implementação de um programa de melhoria contínua segundo a lógica do Seis Sigma.

O primeiro, chamado DMAIC, se destina para o planejamento da melhoria contínua somente em casos em que as metas sejam atingíveis através do aprimoramento de processos já existentes dentro da organização mediante, entre outros, do controle estatístico de processos com um intervalo de controle de 99,7% dos resultados projetados. O segundo, chamado DMADV, é uma ferramenta para a concepção de processos novos dentro da organização, fundamentando-se desde sua concepção no corpo de conhecimento da metodologia Seis Sigma.

Em ambas as aplicações DMAIC e DMADV são empregadas basicamente as mesmas ferramentas de controle estatístico e da qualidade, desde que possibilitem criar uma infraestrutura de papéis e responsabilidades, procedimentos e documentação de projeto de forma a registrar, visualizar e aplicar os controles para obtenção das metas definidas. Se considerará nesta seção do trabalho o emprego da ferramenta DMAIC, por ser a mais utilizada na literatura técnica consultada e a mais passível de ser implementada nas organizações.

A etapa inicial do DMAIC dentro do âmbito da construção civil seria ideal para identificação preliminar das oportunidades de melhoria dos processos atuais e definição clara dos objetivos organizacionais, além da formação das equipes de trabalho e, dependendo do tipo de empreendimento, utilização do SIPOC e VOC para identificação da cadeia de valor e possíveis desperdícios e suas causas geradoras.

Conhecidas as oportunidades de melhor dos processos atuais, as perdas encontradas e suas causas e efeitos, a nível de processo, poder-se-ia selecionar os projetos mais adequáveis à implementação de um programa Seis Sigma na organização. Em paralelo, autores como Kwak e Anbari (2006) e Antony et al. (2005) apontam que o sucesso de programas Seis Sigma dependem, entre outros, da significância das melhorias impostas aos processos segundo o ponto de vista do cliente, ou seja, como se relacionam com as especificações e expectativas do cliente em termos de níveis Sigma. Em termos abrangentes, não há vantagem de obter-se melhorias possíveis de

processos que não sejam entendidos como fontes de desperdício pelo cliente, por mais que não existam processos perfeitos.

Isso representa, ao menos na teoria, uma restrição à projetos relacionados à construção de edificações uma vez que cada projeto é, em essência, uma atividade de longíssimo prazo que não necessariamente estará em todos os momentos alinhado com as expectativas do cliente ou usuário em todas as etapas da vida útil de serviço da obra já pronta. Com vidas de projeto média de 50 a 80 anos, não é coerente que se mantenham do ponto de vista do cliente/usuário a mesma qualidade em relação à cadeia de valor em uma obra de edificação, ao término de sua vida útil, conforme percebida no início de sua execução, onde fatores como a evolução do nível de exigência do usuário rapidamente faram com que os modelos de qualidade utilizados se tornem inadequados.

Não obstante, quando considerados apenas as etapas de incorporação e construção, e em alguns casos manutenção, as vantagens de implementação de um programa como o Seis Sigma são enormes, apesar das dificuldades técnicas e culturais presentes no segmento de construção, em especial no caso brasileiro. Abrantes (1995, apud MORAES, 1997) indica que no caso especial da construção civil a implementação de novos programas de qualidade é dificultada por fatores intrínsecos ao segmento, tais como:

- i. A diversidade dos intervenientes nas várias fases de projeto da construção;
- ii. A grande dispersão das obras, agravadas na maioria dos casos pela pequena produção em série;
- iii. O caráter itinerante da indústria da construção, com sucessivas mudanças de canteiro, de tipo de obras e de pessoal;
- iv. A multiplicidade de materiais, de componentes e tecnologias utilizadas, bem como dos respectivos fornecedores.

Dentre os itens listados acima, é fundamental para a etapa DEFINIR o conhecimento destes fatores intervenientes da construção, a fim de melhor compreender a qualidade dos processos atuais e estabelecer as metas e objetivos para o programa Seis Sigma. Uma diagramação destes agentes é oferecida por Moraes (1997), reproduzida na Figura 12:

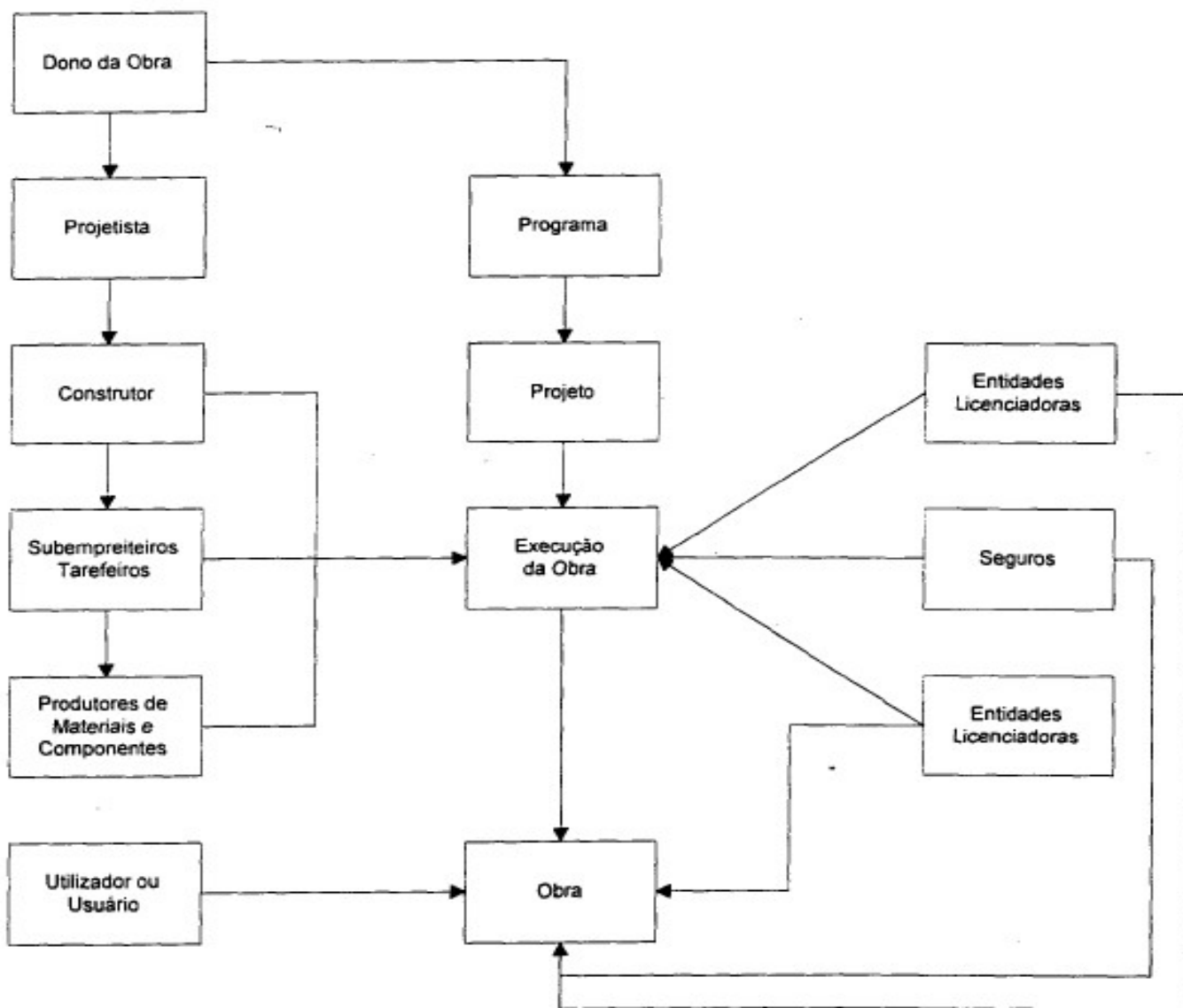


Figura 14 - Fatores intervenientes na construção civil. MORAES (1997)

Seis Sigma, na essência, trata de reduzir a variabilidade e minimizar desperdícios, de toda natureza. Estes desperdícios podem ser definidos na construção civil de diversas formas, contudo todas essencialmente podendo ser tratadas por perdas em termos de homem-hora, materiais de construção, divisas financeiras ou mesmo uma combinação destes. Neste sentido, as ferramentas SIPOC, VOC e Diagramas de Frequências seriam de grande importância.

Desta forma, do ponto de vista dos processos, as melhores oportunidades de implementação seriam aquelas que direcionem esforços para mitigar ou até mesmo eliminar as perdas experimentadas na construção, amplamente estudadas e até certo ponto conhecidas. Skoyles (1974, 1976 e 1987, apud MORAES 1997) divide estas perdas entre perdas diretas e indiretas.

Perdas diretas seriam aquelas que podem ser prevenidas, envolvendo atividades de relocação e renovação de materiais e decorrentes da ineficiência ou ausência de mecanismos de controle no recebimento, estocagem, empilhamento e transporte, bem como das perdas com recortes e descartes excessivos de material.

Skoyles oferece as seguintes tipologias para as perdas diretas (MORAES 1997):

- i. Perdas de entrega e transporte, que abrange todas as perdas no transporte entre sítios, transferências, descarga e estocagem inicial;
- ii. Perdas de armazenagem e transporte, correspondente ao empilhamento incorreto, falhas na descarga e armazenagem, além do transporte de materiais dentro do canteiro;
- iii. Perdas de conversão, devidas ao corte de padrões não econômicos, como madeiras, lâminas etc.
- iv. Perdas no assentamento, correspondem aos materiais derrubados, danificados, roubados ou descartados durante o assentamento da obra;
- v. Perdas devido a cortes, ocorrem no corte dos materiais para adequá-los nas dimensões, vínculos e padrões irregulares;
- vi. Perdas devido a aplicação ou residual, são os saldos ou resíduos deixados nas embalagens e não considerados ou computados nos custos;
- vii. Perdas causadas por usos diversos, varia desde materiais emprestados para utilização em outros trabalhos que não o originalmente proposto até danos por usos seguidos ou sucessivos;
- viii. Perdas criminosas, correspondem aos furtos, roubos e pelo vandalismo no canteiro;
- ix. Perdas por uso incorreto, quando do uso de material inadequado ou errado ou ainda, do emprego de materiais de qualidade duvidosas;
- x. Perdas por incorreção na especificação ou nos quantitativos, que implicam na retificação ao longo da obra ou em compensações, por vezes desvantajosas;
- xi. Perdas de aprendizado, originárias dos erros cometidos por novatos ou pessoal não preparado;

- xii. Perdas devido ao uso não econômico das instalações, ocorrem quando os empregados não dispõem de forma ótima o canteiro disponível;
- xiii. Perdas de gerenciamento, traduzem os erros de decisão ou a indecisão, evidenciando também a falta de supervisão.”

As perdas indiretas contemplariam os materiais inadvertidamente agregados ou incorporados à obra, de forma desnecessária e oriunda de processos tais como a superdosagem de argamassas e de concretos, alteração no volume e quantidade dos materiais empregados na correção de imperfeição de processo resultantes de falhas e patologias na execução das obras de edificação.

Skoyles oferece para estas perdas a seguinte tipologia (MORAES 1997):

- i. Perdas por substituição, no caso de materiais que são empregados de forma diferente da proposta especificada, não causando desperdício direto, mas perdas financeiras;
- ii. Perdas na produção, quando do emprego de materiais ou serviços em desacordo com o previsto em planta, como escavações desnecessárias ou em excesso, bem como argamassas despendidas para regularizar paredes ou superfícies desiguais;
- iii. Perdas por negligência, correspondem ao uso de materiais além do especificado, ou trabalho censurado, cujas perdas somente aparecem quando da rejeição e demolição do executado, como os excessos na concretagem de fundações;
- iv. Perdas operacionais, correspondem aos materiais abandonados no canteiro, sem qualquer reaproveitamento, como fundação de barraco, entre outros;
- v. Perdas consequentes, as quais correspondem ao tempo despendido em atividades de correção de erros ou retrabalho.

Entende-se, portanto, que para um programa Seis Sigma dentro da construção civil ser elaborado conforme as necessidades do setor, considerando as peculiaridades da construção de edificações expostas nesta seção do trabalho, a etapa DEFINIR idealmente concebida deve contemplar os mecanismos de perdas das atividades usuais envolvidas na execução do empreendimento como uma primeira estratégia para compreensão dos processos envolvidos no executar das obras, de maneira a melhor fundamentar o estabelecimento de metas atingíveis.

Expostas as considerações acerca da etapa DEFINIR, o próximo desafio da organização que queira implementar um programa Seis Sigma para projetos de construção civil passa a ser o desenvolvimento de parâmetros mensuráveis para a qualidade, através da identificação dos fatores críticos à qualidade que possam ser medidos e analisados dentro de uma estrutura metodológica. Esta etapa recebe o nome MEDIR.

Esta é uma etapa crítica e que segundo a literatura técnica consultada tem se mostrado a mais elusiva, haja vista a multiplicidade de variáveis presentes em um empreendimento de construção civil. Justamente esta multiplicidade de projetos, fornecedores, atividades e especificações técnicas torna complexa a elaboração de uma hierarquização dos processos mais importantes para a qualidade bem como a adoção dos melhores indicadores que demonstrem como agregar valor à cadeia de processos.

Enquanto as métricas e indicadores dependem estritamente dos processos da construção avaliados, a falta de muitas atividades seriadas e/ou fidedignamente replicáveis dentro do contexto da construção de edificações faz com estas mesmas métricas e indicadores sejam muito mais facilmente expressas em termos descritivos que estatísticos, a priori. Isso significa que medições no campo, balanços de quantidades de materiais e balanços financeiros possam ser num primeiro momento mais eficazes como métricas e indicadores do que estudos sobre populações ou testes de hipóteses e experimentos.

Uma proposta para formação de métricas básicas talvez possa ser encontrada na definição de Souza (2005) para formação de índices globais de perdas. Conforme aponta o autor, perdas materiais sempre podem ser expressas em termos descritivos, como unidades físicas e quantidades percentuais. Considerando-se o exemplo percentual, o índice global de perdas de material poderia ser expresso pela equação:

$$IPM Glob (\%) = \left(\frac{QMR - QMT}{QMT} \right) \times 100$$

Onde:

QMR = quantidade de materiais real aplicada

QMT = quantidade de materiais teórica

Analogamente, a mesma formulação poderia ser utilizada para descrever perdas em termos de homem-hora ou perdas financeiras, expressos também em termos percentuais. Quando considerados os índices já existentes de produtividade para formação de preços da construção, em sistemas como o SINAPI, é possível criar uma plataforma de dados relativamente calibrados para a realidade da mão-de-obra e preços de insumos na região onde se executa o empreendimento e que poderiam servir, entre outros, como um benchmark inicial para a produção. Apesar desta formulação tratar do processo como um todo, Souza (2005) indica que estes indicadores podem ser sintetizados de forma fracionada, mediante a avaliação e controle destas variáveis a cada etapa do processo analisado, o que permitiria uma avaliação muito mais sensível e próxima dos processos.

Por último, entende-se que a metodologia original para as etapas ANALISAR, MELHORAR e CONTROLAR do corpo de conhecimentos do Seis Sigma, suas ferramentas estatísticas e da qualidade bem como as experiências associadas nas mais variadas indústrias não diferem daquelas demandadas pela construção civil de edificações, podendo ser aplicadas conforme preconizado nos trabalhos consagrados de autores como Pyzdek (2003) sem necessidade de considerações especiais ou adequações.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou verificar a adaptabilidade do método Seis Sigma à construção civil como uma alternativa metodológica que possibilite alcançar um novo patamar de qualidade. Este autor entende haver no método Seis Sigma uma quantidade robusta de ferramentas estatísticas e de qualidade, que permitem promover as mudanças necessárias às empresas do segmento da construção civil para que alcançar este patamar de qualidade, desde que se crie uma infraestrutura organizacional propícia para implementação do método. Para tal são consideradas críticas para o sucesso, entre outros, o alinhamento da liderança com os valores da melhoria contínua e o contínuo treinamento de profissionais nas ferramentas e metodologia.

Há contudo, a necessidade de se ressaltar que apesar do setor de construção de edificações ser economicamente pujante, complexo e dinâmico, incorporando em sua cadeia de processos aspectos dos subsetores da indústria de transformação e serviços através da cadeia de suprimentos, fornecedores, projetistas, incorporadoras e construtoras, a sua principal característica é a heterogeneidade, englobando desde empreendimentos que trazem o estado da arte da construção civil àqueles cuja técnica é tradicional e regionalizada, sendo condicionada por características locais próprias, hábitos e culturas e estas são particularidades especiais que devem ser levadas em consideração antes e durante a implementação do método, considerando-se inclusive que muitas delas são obstáculos ao sucesso do programa.

Este autor entende que, talvez mais que em outras indústrias, uma adequada rotina de treinamentos seja necessária em organizações envolvidas com a construção civil em função da baixa qualificação técnica da mão de obra nacional, o que invariavelmente implicará em custos adicionais que normalmente não são considerados pelas empresas do setor e que talvez tornem a metodologia menos atraente. Esta perda de atratividade se tornaria mais significativa quando consideradas as particularidades do setor. A alta rotatividade de funcionários e o caráter itinerante da mão de obra e dos empreendimentos, aliada à baixa escolaridade, torna a relação custo-benefício da implementação de cursos e treinamentos dependente da manutenção dos treinandos dentro da organização e da perpetuação das práticas de melhoria contínua, algo nem sempre possível na maioria dos casos, exceto no caso de empresas mais próximas ao setor de serviços,

como empresas de projetos de engenharia ou consultorias especializadas. Contudo, ressalta-se, não há indícios ainda de uma total e eficiente incorporação do método na construção civil nacional.

Por último, para trabalhos futuros acerca do tema, propõe-se a implementação da ferramenta DMADV em contraste ao DMAIC, desde o instante da concepção de um projeto de engenharia.

REFERÊNCIAS

- ANTONY, J., BANUELAS, R. (2002), "Key ingredients for the effective implementation of six sigma program", *Measuring Business Excellence*, Vol. 6 No. 4, pp. 20-7.
- ANTONY, J. (2004). *Some Pros and Cons of Six Sigma: An Academic Perspective*. The TQM Magazine. 16. 303-306. 10.1108/09544780410541945.
- ANTONY, J., KUMAR, M., MADU, C.N, 2005, "Six sigma in small-and medium-sized UK manufacturing enterprises: some empirical observations", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 22 No. 8, pp. 860-874
- BANAWI, A.A ,2013, *Improving Construction Processes by Integrating LEAN, GREEN and SIX SIGMAS*. Ph.D dissertation, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, EUA
- BARROS, H. T. G., 2017, *Resíduos de Construção e Demolição: Aspectos e Diretrizes*, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, BRASIL
- CAMPOS, P.H.P, 2012, *A Ditadura das Empreiteiras: as empresas nacionais de construção pesada, suas formas associativas e o Estado ditatorial brasileiro, 1964-1985*. Tese de doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, BRASIL
- DE FEO, J., BAR-EL, Z., 2002. *Creating strategic change more efficiently with a new design for six sigma process*. *Journal of Change Management* Vol 3., pg. 60–80.
- DE JESUS, A. R., 2015, *Seis Sigma em grandes indústrias no Brasil: Problemas de implementação e fatores críticos de sucesso*. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, BRASIL.
- DE OLIVEIRA, C. B., 2010, *Avaliação de Indicadores de Planejamento e Controle da Produção na Construção: Boas práticas, Eficácia e Prazo*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, BRASIL.
- FELIPPE. E. N, 2011, *Macrocomplexo da Construção, um Diagnóstico do Setor Brasil e Paraná*, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, BRASIL
- FONSECA, L., LEITE, D., LIMA, V. 2014, *Six sigma methodologies: Implementation and impacts on Portuguese small and medium companies (SMEs)*. *International Journal for Quality Research*, ISSN 1800-6450. 8124. 583-594.
- HANSEN, K.; KENT, Z. (2011). *Civil Engineer's Handbook of Professional Practice*, John Wiley & Sons. 744 páginas.

- HASS, D. C. G., MARTINS, L. F., 2011, *Viabilidade Econômica do Uso do Sistema Construtivo Steel Frame como Método Construtivo para Habitações Sociais*, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, BRASIL.
- KOVACH, J., STRINGFELLOW, P., TURNER, J., CHO, B.R. (2005), “*The house of competitiveness: the marriage of agile manufacturing, design for Six Sigma, and lean manufacturing with quality considerations*”, Journal of Industrial Technology, Vol. 21 No. 3, pp. 1-10.
- KWAK Y.H., AMBARI, F.T. (2006), “*Benefits, obstacles, and future of Six Sigma approach*”, *Technovation*, Vol. 26 Nos 5/6, pp. 708-715.
- MELLO, L. C. B. de B.; AMORIM, S. R. L. de. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Prod.**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009 .
- MESENGUER, A.G. *Controle e Garantia da qualidade na construção*. São Paulo, Sinduscon, Projeto, PW, 1991.
- MORAES, M. C. B., 1997, *As perdas na construção civil: Gestão do Desperdício. Estudo de caso do condomínio Nova Esmeralda*, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, BRASIL.
- OLIVEIRA, O. J. de, 2005, *Modelo de gestão para pequenas empresas de edifícios*, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, BRASIL
- OLIVEIRA, T. Y. M. de, 2015, *Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações*, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, BRASIL.
- PAINANO, B. B de F.; 2015, *Treinamento e Capacitação dos profissionais da construção civil baseados nos conceitos da mentalidade enxuta*, Tese de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, BRASIL
- PINTO, J. C. C. C., 2016, *Análise comparativa da execução de obra de edificação utilizando estrutura de concreto pré-fabricada*, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, BRASIL.
- PINTO, L. T. F, 2019, *Gestão e gerenciamento de obras de edificações habitacionais com terceirização total das atividades fim*, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, BRASIL.
- PYZDEK, T., 2003, *The Six Sigma handbook*, 2ª Ed., McGraw-Hill, New York, EUA.
- RAMADAN, A. M. S., 2013, *Adopting Six Sigma in Construction Projects*, Post-graduation thesis, Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport, Alexandria, EGITO

- RAMOS, R. de O., 2018, *Aplicação do método Seis Sigma como indicativo da qualidade de obras de construção civil*, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018
- RIBEIRO, N. P., 2011, Anais do XXVI Simpósio Nacional de História –ANPUH • São Paulo
- SALAH, S., RAHIM, A., CARRETERO, J, *The integration of Six Sigma and lean management*. International Journal of Lean Six Sigma. n1 (2010), pg. 249-274
- SATO, L., 2011, *A evolução das técnicas construtivas em São Paulo: Residências unifamiliares de alto padrão*, Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, BRASIL.
- SHERIDAN, J.H. (2000), “Lean sigma synergy”, Industry Week, Vol. 249 No. 17, pp. 81-2.
- SOUZA, U. E. L., *Como reduzir perdas nos canteiros: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil* — São Paulo, PINI, 2005.
- STEWART, R., SPENCER, C., *Six-sigma as a strategy for process improvement on construction projects: A case study*. Construction Management & Economics. n24. (2006) pg. 339-348
- RADHIKA, R, SUKUMAR, S., *An overview of the concept of LEAN construction and barriers in its implementation*, International Journal of Engineering Technologies and Management Research, Vol. 4, No. 3(2017), pg. 13-26.
- TEHRANI, M. D., 2010, *Performance Improvement in Construction Project based on Six Sigma Principles*, Master Thesis, University of Boras, Boras, SUÉCIA
- VILLELA, F. F, 2007, *Indústria da Construção Civil e Restruturação Produtiva: Novas Tecnologias e Modos de Socialização Construindo o Intelecto Coletivo (“General Intellect”)*, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campinas, Campinas, São Paulo, BRASIL.
- WERKEMA, M. C. C., *Criando a cultura Seis Sigma*. Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro, 2002
- YANG, K., EL-HAIK, B., *Design for Six Sigma*”, Ed. McGraw-Hill, 2003