



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



RENAN DE OLIVEIRA RAMOS

**Aplicação do método Seis Sigma como indicativo da qualidade
de obras de construção civil**

Uberlândia

2018

RENAN DE OLIVEIRA RAMOS

**Aplicação do método Seis Sigma como indicativo da qualidade
de obras de construção civil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Instituição
Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Dogmar Antônio de Souza Junior

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me abençoado em toda essa caminhada. Aos meus pais, meu irmão e todos meus familiares por terem sido o suporte durante toda minha vida e na minha graduação. Aos meus amigos, por terem me ajudado nos momentos de dificuldade. À Universidade Federal de Uberlândia, por toda sua estrutura capaz de formar um profissional. E por fim ao meu orientador, Dogmar Antonio de Souza Junior, por ter me ajudado passando conhecimentos.

RESUMO

Qualidade está ligada a conformidade com as exigências do produto, adequação ao uso, dentre outros fatores. Existem diversos sistemas de qualidade capazes de aprimorar os negócios de uma empresa, porém é necessário empregar técnicas para facilitar a implantação dos mesmos. Neste sentido, uma alternativa é o uso destes sistemas associados a ferramentas estatísticas. Alguns sistemas para o aprimoramento da qualidade em obras são o PBQP-H, programa criado pelo governo federal cuja meta é organizar o setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade do habitat e a modernização da produção e a ABNT NBR ISO 9001:2015 cujo principal objetivo é melhorar constantemente as práticas para suprir as necessidades dos clientes, alcançando o nível desejado de satisfação na ponta da cadeia de consumo. Um método para controle de qualidade é o Seis Sigma, o qual permite uma parametrização dos dados para melhoria dos processos de produção de uma empresa. O Seis Sigma traz elementos de qualidade, como a adoção estruturada do pensamento estatístico e o uso intensivo de ferramentas estatísticas e a sistemática de análise de variabilidade. Neste trabalho foi realizada uma pesquisa de campo com o intuito de obter parâmetros para a aplicação do método Seis Sigma na construção civil. A pesquisa serviu de base para se verificar as principais não conformidades ocorrentes em obras e suas principais causas geradoras. A partir dos dados obtidos nos questionários da pesquisa foi aplicado o método Seis Sigma para uma obra de residência unifamiliar. Os resultados obtidos indicaram um nível Sigma intermediário e que indica a necessidade de melhorias no processo produtivo.

Palavras-chaves: Seis Sigma, Qualidade, ABNT NBR ISO 9001, PBQP-H.

ABSTRACT

Quality is linked to compliance with product requirements, suitability for use, among other factors. There are several quality systems capable of improving the business of a company, but it is necessary to employ techniques to facilitate their implementation. In this sense, an alternative is the use of these systems associated with statistical tools. Some systems for quality improvement in works are the PBQP-H, a program created by the federal government whose goal is to organize the construction industry around the improvement of habitat quality and modernization of production and ABNT NBR ISO 9001: 2015 whose main objective is to constantly improve practices to meet the needs of customers, reaching the desired level of satisfaction at the end of the consumer chain. One method for quality control is Six Sigma, which allows a parameterization of the data to improve the production processes of a company. Six Sigma brings quality elements such as the structured adoption of statistical thinking and the intensive use of statistical tools and the systematic analysis of variability. In this work, a field research was carried out with the purpose of obtaining parameters for the application of the Six Sigma method in civil construction. The research served as a basis to verify the main nonconformities occurring in works and their main generating causes. From the data obtained in the research questionnaires, the Six Sigma method was applied to a single-family residence project. The obtained results indicated an intermediate level Sigma and that indicates the necessity of improvements in the productive process.

Keywords: Six Sigma, Quality, ABNT NBR ISO 9001, PBQP-H.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo.....	12
1.2	Estrutura do trabalho	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Generalidades sobre a qualidade	13
2.1.1	Fluxogramas	13
2.1.2	Diagrama de causa e efeito.....	14
2.1.3	Histogramas.....	15
2.1.4	Gráficos de controle ou gráficos de tendência	16
2.1.5	Folhas de Checagem.....	17
2.2	ABNT NBR ISO 9001:2015	18
2.3	PBQP-H.....	20
2.4	Método Seis Sigma.....	21
2.4.1	A métrica utilizada na metodologia Seis Sigma.....	22
2.5	Não conformidades em obras de construção civil.....	25
3	METODOLOGIA	26
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	28
4.1	Análise das não conformidades em obras de construção civil	28
4.2	Análise das causas geradoras das não conformidades.....	29
4.3	Aplicação do método Seis Sigma.....	38
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A – Quadro de defeitos ocorrentes na Construção Civil e suas principais causas.....	45
	APÊNDICE B – Questionário de defeitos.....	48
	APÊNDICE C – Questionário de causas de defeitos em obras de Construção Civil.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de fluxograma	14
Figura 2: Exemplo de diagrama de Causa e Efeito	15
Figura 3: Exemplo de histograma.....	16
Figura 4: Acompanhamento da produtividade da mão-de-obra: movimento de terra.....	16
Figura 5: Diagrama de Pareto	18
Figura 6: Processo de avaliação da certificação ABNT NBR ISO 9001.....	19
Figura 7: Arranjo Institucional do PBQP-H.....	20
Figura 8: Representação da curva Gaussiana	25
Figura 9: Resultados obtidos para a ocorrência de defeitos em obras de construção civil..	29
Figura 10: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de recalques de fundação.....	30
Figura 11: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de deformações excessivas dos elementos estruturais	30
Figura 12: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de fissuração da alvenaria.....	31
Figura 13: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de mau funcionamento das redes de distribuição hidrossanitárias.....	32
Figura 14: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de redes de distribuição elétrica defeituosas.....	32
Figura 15: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de redes de distribuição de gás defeituosas	33
Figura 16: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de umidade nas paredes	34
Figura 17: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de fissuras no revestimento	35
Figura 18: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de desaprumo das paredes	36
Figura 19: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de desnivelamento do teto	36

Figura 20: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de desalinhamento de peças cerâmicas ou de granito	37
Figura 21: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de desnivelamento de peças cerâmicas ou de granito	38
Figura 22: Estrutura analítica de projeto de residência unifamiliar.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista de símbolos mais usuais em fluxogramas.....	17
Tabela 2: Tabela de conversão de níveis Sigma.....	24
Tabela 3: Resultados de DPMO e Nível Sigma para os diferentes índices de ocorrência de defeitos nas respostas	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Lista de símbolos mais usuais em fluxogramas	14
--	----

1 INTRODUÇÃO

Qualidade está ligada a conformidade com as exigências do produto, adequação ao uso, dentre outros fatores. Neste trabalho será abordado alguns temas que serão utilizados como ferramentas na melhoria da qualidade nos produtos e serviços, empregados prioritariamente no setor de construção civil.

O sistema de qualidade em uma empresa é um requisito importante para se obter melhores resultados nos processos, como redução de custos, maior eficiência, redução de defeitos, melhoria nos serviços, culminando com o aumento da satisfação do cliente. Na construção civil observa-se que muitas empresas investiram desde a década de 90 na obtenção de certificações como a ABNT NBR ISO 9001:2015 e o Programa Brasileiro de Qualidade e da Produtividade do Habitat (PBQP-H), no entanto, nem sempre os resultados almejados são alcançados (FRAGA, 2011).

O método de controle de qualidade Seis Sigma é uma ferramenta utilizada internacionalmente para conhecer os problemas e melhorar os processos internos de empresas, na qual tem-se escala de qualidade (ENDEAVOR, 2005). Ainda de acordo com o mesmo autor desde o nível mais baixo, com muitos defeitos e problemas com perda devido à má qualidade, até o nível mais alto de excelência dentro do que representa o trabalho da metodologia do Seis Sigma.

Para a aplicação deste sistema devem ser definidas metas, como por exemplo: entregar uma obra no prazo. Além disto, os projetos devem ser estruturados por meio de uma estratégia denominada DMAIC: Definir, Mensurar, Analisar, Incrementar e Controlar (CASTRO, 2014).

De acordo com Carrion (2005), na construção civil, há diversos problemas de não conformidade, por exemplo excentricidade acima da tolerância nas estacas, problemas na concretagem de vigas e lajes, controle tecnológico, por exemplo não alcance da resistência do concreto aos 28 dias, esquadrias não niveladas, acabamento danificado, falha na execução de instalações de telefonia, elétrica, hidrossanitária, de incêndio, de gás, defeitos na pintura, dentre outros problemas encontrados na construção civil que carecem de um tratamento para melhoria da qualidade do produto. Ao se aplicar o método Seis Sigma, a meta é reduzir a

quantidade de não conformidades, e conseqüentemente o custo devido os reparos, reforços e recuperações.

Justifica-se, portanto, a importância deste trabalho devido aos problemas encontrados em obras de construção civil. São verificadas diversas não conformidades nos processos construtivos, transformando assim o setor, em uma área a ser explorada, para a melhora na qualidade dos processos e serviços da construção civil. Será verificada a eficácia de uma ferramenta específica, o método Seis Sigma, que é um método utilizado internacionalmente em diversas áreas.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é identificar as não conformidades ocorrentes com mais frequência em obras de construção civil e suas causas geradoras, além de estudar a viabilidade técnica de aplicação do método Seis Sigma para o controle da qualidade de obras, sendo que será utilizado como exemplo uma obra de residência unifamiliar.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em capítulos de forma a facilitar sua compreensão. Sendo que no capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica sobre qualidade, as certificações ABNT NBR ISO 9001 e PBQP-H e uma descrição detalhada do método Seis Sigma.

No capítulo 3 é exposta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho, desde como foi feita a revisão bibliográfica, até como foi alcançado os parâmetros estatísticos utilizados no capítulo 4.

No capítulo 4 são analisados os resultados da pesquisa feita em conjunto com empresas de Construção Civil e engenheiros autônomos e apresentada a aplicação do método Seis Sigma numa situação específica, obra de residência unifamiliar. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades sobre a qualidade

A palavra qualidade quer dizer que dá característica para algo, que a diferencia das outras como: modo de ser, atributo, aptidão, disposição, moral entre outros fatores (SILVA, 2008). No caso do trabalho, a palavra qualidade está ligada a conformidade com as exigências do produto, adequação ao uso, dentre outros fatores (JURAN, 1991).










Os modelos de qualidade são programas utilizados pelas empresas para aprimorar seus negócios e possuem uma estrutura teórica consistente. Para passar da teoria para a prática é necessário a empregar técnicas que simplifiquem e facilitem a implantação do sistema de qualidade, obtendo resultados imediatos e significativos. As técnicas passam de modelos estatísticos elementares para matrizes de fácil manipulação gerando resultados compensadores (AMBROZEWICZ, 2013).

O conjunto de técnicas de qualidade total envolve instrumentos como gráficos, formulações práticas, esquemas de funcionamento, mecanismos de operação, ou seja, métodos estruturados. As ferramentas referem-se a análise prática dos processos produtivos, ou seja, elas passam a ideia do que acontece na prática para um modelo pré-definido e cada dispositivo está relacionado a uma área de funcionamento do sistema de qualidade (AMBROZEWICZ, 2013). Nas próximas seções serão detalhadas algumas ferramentas utilizadas na gestão de qualidade.

2.1.1 Fluxogramas

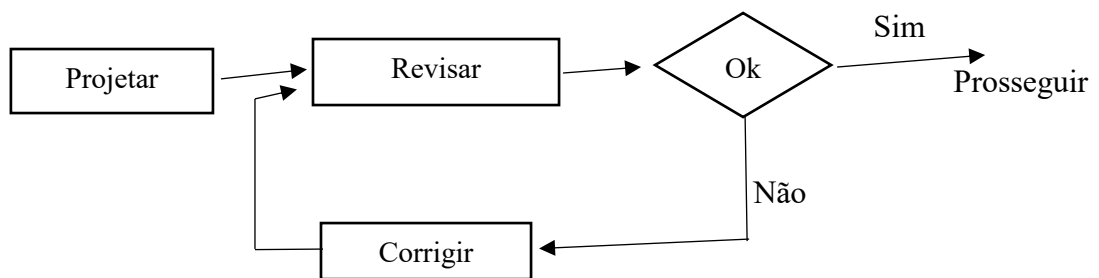
De acordo com Ambrozewicz (2013) uma ferramenta que pode ser utilizada para o controle de qualidade são os fluxogramas. Eles representam graficamente a sequência das etapas pelas quais um processo deve passar. Facilitam o entendimento da operação do sistema por todos os envolvidos tornando o processo mais claro e fácil de ser gerenciado. Sua utilização vai desde processos globais a uma prática específica. Os fluxogramas podem ser de diversos tipos, contendo diferentes simbologias e métodos. No Quadro 1 são apresentados os símbolos mais utilizados em fluxogramas e o seu significado e na Figura 1 é apresentado um exemplo de fluxograma.

Quadro 1: Lista de símbolos mais usuais em fluxogramas

Símbolo	Significado
	Operação
	Movimento
	Ponto de decisão
	Inspeção e controle
	Documento impresso
	Espera
	Armazenagem
	Sentido de fluxo
	Transmissão
	Limites

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2013)

Figura 1: Exemplo de fluxograma

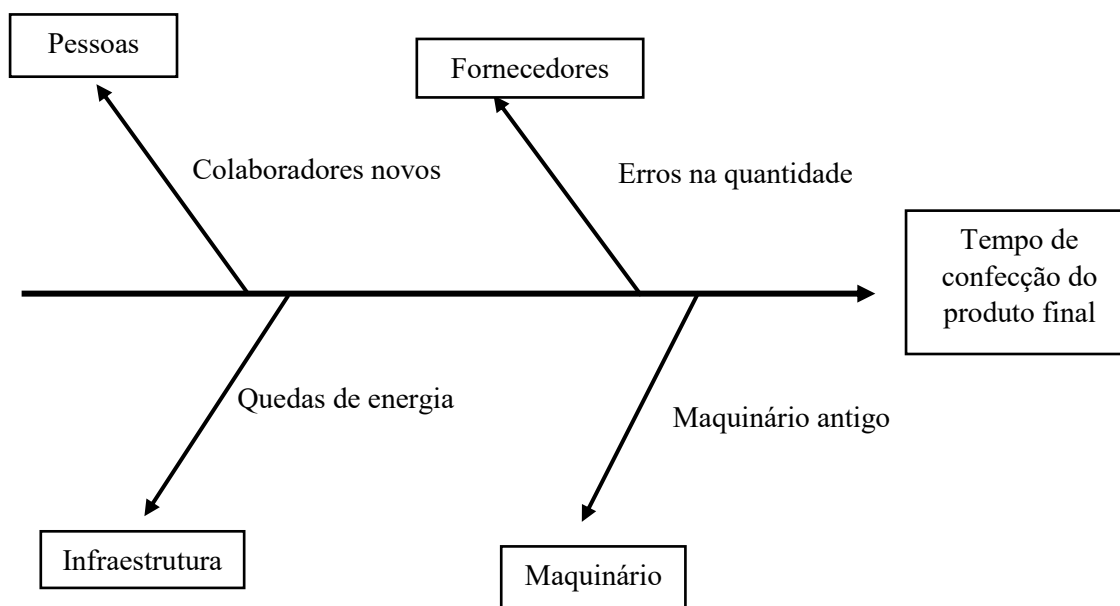


Fonte: Adaptado de Qualidade online

2.1.2 Diagrama de causa e efeito

Para Ambrozewicz (2013) e Vieira (1999) o diagrama de causa e efeito também conhecido como diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe. É um instrumento voltado para a análise de processos produtivos e possui um eixo onde se mostra um fluxo e operações. As ramificações representam contribuições secundárias ao processo analisado. Por meio do diagrama é possível ilustrar as causas que provocam o efeito final, desde as principais até as causas menos importantes. Na Figura 2 ilustra-se um exemplo de diagrama de Causa e Efeito.

Figura 2: Exemplo de diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Adaptado de Certificação ISO (2018)

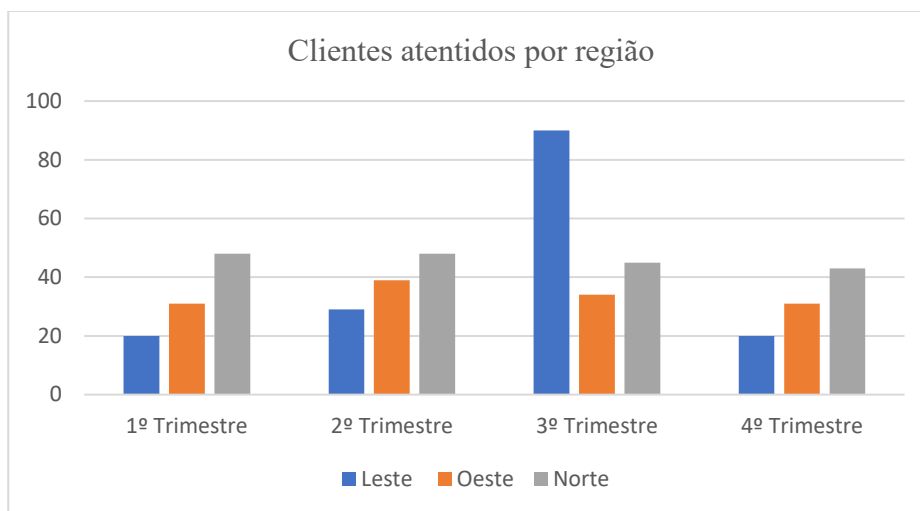
2.1.3 Histogramas

Histograma é um gráfico de análise e representação de dados. Os dados são agrupados em classes de frequência. O histograma permite diferenciar causas, formas, ponto central, variação da distribuição, dentre outros dados (SILVA *et al.* 2008).

De acordo com Vieira (1999), o histograma visa conseguir analisar de forma rápida e objetiva uma grande quantidade de dados contidos em tabelas de distribuição de frequências, permitindo assim maior facilidade nas conclusões.

Os Histogramas são utilizados para representação de dados. Facilitam a visualização do padrão básico, identificando a população de onde foram extraídos. Na Figura 3 apresenta-se um exemplo de histograma (AMBROZEWICZ, 2013).

Figura 3: Exemplo de histograma

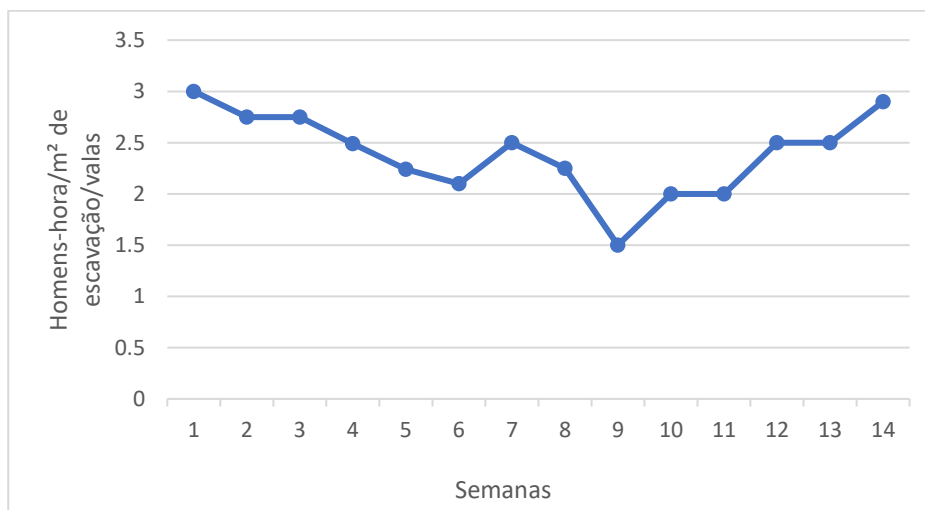


Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2013)

2.1.4 Gráficos de controle ou gráficos de tendência

Os gráficos de controle especificam limites inferiores e superiores dentro dos quais medidas estatísticas associadas a uma população são locadas. Sendo que a tendência da amostra é dada por uma linha central e as curvas indicam a evolução histórica do comportamento e a tendência futura. Os gráficos de tendência podem ser representados de acordo com a Figura 4 (AMBROZEWICZ, 2013).

Figura 4: Acompanhamento da produtividade da mão-de-obra: movimento de terra



Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2013)

2.1.5 Folhas de Checagem

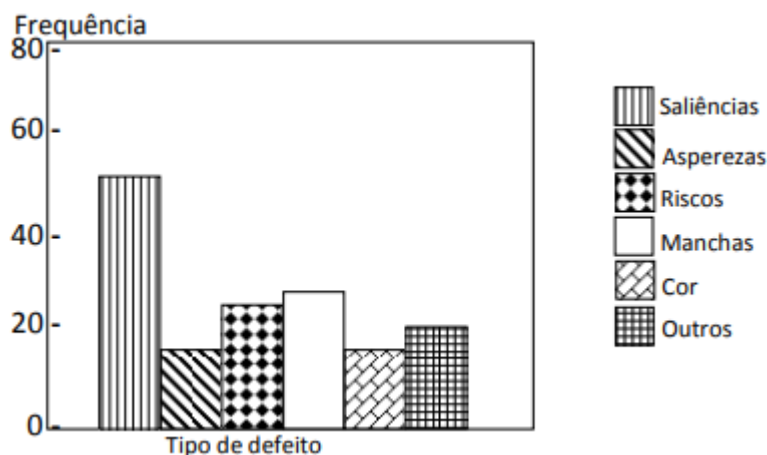
De acordo com Ambrozewicz (2013), as folhas de checagem são utilizadas para o registro de dados e são estruturadas de acordo com as necessidades do usuário. As mesmas podem ser utilizadas para construção do Diagrama de Pareto. Segundo Barbosa (2010) o Diagrama de Pareto é um gráfico de barras que expõe uma estratificação de causas ou características de defeitos, falhas, reclamações e outros problemas. O número ou custos dessas causas ou fenômenos são mostrados em ordem decrescente através de barras de tamanhos diferentes. Temos um exemplo de folha de checagem na Tabela 1 e um exemplo de Diagrama de Pareto na Figura 5.

Tabela 1: Lista de símbolos mais usuais em fluxogramas

DATA	OBRA			
Tipos de defeito	Tabulação	Frequência total	%	Classificação
Concreto mal vibrado	HH HH I	11	6	6°
Falha na impermeabilização	HH HH HH HH I	21	10	4°
Recomposição de pavimentos, guias, sarjetas malfeitas	HH HH HH HH HH HH HH HH HH HH HH III	68	34	1°
Compactação do solo mal executada	HH HH III	14	7	5°
Locação e nivelamento malfeito	HH HH HH HH HH HH HH HH I	41	20	2°
Assentamento de tubos de PVC malfeitos	HH HH HH HH HH III	29	14	3°
Outros	HH HH HH III	18	9	7°
TOTAL		202	100	

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2013)

Figura 5: Diagrama de Pareto



Fonte: Vieira, (1999)

2.2 ABNT NBR ISO 9001:2015

A ABNT NBR ISO 9001 é a norma técnica que estabelece requisitos para os sistemas de gestão da qualidade das empresas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). O gerenciamento de processos e atividades nas empresas permite registrar a documentação e formulários, assegurando o controle e organização na forma de condução do negócio. Estas atividades são mais facilmente executadas quando se tem um sistema de qualidade implantado na empresa, como por exemplo, a certificação ABNT NBR ISO 9001 (MELLO, 2009). Ainda segundo o mesmo autor, tempo, dinheiro e outros recursos são utilizados com mais eficiência, ao se fazer a implantação do sistema de qualidade.

Se a construtora tiver que garantir para seus clientes a conformidade com os requisitos especificados durante o Projeto, Desenvolvimento, Produção, Instalação e Serviços associados, ela poderá adotar os requisitos da ABNT NBR ISO 9001:2015 de forma a melhorar seus processos de trabalho (PINI, 2018).

Para o Sienge (2018), o principal objetivo da ABNT NBR ISO 9001:2015 é melhorar constantemente as práticas para suprir as necessidades dos clientes, alcançando o nível desejado de satisfação na ponta da cadeia de consumo. A implantação de um sistema de gestão de qualidade leva ao ajuste dos processos de produção. Além da satisfação do cliente a ABNT NBR ISO 9001:2015, tem objetivos como:

- Usar a abordagem de processos para alcançar a visão global da organização;

- Melhorar continuamente os processos internos e externos;
- Verificar e analisar se os processos estão sendo eficazes;
- Estar atento à satisfação do consumidor, monitorando relações.

Ao implementar a ABNT NBR ISO 9001:2015, as empresas procuram garantir a qualidade de todos os processos inclusive os de relacionamento, facilitando assim as tratativas com o cliente.

Para as empresas conseguirem a certificação ISO 9001, elas precisam passar pelo processo de acreditação junto aos órgãos certificadores. De acordo com o Inmetro (2018), para avaliar a conformidade de uma empresa em relação aos requisitos da ABNT NBR ISO 9001:2015, a empresa deve contratar uma certificadora, acreditada pelo Inmetro. A confiança é proporcionada pelo fato do organismo credenciado ser acreditado por organismos de acreditação reconhecidos nacional e internacionalmente. O processo é explicado esquematicamente na Figura 6.

Figura 6: Processo de avaliação da certificação ISO 9001



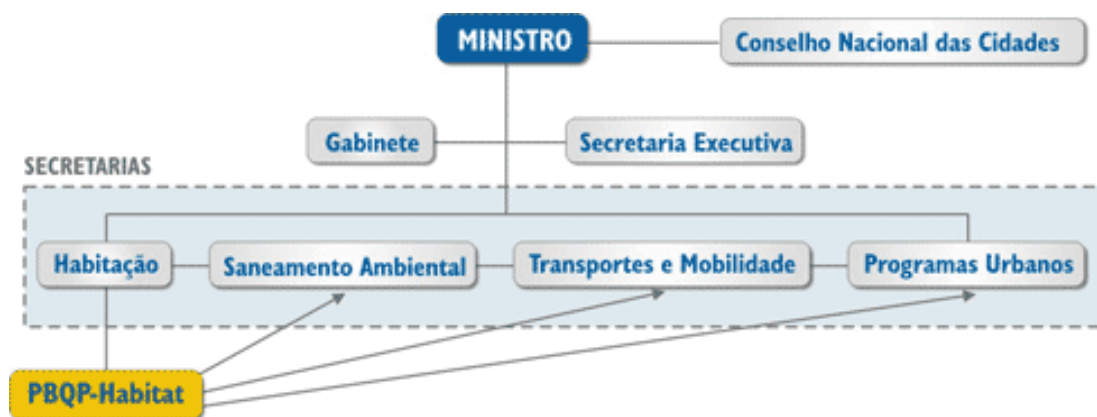
Fonte: Adaptado de Inmetro (2018).

2.3 PBQP-H

O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H, 2017) é um instrumento do Governo Federal cuja meta é organizar o setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade do habitat e a modernização da produção. Para o alcance dos objetivos do programa, a empresa deve passar por avaliação da conformidade, melhoria da qualidade dos materiais, formação e qualificação da mão-de-obra, normatização técnica, laboratórios, tecnologias inovadoras, informação ao consumidor, dentre outras.

O PBQP-H integra-se à Secretaria Nacional de Habitação, do Ministério das Cidades de acordo com a Figura 7.

Figura 7: Arranjo Institucional do PBQP-H



Fonte: PBQP-H (2017).

De acordo com PBQP-H (2017), este programa tem como objetivo elevar os graus da qualidade e produtividade da construção civil, utilizando a criação e implantação de mecanismos de modernização tecnológica e gerencial, ampliando o acesso à moradia. Os objetivos específicos do PBQP-H (2017) são:

- Universalizar o acesso à moradia, ampliando o estoque de moradias e melhorando as existentes;
- Fomentar o desenvolvimento e a implantação de instrumentos e mecanismos de garantia da qualidade de projetos e obras;
- Fomentar a garantia da qualidade de materiais, componentes e sistemas construtivos;
- Estimular o inter-relacionamento entre agentes do setor;

- Combater a não conformidade técnica intencional de materiais, componentes e sistemas construtivos;
- Estruturar e animar a criação de programas específicos visando à formação e requalificação de mão-de-obra em todos os níveis;
- Promover o aperfeiçoamento da estrutura de elaboração e difusão de normas técnicas, códigos de práticas e código de edificações;
- Coletar e disponibilizar informações do setor e do Programa;
- Apoiar a introdução de inovações tecnológicas;
- Promover a melhoria da qualidade de gestão nas diversas formas de projetos e obras habitacionais;
- Promover a articulação internacional com ênfase no Cone Sul (região composta pelas zonas austrais da América do Sul, ao sul do Trópico de Capricórnio).

O PBQP-H procura estimular o uso dos recursos existentes de financiamento, conta com grande contrapartida privada, sendo os recursos do Governo Federal destinados ao custo, estruturação e divulgação de novos projetos (PBQP-H, 2017). Além disto, o mesmo cria e estrutura um ambiente tecnológico e de gestão para o setor da construção civil, pautando ações específicas visando à modernização, em relação à tecnologia e organização. Alguns princípios importantes do programa são atuação do poder público, ampliando a otimização dos recursos e das ações, descentralização, ampliando o controle e a efetividade das ações, parceria entre agentes públicos e privados e participação da sociedade civil (PBQP-H, 2017).

2.4 Método Seis Sigma

Seis Sigma é uma metodologia gerencial estruturada com base em dados que visam a melhoria de produtos e processos, proporcionando resultados positivos no desempenho financeiro e garantindo satisfação do cliente. O método focaliza desde as metas estratégicas da empresa até as necessidades do cliente (RAMPERSAD; EL-HOMSI, 2009).

De acordo com Paladini (2012), o programa Seis Sigma traz elementos de qualidade, como a adoção estruturada do pensamento estatístico e o uso intensivo de ferramentas estatísticas e a sistemática análise de variabilidade. O aperfeiçoamento do processo passa por cinco fases denominado de DMAIC, quais sejam:

- Fase 1: “D” – Define (definir): define os requisitos do cliente e traduz as necessidades em Características Críticas para a Qualidade (CTQ).
- Fase 2: “M” – Measure (medir): Documenta o processo atual, validando a medição e estabelecendo uma base com relação a performance. Utiliza-se gráficos de tendência, Pareto, fluxograma e ferramentas de medição de capacidade do processo.
- Fase 3: “A” – Analyze (analisar): Identifica as causas e problemas, os mesmos são isolados.
- Fase 4: “I” – Improve (melhorar): O intuito está em entender a fase de análise, afim de eliminar as causas e atingir um bom desempenho.
- Fase 5: “C” – Control (controlar): A fase de controlar consiste em controlar a fase de melhorias para garantir resultados longevos.

Segundo Endeavor Brasil (2017), os projetos utilizando o programa Seis Sigma devem ser desenvolvidos por uma equipe certificada e formada pelo “*Champion*” e o “*Black Belt*”, grupos com diferentes encargos dentro da equipe, com as seguintes responsabilidades:

- *Champion*: Disponibiliza recursos necessários à execução, garante que não haja problemas para a implementação, além de aprovar ou reprovar mudanças no processo e implementar alterações no processo.
- *Black Belt*: Lidera a equipe de implementação do Seis Sigma, conduzindo a mesma ao longo das etapas do ciclo DMAIC.
- Membros da equipe: Coleta dados para avaliação e implementa melhorias para o projeto.

2.4.1 A métrica utilizada na metodologia Seis Sigma

O programa Seis Sigma possui muitas métricas utilizadas como ferramentas, que servem para medir aspectos. A seguir são apresentadas algumas métricas universais utilizadas na metodologia, na qual são utilizadas ferramentas estatísticas de uso comum e a conversão para nível Sigma.

- Defeitos por unidade (DPU)

A unidade pode ser um componente, um material, uma linha de códigos, um formulário administrativo, um prazo, uma distância, dentre outros. Sendo que a DPU é o número médio de defeitos encontrados durante a produção de uma unidade, para se calcular a mesma calcula-se como sendo a relação entre o número de defeitos e a quantidade de unidades.

A DPU geral é o número médio total de defeitos para o produto fabricado, resultado da combinação da DPU de cada etapa do processo (Equação 1).

$$DPU_{\text{geral}} = DPU_1 + DPU_2 + \dots + DPU_n \quad \text{Equação 1}$$

- Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)

Oportunidade é qualquer ação executada ou negligenciada durante a criação de uma unidade de trabalho, são as causas do problema, cometendo um erro capaz de gerar insatisfação do cliente (Equação 2). A DPMO é a relação da DPU_{geral} com o número de oportunidades.

$$DPMO = (DPU_{\text{geral}}/\text{Número de oportunidades por unidade}) \times 1.000.000 \quad \text{Equação 2}$$

De acordo com Rampersad e El Homsí (2009) a DPMO é convertida em nível Sigma utilizando-se a Tabela 2, realizando uma interpolação entre a DPMO e o nível Sigma correspondente. São relacionados dois tipos de nível Sigma. O Sigma de curto prazo (Sigma_{st}) e o Sigma de longo prazo (Sigma_{lt}). O Sigma_{st} é calculado a partir de um número menor de ciclos de produção que o Sigma_{lt} . A métrica DPMO é utilizada na fase 2, do processo de aperfeiçoamento DMAIC, a qual se dá o nome de Medir e na fase 5, a qual é chamada de Controlar, quando já foi aplicado o processo e obteve-se as melhorias e necessita-se de garantir as melhorias alcançadas.

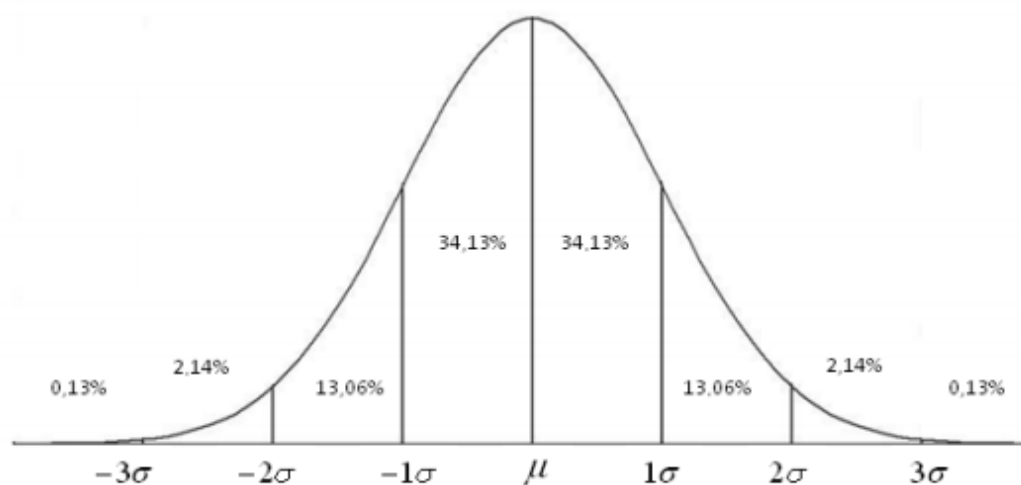
Tabela 2: Tabela de conversão de níveis Sigma

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

Fonte: Rampersad e El Homsí (2009)

O nível Sigma ideal é 6, quando a DPMO é igual a 3,4. De acordo com Eckes (2001), a partir dos níveis Sigma é traçada uma curva indicando as distribuições de probabilidades mais recorrentes.

Figura 8: Representação da curva Gaussiana



Fonte: Eckes (2001)

Cada parte, em que a curva gaussiana é decomposta, representa certo percentual do que é medido. Cada segmento é conhecido como desvio padrão da média, e é simbolizado pela letra sigma (σ), a representação se dá pela curva Gaussiana, como mostrado na Figura 8 (ECKES, 2001).

Exemplificando, o não cumprimento de prazos na construção civil é algo que ocorre com uma certa frequência, o que faz com que se tenha números relacionados a queda de faturamento (CUPERTINO, 2014). Segundo o mesmo autor, o não cumprimento de prazos se dá principalmente devido à falta de planejamento e gerenciamento. Neste caso o programa Seis Sigma foi aplicado no intuito melhorar tal condição e os resultados obtidos mostraram que os valores foram baixos devido à falta de planejamento e gerenciamento da empresa.

2.5 Não conformidades em obras de construção civil

De acordo com Marrafa (2006), 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. Ou seja, que está fora das especificações.

O gerenciamento de não conformidades envolve atividades que vão desde a constatação da ocorrência das mesmas, registro, investigação, ações de disposição, correção e prevenção, acompanhamento para verificar a eficácia, até se ter uma garantia de qualidade (MARRAFA, 2006).

Não conformidades em obras da construção civil tornam as edificações inadequadas ao que elas se destinam, reduzem o valor e podem diminuir a segurança do usuário. Problemas de não conformidade podem ser causados por falta de compatibilidade entre projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário, elétrico e telefonia. As anomalias em obras de construção civil podem ser originadas da utilização de mão de obra não especializada, falta ou insuficiência de acompanhamento técnico, má interpretação do projeto, problemas de execução de tarefas materiais defeituosos ou de qualidade inferior, planejamento e coordenação de trabalhos deficientes, alterações de projetos no decorrer da obra sem análise.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma ampla revisão bibliográfica na literatura sobre a ABNT NBR ISO 9001:2015, o PBQP-H e o método Seis Sigma. Considerando o objetivo deste trabalho, ou seja, avaliar a viabilidade de utilização do método Seis Sigma no controle de qualidade de obras de construção civil, fez-se necessário identificar as principais não conformidades no processo de produção em questão.

Para isto, foi realizada uma pesquisa em trabalhos científicos de autores que apresentassem listas de não conformidades mais comuns na construção civil (Silva, 2011; Neto, 2018).

Dentre os trabalhos pesquisados, optou-se por construir uma pré-lista de não conformidades a partir da proposta apresentada por Neto (2018). Esta pré-lista foi submetida a análise de alguns professores especialistas nas áreas de fundações, estrutura e construção civil e que após suas contribuições pôde-se validar a lista final de não conformidades (APÊNDICE A).

Finalizada a lista de não conformidades foram elaborados dois questionários utilizando o aplicativo Google Forms: um contendo os principais defeitos que aparecem em

obras de construção civil (APÊNDICE B) e outro, no qual apresenta-se as principais causas que colaboram para o aparecimento dos defeitos em obras (APÊNDICE C).

O primeiro questionário no qual apresenta-se as 12 principais não conformidades (defeitos) em obras de construção civil. Para este instrumento de avaliação, foi solicitado ao entrevistado que assinalasse os cinco principais defeitos que ocorriam nas obras ou outro que não estava na lista, de acordo com sua experiência.

No segundo questionário foram apresentadas lista de possíveis causas geradoras de cada um das não conformidades do primeiro questionário. Como o número de causas para cada não conformidade era variável, solicitou-se ao entrevistado que indicasse três causas para a não conformidade associada nos casos onde haviam mais de cinco causas possíveis. Caso contrário, solicitava-se que o entrevistado assinalasse apenas as 2 principais causas de acordo com sua experiência.

Os questionários foram enviados por correio eletrônico, aplicativo de mensagens e redes sociais para diversas empresas e engenheiros autônomos atuantes no setor da construção civil, atuantes na área de planejamento e gerenciamento de obras, principalmente obras de residências.

Com a devolução dos questionários respondidos fez-se a análise estatística para ordenar as não conformidades e suas causas em função do aparecimento nas obras. O questionário de não conformidades foi enviado para 50 engenheiros, sendo que foram devolvidos 8, perfazendo 16% de respostas obtidas. O questionário das causas de não conformidades foi enviado para os mesmos 50 engenheiros que responderam o primeiro, e foram devolvidos 13, perfazendo 26%.

Em seguida, foram aplicadas as ferramentas estatísticas do método Seis Sigma no controle de qualidade das principais não conformidades detectadas na pesquisa de campo realizada. Neste trabalho será avaliada apenas a Fase 2, denominada “Medir”, a qual documenta o processo atual, validando a medição e estabelecendo uma base com relação a performance. Utilizou-se histogramas para medição de capacidade do processo.

Foi calculado o DPMO (defeitos por milhão de oportunidades) utilizando o critério que leva em conta a ocorrência de defeitos. Ou seja, foi calculado a DPMO quando o número de defeitos foi todos aqueles que ocorrem em mais de 20% das respostas, comparando com os que ocorrem em mais de 30% e os que ocorrem em mais de 40% das respostas, a partir deste cálculo foi feita a conversão para o nível Sigma, por meio da tabela de conversão.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

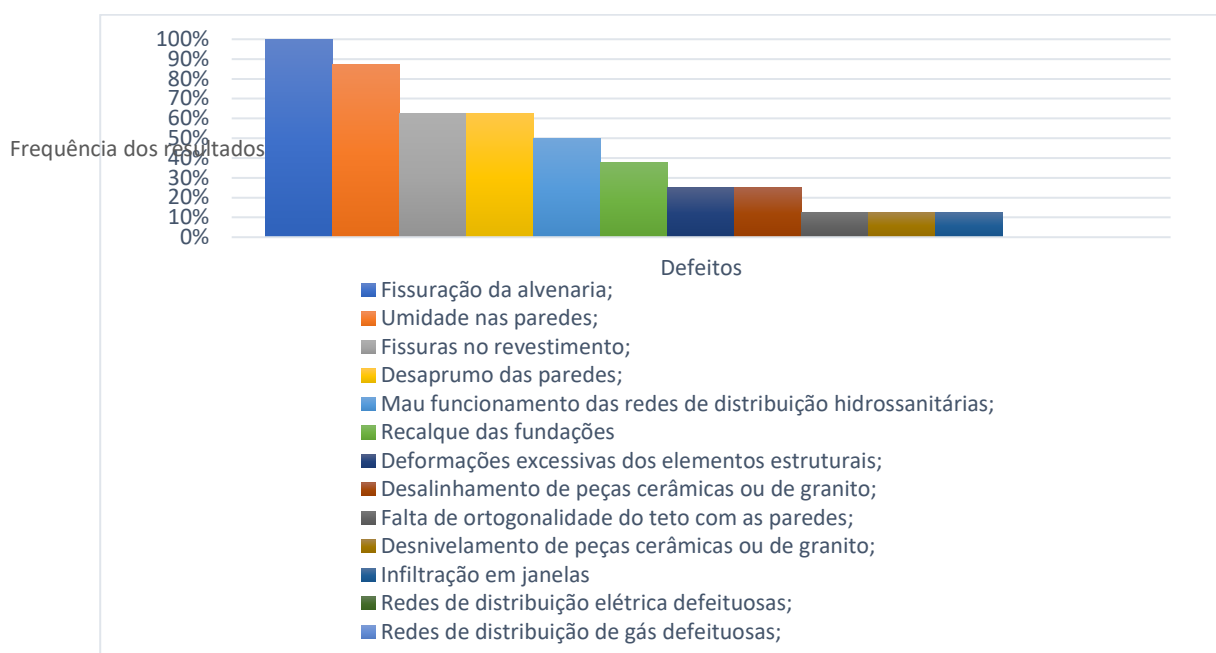
4.1 Análise das não conformidades em obras de construção civil

A consistência de dados de uma pesquisa quantitativa se dá pela confiança da pesquisa. De acordo com Flick (2009) uma pesquisa confiável deve seguir critérios como transparência, procedimentos indicados e adequados, construção e testagem da teoria, limitação (limites de resultados), subjetividade, ou seja, coerência da teoria com a pergunta.

A pesquisa realizada para o desenvolvimento do trabalho procura seguir ao máximo os critérios de confiabilidade descritos por Flick (2009), procurando a maior transparência possível, foram utilizados procedimentos adequados, aplicativo específico para a realização de pesquisas, a construção dos questionários foi feita baseada em teorias referentes ao curso de Engenharia Civil. Cada pergunta dos questionários procurava-se um número de respostas limite, procurou-se ter subjetividade criando os questionários, em que os entrevistados respondessem de acordo com sua opinião inclusive, foi dada a opção em que o entrevistado pudesse citar alguma resposta que achasse importante e não tivesse presente no questionário, e as perguntas dos questionários buscavam coerência entre a prática e a teoria.

Na Figura 9 apresenta-se os resultados obtidos para os defeitos em obras de construção civil. Para o primeiro questionário, que se refere as principais não conformidades, pode-se concluir que a principal não conformidade em obras é a fissuração de alvenaria com 100% de ocorrência nas respostas, seguido de umidade nas paredes (88%) e desaprumo das paredes e fissuras no revestimento (63%). Não conformidades como redes de distribuição elétrica defeituosas e redes de distribuição de gás defeituosas não foram observadas em nenhuma resposta.

Figura 9: Resultados obtidos para a ocorrência de defeitos em obras de construção civil



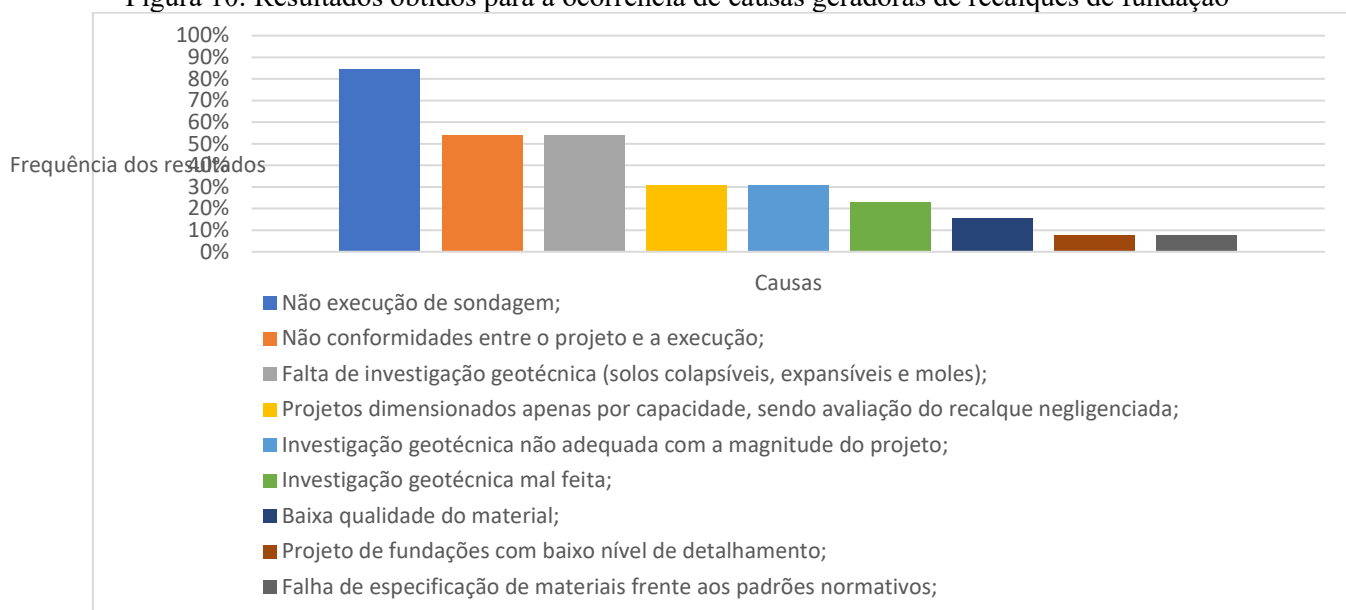
Fonte: Autor (2018)

4.2 Análise das causas geradoras das não conformidades

Os resultados obtidos por meio do segundo questionário onde o objetivo era o de associar as possíveis causas geradoras das não conformidades em obras estão ilustrados na Figura 10 à Figura 21.

Na Figura 10 tem-se o gráfico que representa causas para os recalques de fundações, sendo a não execução de sondagem o principal problema com 85% das respostas, seguido de não conformidade entre projeto e execução e a falta de investigação geotécnica, ambos com 54%. Observa-se que projeto de fundações com baixo nível de detalhamento e falha na especificação dos materiais frente aos padrões normativos, foram considerados menos importantes com 8% das respostas.

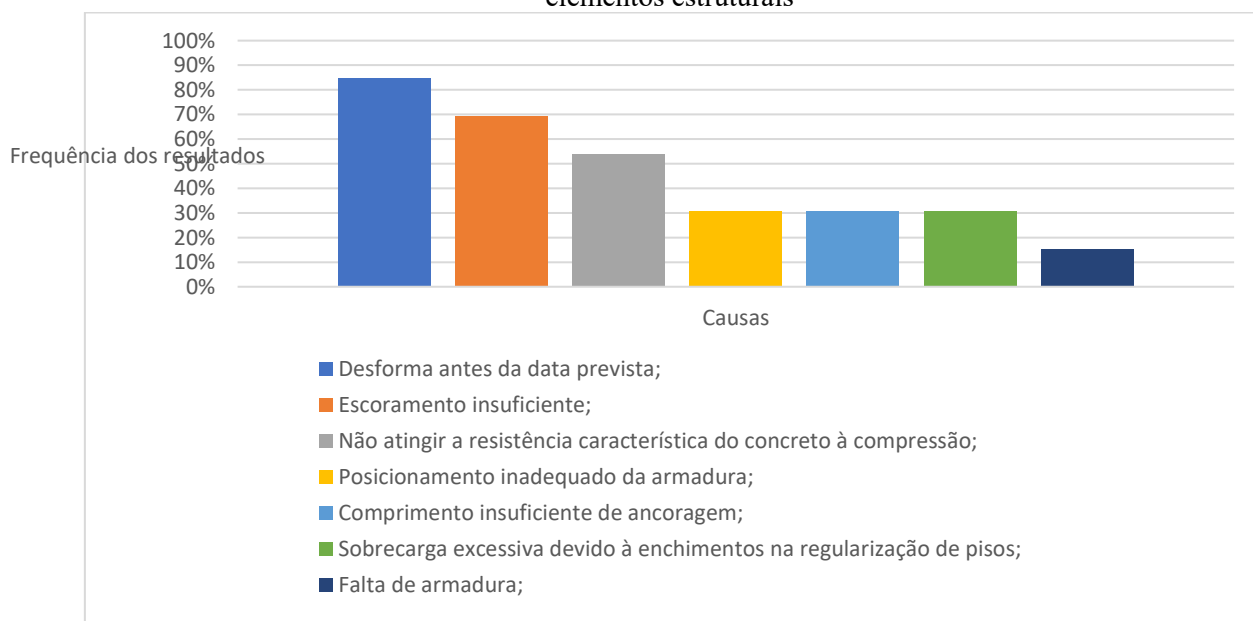
Figura 10: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de recalques de fundação



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 11 é representado o gráfico de causas de deformações excessivas dos elementos estruturais, sendo que as principais causas apontadas foram desforma antes da data prevista com 85% das repostas e escoramento insuficiente com 69%. A causa menos relevante foi a falta de armadura com 15% das respostas.

Figura 11: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de deformações excessivas dos elementos estruturais

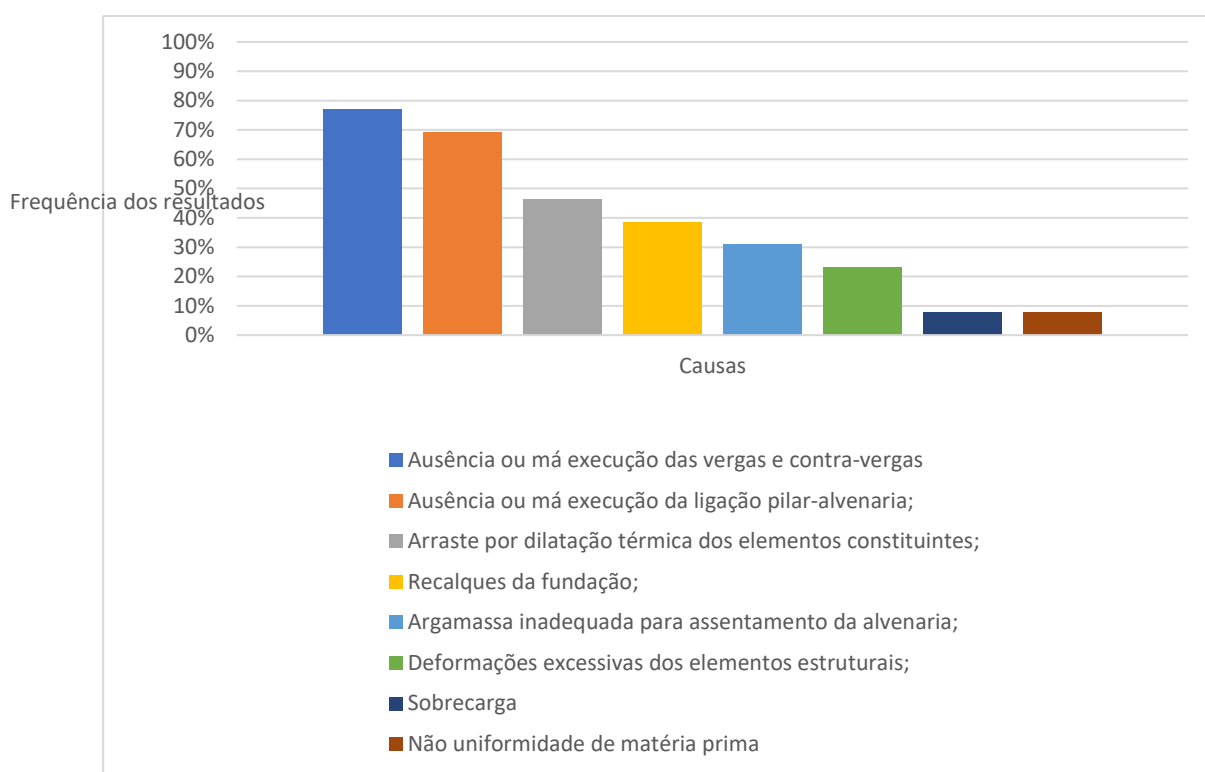


Fonte: Autor (2018)

Tem-se na Figura 12 o gráfico relativo as causas de fissuração na alvenaria - não conformidade que mais acontece nas obras segundo a pesquisa. Sendo que as principais causas foram ausência ou má execução das vergas e contra-vergas com 77% das respostas e ausência ou má execução da ligação pilar-alvenaria. Sobrecarga e não uniformidade da matéria prima foram itens que tiveram pouca relevância com apenas 8% de aparecimento nas respostas.

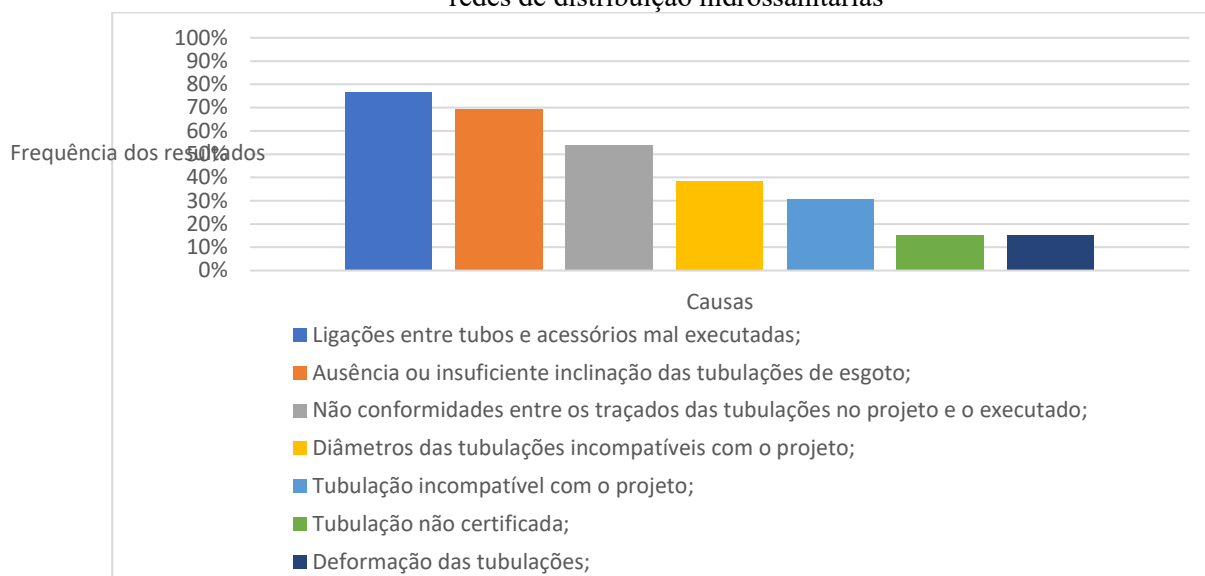
Na Figura 13 mostra-se os resultados obtidos para as causas do mau funcionamento das redes de distribuição hidrossanitárias. A principal causa dessa não conformidade são as ligações entre tubos e acessórios mal executadas com 77% das respostas seguido de ausência ou insuficiente inclinação nas redes de esgoto com 69%. Deformações nas tubulações e tubulações não certificadas não foram importantes, ambas foram apontadas em apenas 15% das respostas.

Figura 12: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de fissuração da alvenaria



Fonte: Autor (2018)

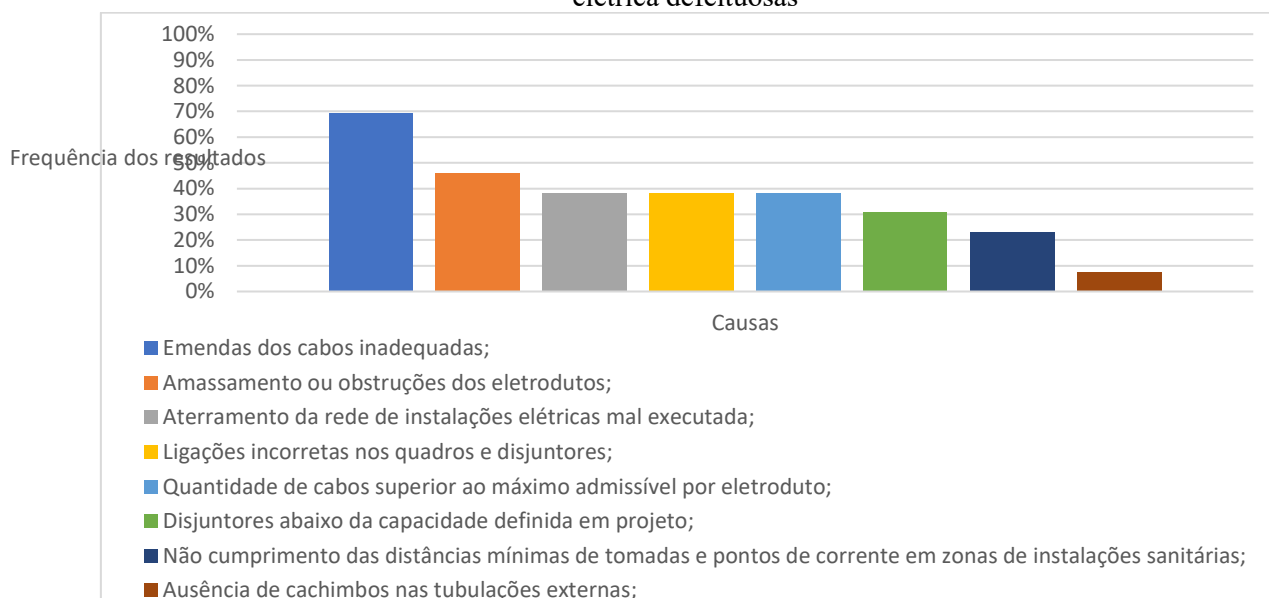
Figura 13: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de mau funcionamento das redes de distribuição hidrossanitárias



Fonte: Autor (2018)

As causas de redes de distribuição elétricas defeituosas são mostradas na Figura 14, não conformidade esta que não apresentou relevância no primeiro questionário pois não teve nenhuma resposta. Mas quando analisada separadamente temos que a principal causa para o seu aparecimento nas obras é emenda de cabos inadequadas, com 69% das respostas e a causa menos citada foi a ausência de cachimbos nas tubulações externas.

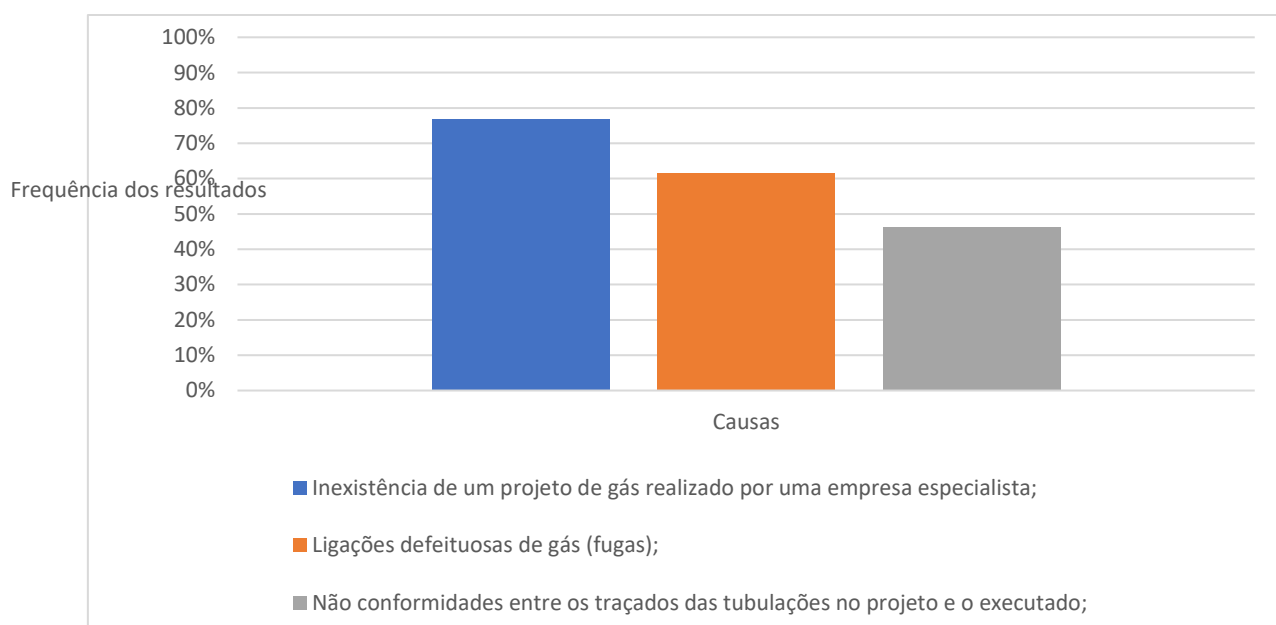
Figura 14: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de redes de distribuição elétrica defeituosas



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 15 representa as causas de redes de distribuição de gás defeituosas, que assim como a anterior não teve nenhuma resposta no questionário que se referia às principais uniformidades. Mas quando analisada separadamente percebe-se que todas suas causas têm um nível parecido de relevância sendo que a inexistência de um projeto de gás realizado por uma empresa especialista, a qual teve 77% das respostas, é mais comum. Em seguida, tem-se as ligações defeituosas de gás (fugas), com 62% das respostas e a inexistência de um projeto de gás realizado por uma empresa especialista, com 46%.

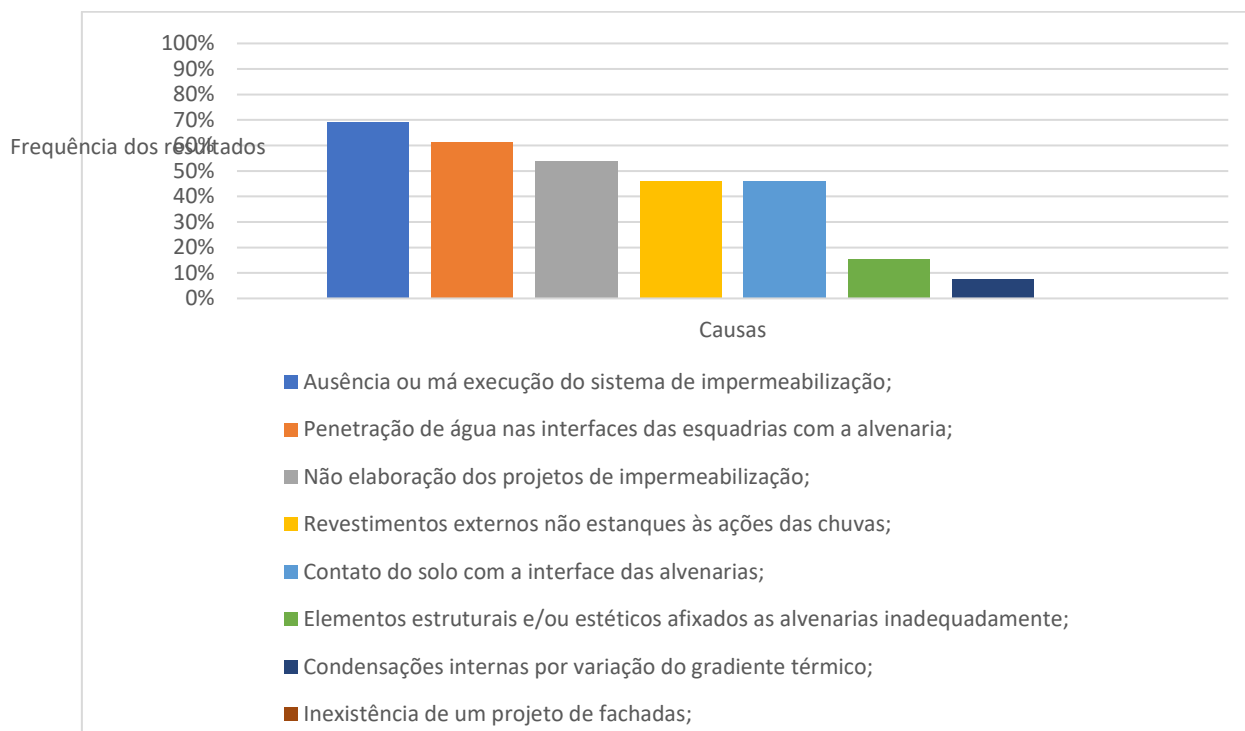
Figura 15: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de redes de distribuição de gás defeituosas



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 16 ilustra-se o gráfico que representa as causas para o surgimento de umidade nas paredes.

Figura 16: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de umidade nas paredes

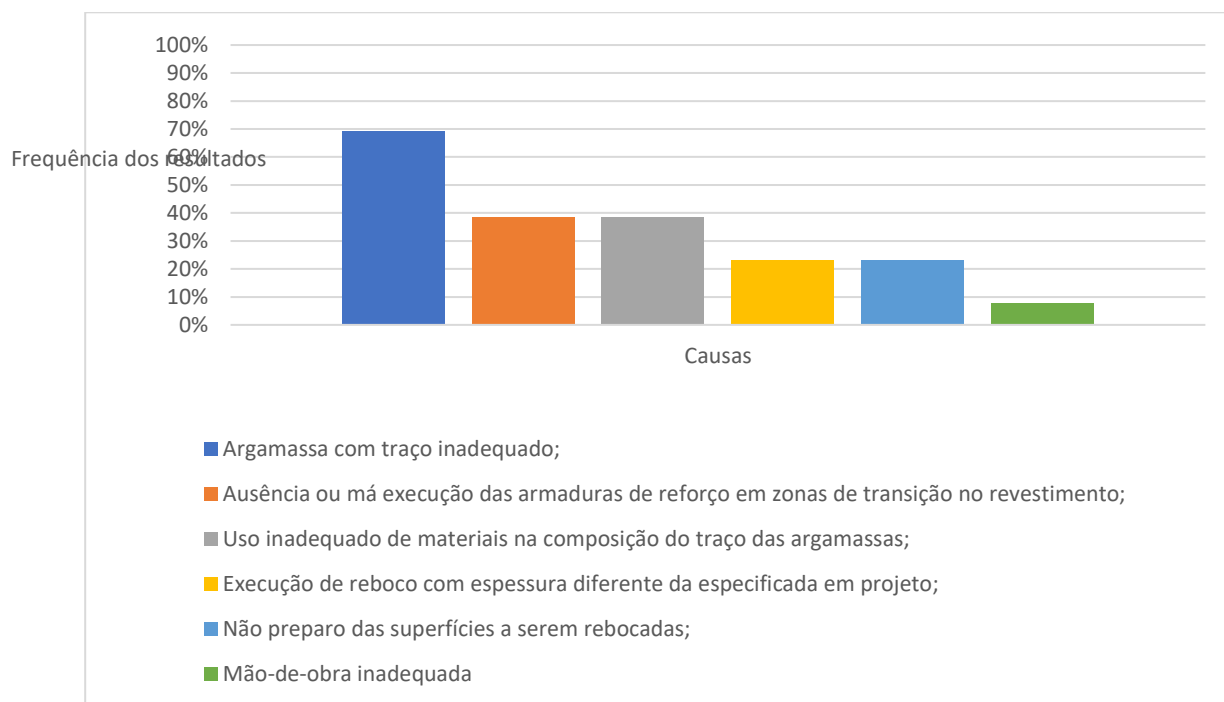


Fonte: Autor (2018)

Observa-se pela Figura 16 que a ausência ou má execução do sistema de impermeabilização é o principal problema desta não conformidade, sendo que teve 69% das repostas e o segundo problema que mais acarreta umidade nas paredes é a penetração de água nas interfaces das esquadrias com a alvenaria, 62% das repostas. Condensações internas por variação do gradiente térmico teve apenas 8% das repostas, o que torna esta causa pouco relevante para o surgimento de umidade nas paredes. Outra causa irrelevante para esta não conformidade segundo a pesquisa é a inexistência de um projeto de fachadas pois não foi citado em nenhuma das repostas.

As causas para as fissuras no revestimento são mostradas na Figura 17, sendo que a argamassa com traço inadequado se destaca com 69% das repostas e a mão de obra inadequada é a causa menos relevante com 8% das repostas.

Figura 17: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de fissuras no revestimento

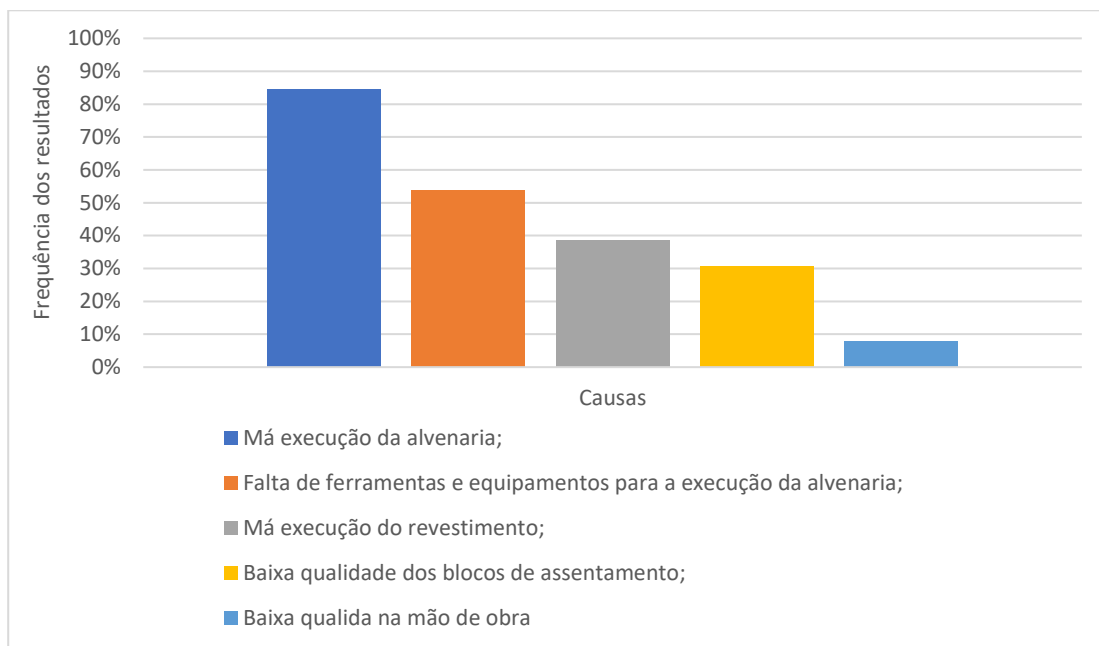


Fonte: Autor (2018)

A principal causa de desaprumo das paredes é a má execução da alvenaria, com 85% das respostas e a baixa qualidade na mão-de-obra é a causa menos importante quando se trata de desaprumo das paredes contabilizando 8% das respostas (Figura 18).

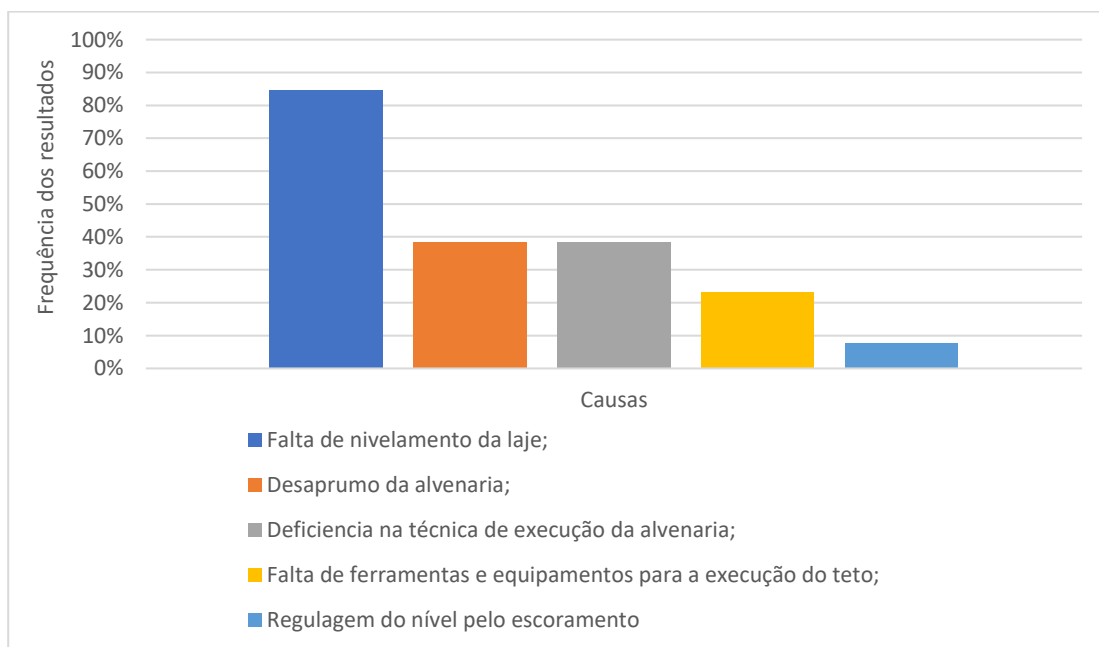
Na Figura 19 é ilustrado as causas de desnivelamento do teto. Analisando o gráfico observa-se que a falta de nivelamento da laje é o principal problema que acarreta no desnivelamento do teto com 85% das respostas, já a regulagem do nível pelo escoramento tem menos relevância contabilizando 8% das repostas obtidas na pesquisa.

Figura 18: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de desaprumo das paredes



Fonte: Autor (2018)

Figura 19: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de desnivelamento do teto

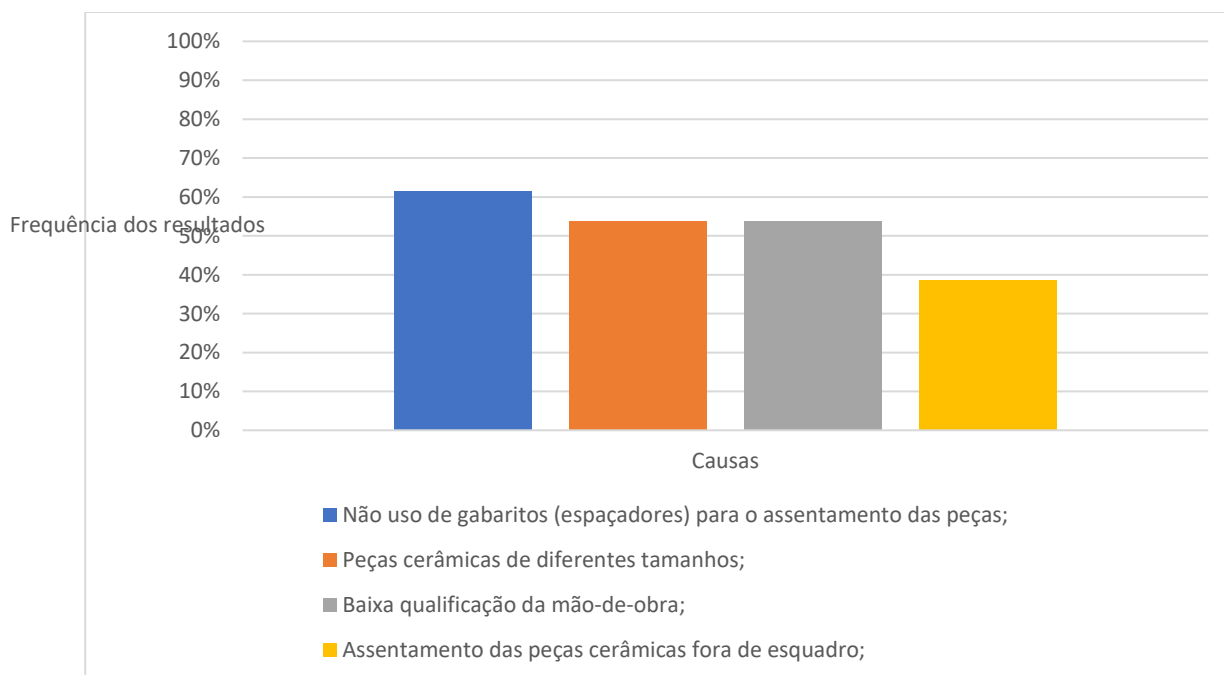


Fonte: Autor (2018)

Na Figura 20 é representado as causas de desalinhamento de peças cerâmicas ou de granito, no gráfico percebe-se que todas as causas da não conformidade têm um nível de

relevância semelhante, sendo que temos o não uso de gabaritos (espaçadores) para o assentamento das peças como a principal causa com 62% das respostas, seguido de peças cerâmicas de diferentes tamanhos e baixa qualificação da mão-de-obra com 54% das repostas e o assentamento das peças cerâmicas fora de esquadro com 39% das respostas.

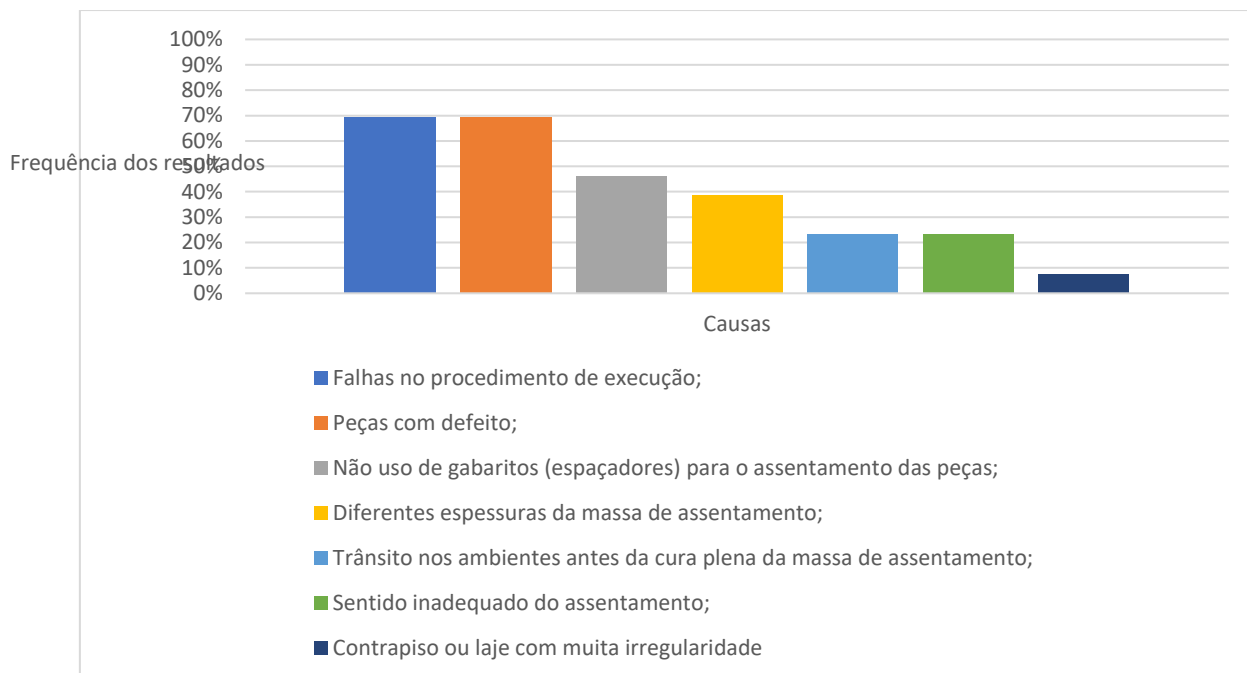
Figura 20: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de desalinhamento de peças cerâmicas ou de granito



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 21 apresenta-se os resultados para o desnivelamento de peças cerâmicas ou de granito. Sendo que falhas no procedimento de execução e peças com defeito são as principais causas da não conformidade, aparecendo em 69% das respostas. Já o contrapiso e laje com muita irregularidade não tem grande relevância ao se tratar de desnivelamento de peças cerâmicas ou de granito, uma vez que obteve 8% das respostas.

Figura 21: Resultados obtidos para a ocorrência de causas geradoras de desnivelamento de peças cerâmicas ou de granito



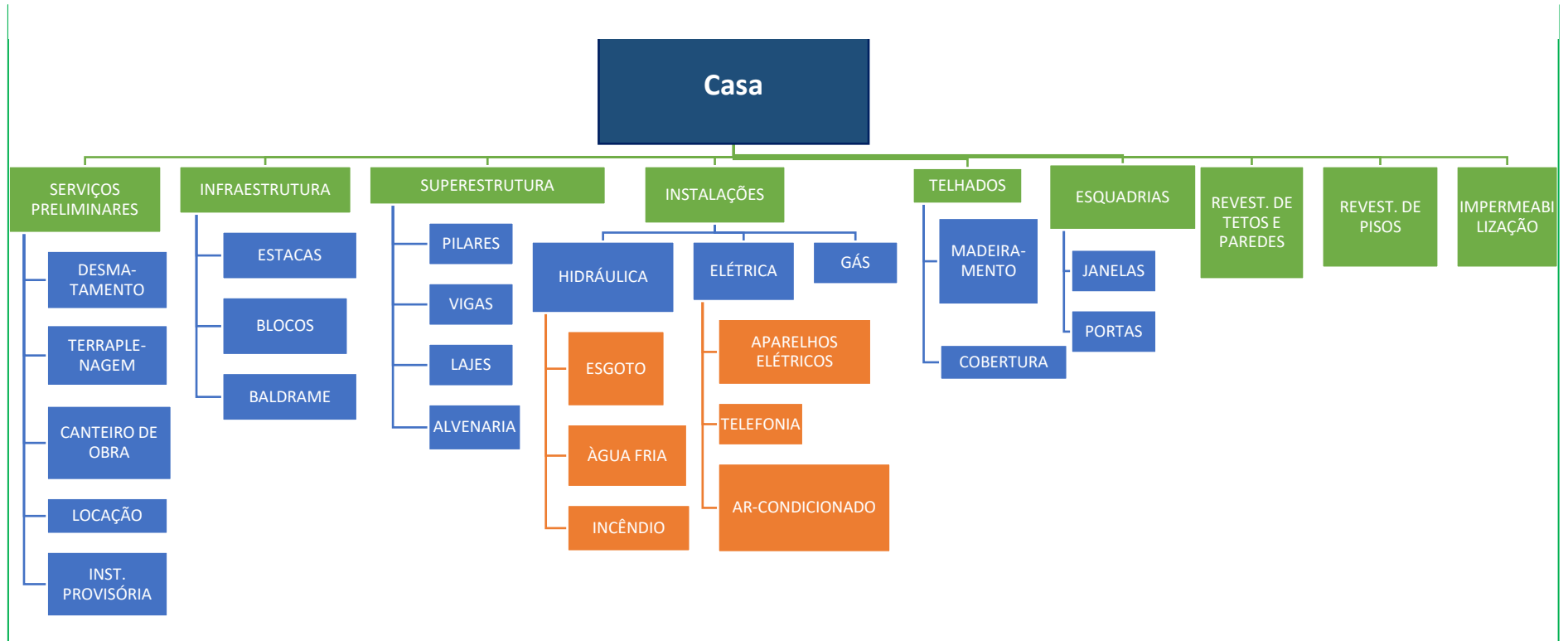
Fonte: Autor (2018)

4.3 Aplicação do método Seis Sigma

A aplicação do método Seis Sigma foi realizada para a Fase 2 detalhada na seção 2.4, onde é feita a medição e estabelecida uma base em relação a performance atual da empresa. Para aplicação das ferramentas estatísticas foram utilizados os histogramas obtidos na pesquisa de campo para a identificação das principais não conformidades em obras e suas causas geradoras.

O produto considerado como parâmetro foi uma “Obra de Residência Unifamiliar”. Foi considerado como unidade cada processo de construção descrito na Figura 22 e que pode apresentar não conformidades (defeitos). Foi calculado a DPU_{geral} , que é o número médio de não conformidades para o produto em verificação. Outro parâmetro é a oportunidade, ou seja, qualquer ação executada ou negligenciada durante a criação de uma unidade de trabalho, cometendo um erro capaz de gerar insatisfação do cliente.

Figura 22: Estrutura analítica de projeto de residência unifamiliar



Fonte: Autor (2018)

Analisando a Figura 22, tem-se que o número de unidades, será igual a 26, o número de unidades foi obtido fazendo a contagem de cada processo da construção da residência unifamiliar. Num primeiro momento, considerou-se apenas as não conformidades que ocorrem com frequência maior que 20% nos resultados obtidos no questionário 1 (Figura 9) e suas respectivas causas geradoras (Figura 10 a Figura 21). Neste caso, foram identificadas 8 não conformidades e 53 possíveis causas geradoras das mesmas. Aplicando a Equação 1 chega-se ao valor da DPU, igual a 0,30769. Com o valor da DPU e empregando a Equação 2 calcula-se a DPMO, chegando a 5806.

Utilizando os dados da Tabela 2 e o valor da DPMO, interpolou-se os dados e obteve o nível Sigma de 4,04. Este valor representa um nível Sigma intermediário, porém não é o nível adequado de qualidade, porque são verificados muitos defeitos em obras.

Em seguida, repetiu-se o método Seis Sigma para não conformidades e suas causas geradoras com frequência maior que 30% e 40%. Sendo que em todos os casos chegou-se a um nível Sigma de mesma ordem de grandeza. O resumo dos resultados alcançados está disposto na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados de DPMO e Nível Sigma para os diferentes índices de ocorrência de defeitos nas respostas

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

Fonte: Autor (2018)

Portanto, o nível Sigma de curto prazo depende do número de defeitos (não conformidades) e de suas possíveis causas geradoras. O ideal é o nível Sigma igual 6 e, portanto, para alcançar a condição almejada é necessário minimizar as não conformidades nas obras aplicando esforços para evitar principalmente a ocorrência das principais causas geradoras de cada não conformidade. Estas ações são de responsabilidade da equipe formada pelo “*Champion*” que disponibiliza recursos necessários à execução e o “*Black Belt*” que lidera a equipe de implementação do método Seis Sigma.

Para se chegar na melhoria do sistema de qualidade desejado na construção civil tem-se como ferramentas o programa do governo PBQP-H, cuja meta é organizar o setor da

construção civil em torno da melhoria da qualidade do habitat e a modernização da produção e a ABNT NBR ISO 9001:2015 a qual melhora constantemente as práticas, alcançando o nível desejado de satisfação.

5 CONCLUSÃO

A partir dos questionários aplicados na pesquisa, pode-se perceber que a não conformidade que mais ocorre em obras de construção civil é a fissuração da alvenaria, aparecendo em todas as repostas. Umidade nas paredes com 88% das repostas, fissuras no revestimento e desaprumo das paredes, ambas com 63% de ocorrência nas repostas, também são não conformidade bastante frequentes em obras.

Destacam-se as redes de distribuição elétrica e de gás defeituosas, como sendo não conformidades pouco comuns em obras, as mesmas não apareceram em nenhuma resposta. Não se pode concluir que elas não ocorrem em obras, por não se ter um grande número de entrevistados, porém o índice de aparecimento dessas não conformidades é baixo em relação as outras. Para a fissuração da alvenaria, as principais causas geradoras são a ausência ou má execução de vergas e contra-vergas e ausência ou má execução da ligação pilar-alvenaria.

Com os resultados obtidos na pesquisa foi calculado o nível Sigma para três condições: não conformidades com frequência maior que 20%, 30% e 40%. Em todas as condições chegou-se a valores intermediários do nível Sigma o que não garante a satisfação do cliente devido ao número elevado de não conformidades apontadas na pesquisa de campo.

A utilização do método Seis Sigma em conjunto com os sistemas de qualidade, PBQP-H (2017) e ABNT NBR ISO 9001:2015 é viável para diminuição das não conformidades ao melhorar o processo produtivo reduzindo o número de causas geradoras. Deve-se evitar práticas que afetam o mau funcionamento do sistema, ou seja, da construção evitando causas que mais afetam o sistema, e melhorar a qualidade das mesmas é possível melhorar a qualidade no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 9001: Informação e documentação: Referências**. Rio de Janeiro. 2015.

AMBROZEWICZ, P. H. L. Qualidade na indústria da construção. 1 ed. São Paulo: Editora: Mackenzie, 2013.

BARBOSA, E. F. Sete Ferramentas do Controle de Qualidade UFSM.com, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: http://centreind.com/ead/pluginfile.php/9106/mod_resource/content/6/05%20-%20CENTREIND%20-%207%20Ferramentas.pdf. Acesso em 30/06/2018.

CERTIFICAÇÃO ISO. **Templum**. Disponível em: <https://certificacaoiso.com.br/as-sete-ferramentas-da-qualidade/>. Acesso em: 30/06/2018.

COSTA, E. F. et al. Gestão da Qualidade: A Qualidade como fator de Competitividade e Satisfação do Cliente. Trabalho graduação, Uniararas, Araras, 2011.

CUPERTINO, L. D. Aplicação da ferramenta Seis Sigma no estudo de não cumprimento de prazos da construção civil: Estudo de Caso. 2014. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

EL-HOMSI, A.; RAMPERSAD, H. K. Lean Seis Sigma: ed. Editora Qualitymark, 2009.

ENDEAVOR. **Endeavor Brasil**. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/seis-sigma/>>. Acesso em: 28 de novembro de 2017.

ECKES, G. A. Revolução Seis Sigma. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2001.

FLICK, U. Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa. Porto Alegre: Bookman, 2004.

FONTENELE, E. C. **Estudo de Caso sobre a Gestão do Projeto em Empresas de Incorporação e Construção**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

FRAGA, S.V. **A qualidade na construção civil: uma breve revisão bibliográfica do tema e a implementação da ISO 9001 em construtoras de Belo Horizonte**. Belo Horizonte,

2011. Monografia (Especialização em construção civil). Universidade Federal de Minas Gerais.

INMETRO. **Inmetro**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/CB25docorient.pdf>. Acesso em: 14 de abril de 2018.

JURAN, J. M. Controle da Qualidade. São Paulo, Makron Books, 1991.

MARRAFA, M. O gerenciamento das suas não-conformidades. São Paulo. Disponível em: <http://www.banasmetrologia.com.br/textos.asp?codigo=2087&secao=revista>. Acesso em: Mar de 2008.

MELLO, C. H. P. et al. **ISO 9001:2000 Sistema de Gestão da Qualidade para Operações de Produção e Serviços**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

NETO. **Mário Neto**. Disponível em: www.mario-neto.com. Acesso em: 06 de abril de 2018.

PALADINI, E.P. et al. Gestão da qualidade – Teoria e casos. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Abepro, 2012.

PINI. **Pini web**. Disponível em: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/a-iso-9000-aplicada-a-construcao-civil-85300-1.aspx>. Acesso em: 13 de abril de 2018.

PBQP-H. **Programa brasileiro da qualidade e produtividade do habitat**. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/>. Acesso em: 13 de abril de 2018.

QUALIDADE ONLINE. **Qualidade online Seis Sigma**. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/category/seis-sigma-seia-sigma/page/2/>

SIENGE. **Sienge**. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/diferencas-entre-iso-9001-e-pbqp-h/>. Acesso em: 14 de abril de 2018.

SILVA, C.A. et al. Gestão da Qualidade Total; - Lins 2008. 74p Monografia. (Graduação em Administração) - Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis de Lins, Lins.

SILVA, F. B. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. Técnica, edição 174, setembro/2011. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia->

civil/174/patologia-das-construcoes-uma-especialidade-na-engenharia-civil-285892-1.aspx. Acesso em: 30/06/2018.

VIEIRA, S. Estatística para a Qualidade: como avaliar com precisão a qualidade dos produtos e serviços. 15ª Reimpressão Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.

APÊNDICE A – Quadro de defeitos ocorrentes na Construção Civil e suas principais causas

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;

	<ul style="list-style-type: none">• Ausência ou má execução das vergas e contra-vergas;• Recalques da fundação;• Deformações excessivas dos elementos estruturais;• Arraste por dilatação térmica dos elementos constituintes;
Mau funcionamento das redes de distribuição hidrossanitárias;	<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;
Redes de distribuição elétrica defeituosas;	<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;
Redes de distribuição de gás defeituosas; (Paulo)	<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;
Umidade nas paredes; (Paulo)	<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;

	<ul style="list-style-type: none">• Revestimentos externos não estanques às ações das chuvas;• Elementos estruturais e/ou estéticos afixados as alvenarias inadequadamente;• Condensações internas por variação do gradiente térmico;
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;

Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE B – Questionário de defeitos

O formulário busca a opinião de Engenheiros para identificar defeitos ocorrentes em obras de Construção Civil.

Na sua opinião, assinale os cinco problemas que mais ocorrem em obras de construção civil.

- Recalques das fundações;
- Deformações excessivas dos elementos estruturais;
- Fissuração da alvenaria;
- Mau funcionamento das redes de distribuição hidrossanitárias;
- Redes de distribuição elétrica defeituosas;
- Redes de distribuição de gás defeituosas;
- Umidade nas paredes;
- Fissuras no revestimento;
- Desaprumo das paredes;
- Falta de ortogonalidade do teto com as paredes;
- Desalinhamento de peças cerâmicas ou de granito;
- Desnívelamento de peças cerâmicas ou de granito;
- Outros:

APÊNDICE C – Questionário de causas de defeitos em obras de Construção Civil

O formulário busca a opinião de Engenheiros para identificar as principais causas de defeitos em obras de Construção Civil

Na sua opinião, assinale as três principais causas de ocorrência de recalques das fundações.

- 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;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as três principais causas de ocorrência de deformações excessivas dos elementos estruturais.

- 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;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as três principais causas de ocorrência de fissuração da alvenaria.

- 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;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as três principais causas do mau funcionamento das redes de distribuição hidrossanitárias.

- 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;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as três principais causas de ocorrência de redes de distribuição elétrica defeituosas.

- 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;
- Outros:

Na sua opinião, quais são as principais causas de ocorrência de redes de distribuição de gás defeituosas.

- Ligações defeituosas de gás (fugas);
- Não conformidades entre os traçados das tubulações no projeto e o executado;
- Inexistência de um projeto de gás realizado por uma empresa especialista;

Na sua opinião, assinale as três principais causas de ocorrência de umidade nas paredes.

- 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;
- Revestimentos externos não estanques às ações das chuvas;
- Elementos estruturais e/ou estéticos afixados as alvenarias inadequadamente;
- Condensações internas por variação do gradiente térmico;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as duas principais causas de ocorrência de fissuras no revestimento.

- 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;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as duas principais causas de ocorrência de desaprumo das paredes.

- Má execução da alvenaria;
- Má execução do revestimento;
- Baixa qualidade dos blocos de assentamento;
- Falta de ferramentas e equipamentos para a execução da alvenaria;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as duas principais causas de ocorrência de desnivelamento do teto.

- Desaprumo da alvenaria;
- Falta de nivelamento da laje;
- Deficiência na técnica de execução da alvenaria;
- Falta de ferramentas e equipamentos para a execução do teto;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as duas principais causas de ocorrência de desalinhamento de peças cerâmicas ou de granito.

- Assentamento das peças cerâmicas fora de esquadro;
- Peças cerâmicas de diferentes tamanhos;
- Não uso de gabaritos (espaçadores) para o assentamento das peças;
- Baixa qualificação da mão-de-obra;
- Outros:

Na sua opinião, assinale as três principais causas de ocorrência de desnivelamento de peças cerâmicas ou de granito.

- 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;
- Outros: