

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Lucas Bassegio Caumo

**EXECUÇÃO DE LAJES MOLDADAS *IN LOCO*:
UM SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA A
REDUÇÃO DE PERDAS**

Porto Alegre
dezembro 2014

LUCAS BASSEGIO CAUMO

**EXECUÇÃO DE LAJES MOLDADAS *IN LOCO*:
UM SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA A
REDUÇÃO DE PERDAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Alejandro Germán Frank

Porto Alegre
dezembro 2014

LUCAS BASSEGIO CAUMO

**EXECUÇÃO DE LAJES MOLDADAS *IN LOCO*:
UM SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA A
REDUÇÃO DE PERDAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2014

Prof. Alejandro Germán Frank
Dr. Pelo PPGE/UFGRS
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFGRS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Néstor Fabián Ayala
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Eduardo Luis Isatto
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Alejandro Germán Frank
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Jatir Carlos Caumo e
Santina Bassegio Caumo, que sempre me apoiaram e
especialmente durante o período do meu Curso de
Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente queria agradecer ao Prof. Alejandro Germán Frank, orientador deste trabalho, por todo apoio fornecido na execução desta pesquisa. Agradeço também à Professora Carin Maria Schmitt, coordenadora da disciplina, por ter me guiado de maneira clara, objetiva e competente em todo este trabalho.

Agradeço toda a minha família, em especial meus pais Jatir e Santana, meu irmão Rafael por terem me proporcionado totais condições para eu chegar até aqui, através de ensinamentos, gestos e auxílios prestados. À minha namorada Greta Paz, que sempre esteve do meu lado apoiando, principalmente nos momentos mais difíceis vividos.

Agradeço ao Engenheiro Fernando Radin, por todo apoio que forneceu para que este trabalho pudesse se tornar realidade.

Agradeço todos os meus amigos, especialmente aos meus colegas de curso que se uniram para vencer todas as etapas do curso. Também queria agradecer aos professores da UFRGS, por todos os ensinamentos e pelo excelente trabalho realizado guiando todos os alunos a alcançarem seus objetivos.

A vida não se acaba quando deixamos de viver e sim
quando deixamos de buscar algo nela.

Bob Marley

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise sobre o processo construtivo tradicional de execução de lajes de concreto usinado moldadas *in loco* utilizando fôrmas de madeira. Para tanto, focaliza-se no estudo de redução de perdas do volume utilizado em excesso desse concreto quando comparado com o valor medido em projeto. O estudo utiliza uma obra situada na cidade de Porto Alegre que pertence a uma construtora reconhecida nacionalmente. A obra observada consiste em um empreendimento residencial, de classe média, com três torres com 16 pavimentos cada uma. Devido ao fato da laje consistir uma peça estrutural com uma de suas dimensões muito menor que as outras duas, o uso do volume de concreto torna-se vulnerável, pois uma simples variação na altura da laje executada pode resultar em uma grande variação de volume de concreto usinado. Assim sendo, o presente estudo propõe analisar o processo construtivo de lajes moldadas no local da obra estudada identificando as principais causas do desperdício e propondo medidas para o controle e redução das perdas. A revisão bibliográfica, principalmente na área de engenharia da qualidade, possibilitou o uso de ferramentas que viabilizassem o objetivo do trabalho. Na primeira parte do trabalho, através das ferramentas adequadas, foram observadas as causas das perdas de concreto. Foi identificado o motivo da utilização de concreto a mais do que o projetado. Na segunda parte do trabalho, com as causas já identificadas, foram propostas e aplicadas algumas medidas de melhoria visando a redução dessas perdas na execução das lajes. Também foi apresentada aos responsáveis da empresa sugestões sobre a devida importância que se deve prestar à redução dessas perdas devido ao impacto financeiro que elas promovem, visto que o concreto usinado pertence ao grupo de materiais de maior peso no orçamento de uma obra, conforme sua curva ABC.

Palavras-chave: Perdas na Construção Civil. Sistema de Qualidade. Execução de Lajes Moldadas *in Loco*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa	17
Figura 2 – Diagrama de Pareto	32
Figura 3 – Diagrama de cause-e-feito	33
Figura 4 – Ciclo PDCA	36
Figura 5 – Perspectiva da obra estudada.....	42
Figura 6 – Montagem dos pilares.....	43
Figura 7 – Concretagem dos pilares.....	44
Figura 8 – Montagem do sistema de fôrma da Torre A.....	45
Figura 9 – Distribuição das mestras.....	46
Figura 10 – Curva ABC.....	52
Figura 11 – Diagrama de causa-e-efeito aplicado.....	53
Figura 12 – Carta de controle para valores individuais - Torre C - 2º pav.....	57
Figura 13 – Carta de controle para amplitudes móveis - Torre C - 2º pav.....	58
Figura 14 – Carta de controle para valores individuais - Torre C - 3º pav.....	58
Figura 15 – Carta de controle para amplitudes móveis - Torre C - 3º pav.....	59
Figura 16 – Carta de controle para valores individuais - Torre C - 4º pav.....	59
Figura 17 – Carta de controle para amplitudes móveis - Torre C - 4º pav.....	60
Figura 18 – Mestras.....	61
Figura 19 – Nivelamento.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores da constante E_2	35
Quadro 2 – Planejamento dos ciclos	47
Quadro 3 – Relação dos volumes dos elementos concretados das torres A e C.....	49
Quadro 4 – Relação dos volumes dos elementos concretados da torre B.....	50
Quadro 5 – Relação do volume utilizado com o solicitado.....	50
Quadro 6 – Resumo dos insumos do orçamento do empreendimento.....	51
Quadro 7 – Relação entre altura e volume das torres A e C.....	54
Quadro 8 – Relação entre altura e volume da torre B.....	54
Quadro 9 – Relação dos volumes utilizados de concreto na Torre C.....	55
Quadro 10 – Relação dos volumes utilizados de concreto na Torre B.....	56
Quadro 11 – Relação dos volumes utilizados de concreto na Torre A.....	56
Quadro 12 – Relação perda de concreto por caminhão.....	63
Quadro 13 – Resultados das perdas.....	66

LISTA DE SIGLAS

CEP – Controle estatístico do processo

LC – Limite Central

LSC – Limite Superior de Controle

LIC – Limite Inferior de Controle

TQC – *Total Quality Control*

LISTA DE SÍMBOLOS

\bar{x} = média dos valores individuais (cm)

\bar{R} = média das amplitudes móveis (cm)

E_2 = constante para cálculo dos limites de controle

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	15
2.2.1 Objetivo principal	15
2.2.2 Objetivo secundário	15
2.3 PRESSUPOSTO	16
2.4 DELIMITAÇÕES	16
2.5 LIMITAÇÕES	16
2.6 DELINEAMENTO	16
3 LAJES MOLDADAS IN LOCO	19
3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS LAJES	19
3.2 PROCESSO CONSTRUTIVO	20
3.2.1 Sistema de Fôrmas	21
3.2.2 Transporte de Concreto	22
3.2.3 Concretagem	23
4 QUALIDADE	25
4.1 CONCEITO DE QUALIDADE	25
4.2 CONTROLE DA QUALIDADE	26
4.3 CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL (TQC)	27
4.4 QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	28
4.5 CEP	29
4.6 FERRAMENTAS DA QUALIDADE	30
4.6.1 Fluxogramas	31
4.6.2 Diagrama de Pareto	31
4.6.3 Diagrama de causa-e-efeito	32
4.6.4 Brainstorming	33
4.6.5 Planilha de coleta de dados	34
4.6.6 Gráfico de controle	34
4.6.7 Carta de Controle para Valores Individuais	35
4.6.8 O ciclo PDCA	36
5 PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	38
5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS	39

6 MÉTODO DE PESQUISA.....	41
6.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E OBRA.....	41
6.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO.....	43
6.2.1 Sequencia Construtiva.....	43
6.2.2 Planejamento dos Ciclos.....	46
6.3 FERRAMENTAS DE COLETAS DE DADOS.....	47
6.3.1 Documentos.....	47
6.3.2 Entrevistas.....	48
6.3.3 Observação Participante.....	48
7 PESQUISA APLICADA.....	49
7.1 ANÁLISE DO ESTÁGIO INICIAL DE PRODUÇÃO.....	49
7.1.1 Orçamento da Obra.....	51
7.1.2 Curva ABC.....	52
7.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS.....	53
7.2.1 Método.....	54
7.2.1.1 Cartas de Controle.....	56
7.2.1.2 Colocação das mestras.....	60
7.2.1.3 Nivelamento.....	61
7.2.2 Mão de Obra.....	62
7.2.3 Medição.....	62
7.2.4 Matéria Prima.....	63
7.3 PLANO DE AÇÃO.....	64
7.3.1 Mão de Obra.....	64
7.3.2 Medição.....	65
7.3.3 Método.....	65
7.4 RESULTADOS FINAIS.....	65
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Muito se discute sobre políticas de qualidade no meio empresarial e sua importância nas melhorias dos processos das empresas. Essas discussões não se restringem apenas à indústria manufatureira. Elas estão cada vez mais presentes no meio da construção civil. Um dos diversos tópicos levantados por essas políticas é o da redução de perdas. Elas devem ser entendidas como qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão de obra e capital em quantidades superiores às necessárias à produção da edificação (FORMOSO et al., 1996).

Os profissionais da construção civil, via de regra, estão familiarizados com as perdas. Porém, muitas vezes estas são aceitas como algo normal do processo, sem serem estudadas as reais causas das mesmas aceitando suas consequências como uma característica normal de obra (SKOYLES; SKOYLES, 1987). Em um mercado cada vez mais competitivo, é de extrema importância a conscientização da existência das perdas presentes no canteiro de obras e sua relevância quanto ao orçamento do empreendimento, buscando continuamente melhorias nos processos construtivos.

Um dos principais materiais presente na maioria das obras da construção civil é o concreto usinado, foco do presente trabalho. São abordados os principais fatores que influenciam na quebra do volume utilizado em obra com aquele previsto em projeto. Por exemplo, visto que em uma laje a sua altura é muito menor comparada às outras duas dimensões da peça, qualquer que seja a variação dessa altura o volume final da laje pode modificar muito. Por isso, é imprescindível tomar todo o cuidado na execução de lajes, sabendo as principais causas que levam ao uso em excesso de concreto com o objetivo de reduzir as perdas nas obras.

Tendo em vista a representatividade desse material no orçamento de qualquer obra, torna-se importante investigar as perdas nos processos que envolvem o concreto na execução de lajes moldadas *in loco*. Além disso, a compreensão das perdas associadas a esse processo leva a uma segunda necessidade, que consiste no desenvolvimento de soluções que permitam gerenciar a execução dos projetos de lajes com foco na redução das perdas identificadas.

Do capítulo 3 ao 5 o trabalho apresenta uma revisão bibliográfica que serve como embasamento teórico para o entendimento do processo construtivo e dos principais conceitos da qualidade empregados no estudo. No capítulo 6 é desenvolvido um estudo que relata o estágio inicial da obra analisada, principais características do processo de execução das lajes e panorama geral das perdas até o momento. Além de uma descrição de empresa e obra abordadas.

O capítulo seguinte descreve as etapas e métodos que foram utilizados para a identificação das causas do problema. Com o conhecimento dos motivos, o capítulo propõem medidas a serem tomadas em função da redução das perdas, e por fim são apresentados os resultados. O último capítulo faz algumas considerações finais do trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: conhecidas as causas do uso de concreto usinado em volumes superiores aos previstos em projeto, que propostas podem ser apresentadas para reduzir as perdas na concretagem de lajes moldadas *in loco*?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é proposição de medidas de controle que auxiliem a execução de lajes moldadas *in loco* visando reduzir o uso de volumes de concreto usinado superiores aos previsto em projeto.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) definir ferramentas que auxiliem na identificação das perdas de concreto na execução de lajes moldadas *in loco*;
- b) validação das medidas de controle com a aplicação de ferramentas em um caso prático que permitam entender a relevância das perdas de concreto em termos quantitativos e financeiros na execução dessas lajes.

2.3 PRESSUPOSTO

Pressupõe-se que a variabilidade dos processos construtivos de lajes moldadas *in loco* seja a principal causa de desperdícios e também que a forma mais apropriada de abordar esse problema é mediante ferramentas da engenharia da qualidade que visam o controle e redução de variabilidade nos processos.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar e propor medidas de melhorias baseando-se num único empreendimento realizado em Porto Alegre.

2.5 LIMITAÇÕES

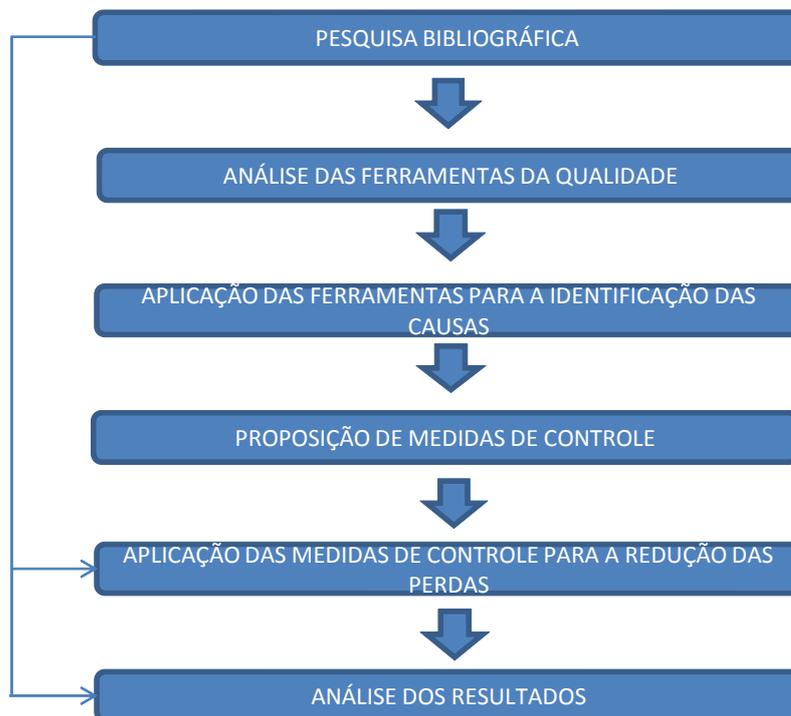
O trabalho limita-se a abordar somente ferramentas da engenharia da qualidade, e também somente aspectos relacionados ao processo construtivo de lajes moldadas *in loco*.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) análise das ferramentas da qualidade;
- c) aplicação das ferramentas para a identificação das causas;
- d) proposição de medidas de controle;
- e) aplicação das medidas de controle para a redução das perdas;
- f) análise dos resultados.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Na primeira etapa do trabalho, composta pela **pesquisa bibliográfica**, foram consultadas as mais diversas publicações a respeito dos processos construtivos, engenharia de qualidade e perdas na construção civil, a fim de obter embasamento teórico para a realização do trabalho.

Na segunda etapa foi realizada a **análise das ferramentas da qualidade** que melhor se adequam a realização do trabalho. Foram abordadas ferramentas para quantificação e identificação das perdas como também ferramentas de controle do processo.

A terceira etapa caracteriza-se pela **aplicação das ferramentas para a identificação das causas**, que se resume em, conhecidas as ferramentas da qualidade, aplicar uma ou várias delas com o intuito de conhecer as causas do uso em excesso de concreto na execução de lajes moldadas *in loco*.

A quarta etapa caracteriza-se pela **proposição de medidas de controle**. Partindo do conhecimento das causas a etapa tem como objetivo de propor formas de melhoria do processo construtivo.

A quinta etapa é a **aplicação das medidas de controle para a redução de perdas**. Foram aplicadas as medidas propostas na etapa anterior na execução das lajes moldadas *in loco* em uma obra de Porto Alegre.

A sexta etapa do trabalho consiste na **análise dos resultados**. Foi analisado se após a implantação do sistema de qualidade, ocorre a diminuição, ou não, do volume em excesso de concreto utilizado na execução das lajes moldadas *in loco* da obra em estudo.

3 LAJES MOLDADAS *IN LOCO*

Neste capítulo são abordados tópicos referentes à laje moldada *in loco*, tendo em vista suas classificações e seus processos construtivos. São analisadas as sequências de atividades que constituem na execução desse processo.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS LAJES

Na execução de lajes de concreto armado moldadas *in loco* as lajes podem ser classificadas quanto ao seu padrão de acabamento. Souza e Melhado (2002) classifica em três tipos, ou seja, lajes:

- a) convencionais; são aquelas com a simples finalidade de receber e transmitir esforços, sem nenhum controle efetivo, durante a execução, de nivelamento e rugosidade superficial. Posteriormente, é prevista a existência de uma camada regularizadora, denominada de contrapiso, antecedendo a execução do revestimento final do piso;
- b) niveladas; são aquelas em que existe, durante a execução, um controle de nivelamento, possibilitando, posteriormente, a aplicação de um contrapiso com espessura especificada pelo projeto. As lajes niveladas têm como objetivo reduzir a espessura de contrapiso encontradas nas obras, destinada a encobrir erros de nivelamento. Neste caso, é definida uma tolerância para o nivelamento da superfície, permitindo o recebimento de uma camada mínima de contrapiso;
- c) acabadas; são aquelas que não possuem a camada de contrapiso. Devem oferecer uma superfície com adequada rugosidade superficial, planeza e nivelamento ou declividade, necessários à fixação do revestimento final do piso. Neste caso, é de extrema importância que a laje fique plana por causa dos revestimentos finais de pequena espessura, como os vinílicos e os têxteis, serem sensivelmente influenciados pelas características do substrato.

Para Souza e Melhado (2002), com o avanço da tecnologia, a tendência é que as lajes devidamente niveladas assumam parte da função do revestimento de contrapiso, não sendo mais necessário o uso em excesso dessa camada com a simples finalidade de regularizar desníveis e declividades. Nesse caso, quando for usado, o contrapiso tem o objetivo de complementar outras funções relacionadas ao desempenho do subsistema vedação horizontal, tais como o isolamento acústico, e garantir uma maior capacidade de absorver as deformações que viriam a solicitar o revestimento.

Outra classificação que pode ser atribuída à construção das lajes refere-se ao grau de industrialização do processo construtivo. Souza e Melhado (2002) define as lajes em três diferentes processos:

- a) tradicionais; caracterizado pelo elevado desperdício de material e mão-de-obra e também pela baixa produtividade, o processo construtivo se baseia na produção artesanal. Esse desperdício se justifica tanto pela falta de planejamento quanto pela falta de projetos e especificações claramente definidos, impossibilitando um controle eficiente. As decisões são tomadas nos canteiros de obras, momentos antes da concretagem. Nesse caso a laje tem apenas o papel de receber esforços e as cargas do edifício, funcionando somente como a estrutura de suporte das vedações horizontais. Pode-se concluir que a execução de lajes tradicionais não permite o controle da planeza, nivelamento ou rugosidade que são características das lajes niveladas ou acabadas, definição previamente mencionada;
- b) racionalizadas; é caracterizada por uma mudança na estrutura organizacional da produção. O processo consiste na padronização das etapas executivas, implantando um planejamento previamente elaborado por pessoas que se encontram em uma instância superior à do operário. O objetivo é executar uma laje com maior precisão e qualidade previstas no projeto, estabelecendo critérios e tolerâncias para o controle na execução;
- c) industrializadas; é caracterizada quando utilizadas peças pré-fabricadas. As partes da estrutura são produzidas em uma fábrica, mudando totalmente a forma de construir e projetar a edificação. Por se tratar de um processo que utiliza peças pré-fabricadas, as lajes industrializadas são favorecidas quanto à sua planeza. Nesse caso, é de extrema importância que haja a integração entre projeto e produção, apresentando uma relação clara e previamente estabelecida de modo a evitar problemas de compatibilização de projetos.

3.2 PROCESSO CONSTRUTIVO

Para Souza e Melhado (2002, p. 26) a produção da estrutura de concreto armado moldadas *in loco* persiste na seguinte sequência de serviços:

1. recebimento do sistema de fôrmas;
2. montagem das fôrmas e armaduras dos pilares;
3. liberação dos pilares;
4. montagem das fôrmas de vigas e lajes;
5. liberação das fôrmas de vigas e lajes;
6. lançamento e adensamento do concreto dos pilares;
7. montagem da armadura de vigas e lajes;

8. liberação da armadura de vigas e lajes;
9. colocação de instalações embutidas;
10. limpeza geral da fôrma;
11. colocação de mestras de madeira como referência de espessura da laje;
12. lançamento e adensamento do concreto de vigas e lajes;
13. sarrafeamento com régua e acabamento da superfície do concreto com desempenadeira de madeira;
14. colocação das peças de pé-de-pilar que receberão os ganchos de pé-de-pilar, e dos sarrafos para fixação dos aprumadores de pilar, com o concreto ainda fresco;
15. início dos procedimentos de cura da laje, logo que for possível andar sobre o concreto;
16. desfôrma;
17. reinício do ciclo de execução.

3.2.1 Sistema de Fôrma

Segundo Andriolo (1984), as fôrmas são ferramentas e matrizes para a construção de edificações que servem para moldar o concreto em uma forma e dimensão desejada e dando sua correta posição e alinhamento.

Conforme Souza e Melhado (2002), o sistema de fôrmas conceitua-se em uma estrutura provisória com o objetivo de manter a geometria desejável do concreto em estado plástico até atingir sua resistência prevista. O autor ainda apresenta algumas características que o sistema deve possuir:

- a) resistência para suportar esforços oriundos do peso próprio, do empuxo do concreto e do tráfego de pessoas e equipamentos;
- b) rigidez para manter as dimensões e formas especificadas no projeto;
- c) estanqueidade com o intuito de evitar perda de água e finos durante a concretagem;
- d) permitir a desfôrma sem maiores danos;
- e) apresentar rugosidade superficial específicas para cada situação de uso.

Conclui-se com essas definições que, embora seja dada a importância de manter as formas e dimensões, não se atribui ao sistema de fôrmas a função de garantir ao concreto a precisão do seu nivelamento. Entretanto não é o que se observa nos processos construtivos tradicionais,

onde o nivelamento das lajes de concreto é atribuído unicamente ao sistema de fôrmas. Fato que acaba prejudicando a obtenção da laje nivelada ou acabada, pelo motivo da fôrma ser ainda bastante deformável.

Andriolo (1984) diz que para manter a precisão na forma e na dimensão da estrutura de concreto armado é necessário cuidado na construção. Para o autor, as fôrmas devem ser montadas nas medidas corretas, suficientemente rígidas para manter a forma que lhe é solicitada.

Para Souza e Melhado (2002), a deformação da fôrma deve ser controlada para que as dimensões sejam mantidas durante o lançamento e a cura do concreto. Elas devem ser o mais possível indeformáveis para reproduzirem com precisão as formas e superfícies solicitadas pelo projeto.

Segundo o autor, com o intuito de racionalizar o processo construtivo tradicional de lajes moldadas *in loco*, o modo adotado para se controlar deformabilidade é através de um controle de nivelamento rigoroso durante o processo de concretagem com a responsabilidade de reposicionar as peças, à medida que elas venham a sair da posição projetada. Além disso, o nivelamento é adquirido com o apoio de um conjunto de equipamentos e ações, tais como o uso de uma referência de nível com ajuste de altura e todo um planejamento prévio das atividades a serem feitas durante a execução da laje.

Os projetos de fôrmas convencionais ilustram apenas as dimensões e as formas da estrutura de concreto, não contendo informações sobre a fôrma em si. Por isso, muitas vezes, o cimbramento é projetado no próprio canteiro de obras, podendo ocorrer superdimensionamentos ou subdimensionamentos levando a gastos ou deformações excessivas.

3.2.2 Transporte de Concreto

O concreto deve ser transportado até o local de lançamento em tempo compatível ao com o de início da pega, e o meio utilizado deve ser tal que não acarrete segregação de seus constituintes ou perda sensível de seus componentes por vazamento ou evaporação.

Conforme Souza e Melhado (2002), podem ser empregados no transporte de concreto equipamentos tais como guindastes de torre (gruas de torre fixa ou ascensional), ou mesmo bombas de concreto. As bombas podem ser fixas, acompanhadas de uma tubulação também fixa previamente instalada na edificação, ou podem ser colocadas em um caminhão disposto com uma lança móvel que atinge somente andares mais baixos.

Para o autor, a racionalização do processo de execução de lajes tradicional consiste na análise, antes da primeira concretagem de lajes, de qual melhor equipamento deve ser utilizado no transporte de concreto, de modo que permita a elaboração de um projeto para a produção de laje. No caso do transporte através de bombas, o canteiro de obras precisa estar também preparado para receber a sua tubulação (no caso dos pavimentos mais altos, onde não se pode trabalhar lança), de modo que não danifique as referências de nível ou armaduras posicionadas na fôrma.

Quando o transporte é realizado com bomba, o lançamento do concreto é efetuado diretamente sobre a fôrma, devendo-se tomar alguns cuidados no preparo do equipamento, tais como o nivelamento da bomba, travar a tubulação em peças já concretadas e lubrificar a tubulação com argamassa de cimento e areia, não utilizada para a concretagem.

3.2.3 Concretagem

Na produção de lajes de concreto armado moldadas *in loco*, a concretagem consiste essencialmente no lançamento do concreto sobre a fôrma, na vibração (para adensamento), no nivelamento e no acabamento superficial. No procedimento tradicional, a execução consiste na colocação, sobre a fôrma nivelada, mestras de madeira que têm a finalidade de fornecer a espessura das lajes de concreto.

Conforme Andriolo (1984) para que se possa atender as características de qualidade do concreto durante o lançamento do material é necessário a verificação rigorosa através de inspetores para cada uma das frentes com relação a:

- a) lançamento do concreto;
- b) espalhamento do concreto;
- c) adensamento do concreto;
- d) acabamento do concreto;

e) cura do concreto.

Para Souza e Melhado (2002), o processo construtivo tradicional apresenta um resultado insatisfatório quanto ao nivelamento. Ele indica que após a montagem das fôrmas de vigas e lajes, não é prevista uma etapa referente ao assentamento ou fixação das referências de nível, com ajuste na altura. O nivelamento dos painéis da laje é feito somente por baixo das fôrmas passando a responsabilidade de nivelamento unicamente ao sistema de fôrmas. Para a racionalização dos serviços da execução no modo tradicional presume-se, basicamente, às mudanças em relação à referencial de nível utilizada, ao controle de produção e recebimento e à organização da produção.

Segundo o mesmo autor, o nivelamento adequado da laje deve ser controlado em três etapas, ou seja, controle de nivelamento:

- a) da fôrma, por baixo e por cima;
- b) das referências de nível, anterior à concretagem;
- c) do concreto, durante a execução da laje.

Dessa forma, a fôrma, após sua montagem deve ter seu nivelamento conferido e ajustado antes da etapa de assentamento das referências de nível, utilizando equipamentos com grau de precisão adequado.

Segundo os Informes Técnicos da empresa da obra estudada, materiais disponíveis às obras da empresa que descrevem todos os procedimentos construtivos de um canteiro de obras, para que seja liberada a etapa de concretagem é necessária a liberação de alguns serviços anteriores como a conferência de nivelamento de fundo de viga e de laje - passar linha de nylon nivelada a partir dos pontos de nível das grades dos pilares, medindo até face inferior da fôrma ou utilizar nível laser para conferência.

O material técnico também informa que o controle da espessura da laje deve ser garantido através de mestras metálicas ou utilização de nível a laser durante a concretagem. No caso de pilares deve ser controlada a cota de arrasamento (parada) de concreto no fundo da viga. Por fim, no que se refere à concretagem, o procedimento descrito nos informes técnicos prevê que durante a concretagem deve-se verificar o nivelamento de fundo de viga e laje, procedendo pequenos ajustes, através de nivelamento no pavimento inferior com laser ou linhas niveladas.

4 QUALIDADE

O capítulo aborda os principais conceitos de qualidade de uma forma geral e posteriormente analisa a qualidade dentro do canteiro de obra.

4.1 CONCEITO DE QUALIDADE

A definição de qualidade depende do ponto de vista do avaliador. Na opinião do operário, ele faz um serviço de qualidade se ele puder se orgulhar disso. Para o operário, baixa qualidade seria a perda de negócios ou emprego. Já para o administrador da fábrica, qualidade significa produzir a quantidade planejada e atender às especificações dos clientes. Além disso, sua função também é constante aperfeiçoamento dos processos e a constante melhora de sua liderança. (DEMING, 1990)

A dificuldade de se definir qualidade está em mensurar as futuras necessidades do cliente, de forma que um produto possa ser projetado e modificado para satisfazer por um preço que o usuário pague. Deming (1990) indica que na obra intitulada *Economic Control of Quality of Manufactured Product* seu autor, Shewhart, que isto não é simples, pois assim que alguém se sente bem-sucedido em sua tentativa, descobre que as necessidades dos clientes já mudaram, que novos concorrentes já entraram no mercado e que existem novas tecnologias com as quais se possa trabalhar.

Para Campos (2004), o conceito de qualidade se resume em um produto ou serviço que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades dos clientes.

Por último, Montgomery (2012) indica que na obra de Garvin, intitulada *Competing in the Eight Dimensions of Quality*, de setembro de 1987, é definida a qualidade em oito componentes ou dimensões que estão dispostas a seguir:

- a) desempenho: consumidores avaliam um produto para determinar se ele desempenha certas funções específicas e quão bem ele as desempenha;
- b) confiabilidade: produtos complexos, como aparelhos elétricos, automóveis ou aviões exigem algum reparo ao longo de sua vida útil;

- c) durabilidade: Essa é a vida útil real do produto. Consumidores desejam um produto que tenha um desempenho satisfatório por um longo período de tempo;
- d) assistência técnica: o quão fácil é de consertar o produto;
- e) estética: dimensão de apelo visual do produto;
- f) características: em geral, consumidores associam alta qualidade proporcionalmente a produtos que apresentam características a mais;
- g) qualidade percebida: consumidores confiam na reputação passada da companhia em relação da qualidade de seu produto;
- h) conformidade com especificações: consumidores como de alta qualidade o produto que apresenta exatamente as especificações a ele destinadas.

4.2 CONTROLE DA QUALIDADE

Conforme Para Souza et al. (1995), para que se obtenha êxito na implantação de um sistema de qualidade numa determinada empresa é necessário:

- a) reconhecer que a realidade do país e do setor da construção se alterou radicalmente nos últimos anos;
- b) reconhecer que a Qualidade Total é um instrumento de mudança da empresa podendo deixa-la mais competitiva;
- c) reconhecer nos clientes externos da empresa a razão de sua existência e qual a qualidade que satisfaz os mesmos;
- d) reconhecer que o comprometimento prático da alta administração da empresa na implantação do sistema de qualidade é essencial para o sucesso;
- e) reconhecer que a qualidade é satisfação de todos, que deve ser construída por todos;
- f) reconhecer que o ser humano é em essência um ser criativo que aceita, gosta e é capaz de superar desafios;
- g) reconhecer que cada empresa deve ter um sistema de qualidade próprio, desenvolvido e implantado de acordo com suas características;
- h) reconhecer que as empresas têm um papel social e um compromisso ético com o consumidor.

No estilo japonês, o controle de qualidade é uma revolução do pensamento administrativo. É uma nova maneira de se pensar sobre administração. Para Ishikawa (1993) o controle de qualidade é definido como um sistema de métodos de produção que produzem economicamente bens ou serviços de boa qualidade atendendo aos requisitos do consumidor.

O método moderno utiliza ferramentas estatísticas e é chamado de controle de qualidade estatístico.

Ainda conforme Ishikawa (1993), para praticar o controle em uma organização, todos os envolvidos precisam participar e promover o controle da qualidade, incluindo todas os departamentos de uma empresa.

Para Campos (2004), manter algo sob controle é saber identificar o problema, analisar o processo, padronizar e estabelecer itens de controle de tal forma que o problema em questão nunca mais ocorra. Segundo o autor, para os japoneses, controle inclui o lado humano. O conceito de controle toma como princípio a ideia que o homem tem uma natureza boa, que as pessoas sentem satisfação por um bom trabalho realizado. Em caso de ocorrência de algum problema, não existe culpados. Existem causas que devem ser buscadas por todas as pessoas da empresa de forma voluntária.

4.3 CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL (TQC)

As organizações humanas são meios (causas) destinados a atingir determinados fins (efeitos). Controlar essa organização significa identificar os fins ou efeitos não alcançados pela empresa e propor melhorias para o combate desses maus resultados obtidos por essa empresa.

Campos (2004), cita uma outra definição que é a do controle da qualidade total. Conceito que o autor separa em duas outras definições:

- a) qualidade total: são todas as dimensões que afetam na satisfação das necessidades das pessoas e, por conseguinte, a sobrevivência da empresa;
- b) controle total: o autor define como o controle exercido por todas as pessoas da empresa de forma harmônica e metódica (baseado no ciclo PDCA).

Resumindo o TQC é o controle exercido por todas as pessoas para a satisfação das necessidades de todas as pessoas.

Conforme Campos (2004), o TQC é regido pelos seguintes princípios:

- a) produzir produtos/serviços que atendam concretamente às necessidades do cliente;
- b) garantir a sobrevivência da empresa por meio de lucro contínuo adquirido;

- c) identificar o problema mais crítico e solucioná-lo pela mais alta prioridade;
- d) falar, raciocinar e decidir com dados e com base em fatos;
- e) gerenciar a empresa ao longo do processo e não por resultados;
- f) reduzir metodicamente as dispersões por meio do isolamento de suas causas fundamentais;
- g) o cliente é o rei. Não permitir a venda de produtos defeituosos;
- h) procurar prevenir a origem de problemas cada vez mais a montante;
- i) nunca permitir que o mesmo problema se repita pela mesma causa;
- j) respeitar os empregados como seres humanos independentes;
- k) definir e garantir a execução da visão e estratégia de alta direção de empresa.

4.4 QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Apesar dos conceitos e metodologias relativos à qualidade terem nascido na indústria de transformação e posteriormente migrados à indústria da construção civil, ambas se diferem entre si. Cada vez mais, tenta-se introduzir conceitos da Qualidade total nos canteiros de obras. Porém, devido a algumas características singulares da construção, a utilização das práticas modernas da qualidade se torna um pouco mais complicada.

Souza et al. (1995, p. 39) lista alguma das dificuldades encontradas na adaptação dos conceitos da qualidade no canteiro de obras:

A construção é uma indústria de caráter nômade;

Cria produtos únicos e não produtos seriados;

Não possível aplicar a produção em cadeia (produtos passando por operários fixos), mas sim uma produção centralizada (operários móveis em torno de um produto fixo);

É uma indústria muito tradicional, com grande inércia às alterações;

Utiliza mão-de-obra intensiva e pouco qualificada, sendo que o emprego dessas pessoas tem caráter eventual e suas possibilidades de promoção são escassas, o que gera baixa motivação no trabalho;

A construção, de maneira geral, realiza seus trabalhos sob intempéries;

O produto é único, ou quase único, na vida do usuário;

São empregadas especificações complexas, quase sempre contraditórias e muitas vezes confusas;

As responsabilidades são dispersas e poucos definidas;

O grau de precisão com que se trabalha na construção é, em geral, muito menor do que em outras indústrias, qualquer que seja o parâmetro que se contemple: orçamento, prazo, resistência mecânica, etc.

4.5 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP)

Conforme Montgomery (2012), a engenharia da qualidade é o conjunto de atividades operacionais, de gerenciamento e de engenharia que uma organização utiliza para garantir que as características da qualidade de um produto estejam em níveis nominais ou exigidos pelo cliente.

Segundo o autor, existe uma certa dificuldade por parte das organizações fornecerem produtos ao fornecedor, que tenham as características da qualidade sempre idênticas de uma para outra unidade, ou que estejam em níveis que correspondam à expectativa do consumidor. A razão disso é a variabilidade dos processos. Nenhum produto é igual a outro. Existe certa quantidade de variabilidade em todos os produtos.

Em qualquer processo produtivo, mesmo que bem planejado ou mantido, uma parcela de variabilidade inerente ou natural sempre existe. Essa variabilidade natural ou “ruído de fundo” é o somatório de inúmeras pequenas causas que ocorrem inevitavelmente. No sistema do controle estatístico da qualidade, essa variabilidade é denominada de “sistema estável de causas aleatórias”. Presume-se que se um processo produtivo possuir apenas esse tipo de causas de variação, ele está sob controle estatístico (MONTGOMERY, 2012).

Segundo Montgomery (2012), outros tipos de variabilidade podem, ocasionalmente, acontecer na saída de um processo. Ela geralmente ocorre devido a três fatores: máquinas ajustadas ou controladas de maneira inadequada, erros do operador e matéria prima defeituosa. Essa variabilidade é, geralmente, bem maior comparada ao ruído de fundo, e representa um nível inaceitável do desempenho do processo. Portanto, ela não faz parte do padrão das causas aleatórias, e são classificadas como “causas atribuíveis”. Concluindo-se, então, que um processo que opera na presença de causas atribuíveis está fora de controle.

Para que sejam atendidas a exigências do cliente, deve ser produzido um processo que seja estável ou replicável. Mais precisamente, o processo deve operar com pequena variabilidade em torno das dimensões-alvo ou nominais das características de qualidade do produto. O controle estatístico do processo (CEP) é um conjunto de ferramentas que auxiliam a resolução

de problemas com o intuito de obter estabilidade no processo e melhoria da capacidade através da redução da variabilidade. Montgomery (2012, p. 109) lista as sete principais ferramentas:

- a) apresentação em histogramas ou ramo-e-folhas;
- b) folha de controle;
- c) gráfico de Pareto;
- d) diagrama de causa e efeito;
- e) diagrama de concentração de efeito;
- f) diagrama de dispersão;
- g) gráfico de controle.

As ferramentas descritas englobam apenas seus aspectos técnicos. O CEP desenvolve um ambiente no qual os indivíduos desejam melhora continuada na qualidade e produtividade. Após estabelecido esse ambiente, a aplicação rotineira das sete ferramentas se torna parte usual da maneira de se fazer negócios, direcionando a organização para a obtenção de melhorias na qualidade (MONTGOMERY, 2012).

4.6 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Com o objetivo de identificar e analisar problemas, visando promover melhoria contínua de seus processos e a padronização de seus procedimentos, existem diversas ferramentas da qualidade para serem utilizadas. Para Souza et al. (1995) o uso dessas ferramentas evita uma série de falhas muito comuns nas decisões do cotidiano. A seguir, alguns exemplos de falhas:

- a) conclusão por intuição, ir para a solução do problema sem analisar os ângulos da questão;
- b) tomada de decisões pelo caminho mais curto, desprezar dados por pressa ou dificuldade de obtê-los;
- c) dimensionamento inadequado do problema, quando a solução encontra-se em esfera superior de decisão, fora do controle da empresa;
- d) satisfação com uma única solução, insistir na solução encontrada, passando por cima objeções, dificuldades e custos;
- e) isolamento do problema, não consultar pessoas-chave para a solução e nem aquelas que são responsáveis pela implementação da decisão;

- f) omissão de detalhes, encontrar a solução sem aprofundar sua viabilização, com o planejamento dos recursos financeiros, humanos e materiais.

São apresentadas, a seguir, algumas ferramentas que auxiliam na identificação e análise de problemas que são utilizadas para a melhoria da qualidade.

4.6.1 Fluxogramas

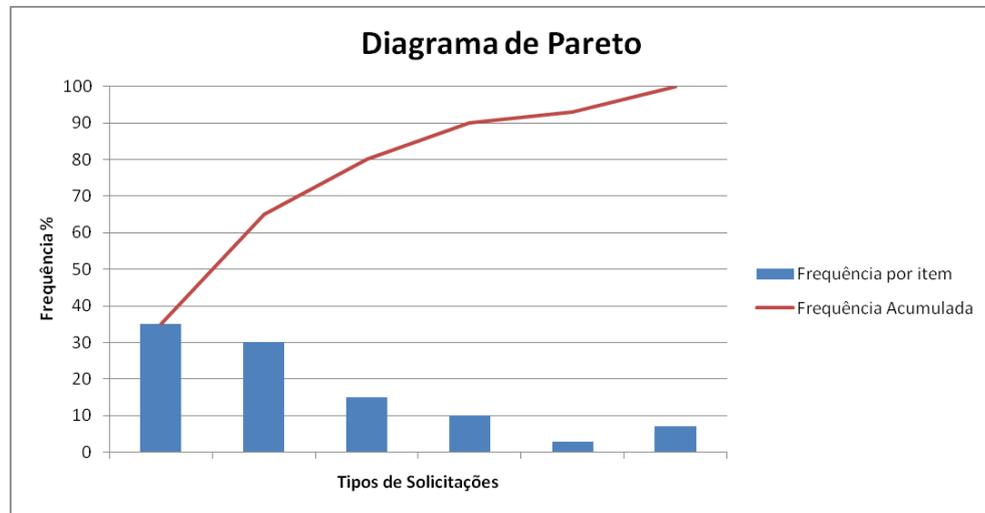
Representação gráfica da sequência de atividades que integram determinado processo de modo analítico. Essa ferramenta caracteriza as operações e os agentes responsáveis por elas. A elaboração de um fluxograma inicia-se no levantamento da rotina do processo avaliado, identificando entradas, fornecedores, operações, saídas e seus clientes. Essa ferramenta pode ser aplicada para a identificação tanto para o processo global de uma empresa, tanto para um processo específico analisado (SOUZA et al., 1995).

4.6.2 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é um gráfico de barras que determina prioridades entre diversos problemas, levando em conta as frequências com que esses problemas ocorrem. Essa ferramenta auxilia o grupo a dirigir sua atenção e esforços a problemas realmente importantes. No topo das barras, desenha-se uma linha que apresenta a frequência acumulada de ocorrências nas categorias analisadas (SOUZA et al., 1995).

Observa-se facilmente que apenas algumas causas são responsáveis pela maioria dos problemas, enquanto que muitas outras influem de maneira pouco significativa, conforme apresentada na figura 2.

Figura 2 – Diagrama de Pareto

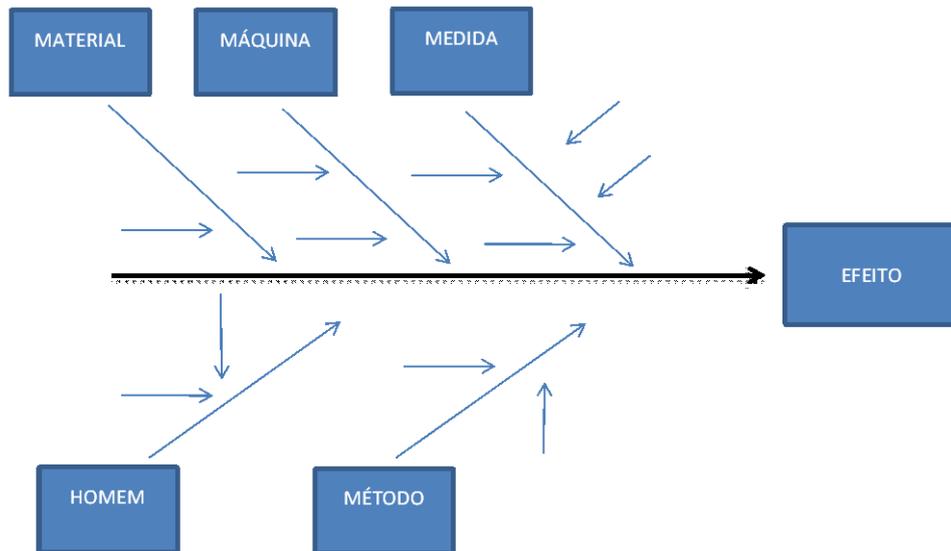


(fonte: elaborado pelo autor)

4.6.3 Diagrama de causa-e-efeito

Idealizado pelo professor Kaoru Ishikawa, o diagrama de causa-e-efeito, também conhecido como “Diagrama Espinha de Peixe”, é uma ferramenta formal frequentemente útil na eliminação de causas potenciais. A análise de causa-e-efeito é uma ferramenta muito eficiente. O diagrama espinha de peixe muito detalhado pode auxiliar, com eficiência, na localização e reparação de defeitos. Além disso, o diagrama tende a levar as pessoas envolvidas a propor melhorias para os defeitos encontrados e não simplesmente atribuir a culpa desses problemas (MONTGOMERY, 2012). A figura 3 representa o diagrama em estudo.

Figura 3 – Diagrama de causa e efeito



(fonte: elaborado pelo autor)

A seguir os passos na construção do diagrama de causa-e-efeito para Montgomery (2012, p. 111):

- a) defina o problema ou efeito a ser analisado;
- b) forme a equipe para realizar a análise. Em geral, a equipe descobrirá causas potenciais em sessões *brainstorming*;
- c) desenhe a caixa de efeito e a linha central;
- d) especifique as principais categorias de causas potenciais e coloque-as em caixas, ligadas à linha central;
- e) identifique as causas possíveis e classifique-as nas categorias do passo 4. Crie novas categorias, se necessário;
- f) ordene as causas para identificar aquelas que parecem mais prováveis de causar impacto sobre o problema;
- g) adote ações corretivas.

4.6.4 *Brainstroming*

Brainstorming é uma técnica de reunião em grupos com o objetivo de escolha do problema a ser trabalhado e também de resolução do mesmo. Resume-se em uma reunião onde os participantes são encorajados a expor suas ideias sem nenhum tipo de censura. Uma ideia aparentemente absurda pode levar a uma segunda que sozinha ou combinada pode encaminhar a uma solução do problema. Por isso, é proibida qualquer manifestação de crítica ou avaliações das ideias expostas. A ferramenta se baseia na teoria de quanto mais ideias geradas, maior é a possibilidade de resolução do problema (SOUZA et al., 1995).

4.6.5 Planilha de coleta de dados

Ferramenta de simples compreensão, a planilha de coleta de dados é uma folha de verificação utilizada para determinar frequências com que as atividades ocorrem. A planilha constitui-se num formulário no qual os itens e o período de tempo a serem avaliados já estão determinados. O verificador usa a folha apenas fazendo marcas sempre que foram encontrados defeitos, o que possibilita identificar os defeitos que ocorrem com maior frequência.

4.6.6 Gráfico de Controle

Uma das técnicas principais do CEP, o gráfico de controle plota as médias das medidas de uma característica de qualidade em amostras do processo *versus* tempo. O gráfico possui uma linha central (LC) e limites superior e inferior de controle (LSC e LIC). A linha central do gráfico representa onde o processo está imune à variabilidade. Os limites de controle são determinados a partir de considerações estatísticas simples. Os gráficos de controle se aplicam às variáveis de saída, porém em alguns casos se aplicam às de entrada também (MONTGOMERY, 2012).

Segundo Montgomery (2012), o gráfico em estudo é uma técnica de monitoramento do processo muito útil. Ele indica que quando fontes não-usuais de variabilidade estão presentes, as médias amostrais são plotadas fora dos limites de controle. Isto demonstra que o processo encontra algum tipo de anormalidade e que necessita de alguma investigação e de alguma ação corretiva. A ferramenta é um excelente modo de reduzir variabilidade.

4.6.7 Carta de Controle para Valores Individuais

Dos vários tipos de cartas de controle, a carta de controle para valores individuais é que se melhor enquadra na execução de lajes. Para Ribeiro e Caten (2001), é usado esse tipo de carta para valores de baixa produção que é o caso da estrutura de concreto armado. Para esse caso o limite superior de controle é dado pela fórmula 1.

$$LSC = \bar{x} + E_2 \bar{R}$$

Onde:

LSC = limite superior de controle

\bar{x} = média dos valores individuais [cm]

E_2 = constante

\bar{R} = média das amplitudes móveis [cm]

Já o limite inferior de controle é dado pela fórmula 2.

$$LIC = \bar{x} - E_2 \bar{R}$$

Onde:

LIC = limite inferior de controle

A constante E_2 é dada pelo quadro 1.

Quadro 1 – Valores da constante E_2

n (nº amostras)	2	3	4	5	6
E_2	2,66	1,77	1,46	1,29	1,18

(fonte: adaptado de RIBEIRO; CATEN, 2001, p. 64)

Segundo o autor, para casos de cartas de controle para valores individuais é para considerar tamanho da amostra igual a dois e considerar o valor da amplitude móvel sendo a média das amplitudes de dois valores sequenciais da tabela de valores.

4.6.8 O ciclo PDCA

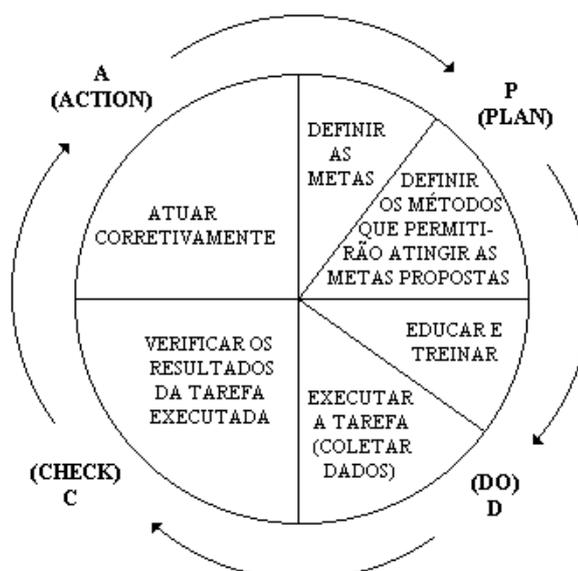
Trata-se de uma ferramenta de controle e melhoria de processos que precisa ser de domínio de todos os funcionários da empresa. Para a aplicação de padrões administrativos, técnicos e operacionais é necessário passar por uma etapa de educação e treinamento (SOUZA et al., 1995).

Campos (2004), define o significado do ciclo PDCA como:

- a) planejamento (P): consiste em estabelecer metas e estabelecer maneiras para atingir essas metas propostas;
- b) execução (D): execução das tarefas exatamente como prevista no plano e coleta de dados para verificação do processo. Nesta etapa é de extrema importância o treinamento dos participantes da fase de planejamento;
- c) verificação (V): Com os dados coletados na execução, compara-se o resultado alcançado com a meta planejada;
- d) atuação corretiva (A): etapa na qual o usuário atua no sentido de fazer correção definitivas, de modo a nunca mais ocorrer o problema encontrado.

O ciclo PDCA é apresentado na figura 4.

Figura 4 – Ciclo PDCA



(fonte: CAMPOS, 2004, p. 34)

Para Souza et al. (1995), a qualidade dentro do canteiro de obras é resultante da qualidade na execução de cada serviço do processo produtivo. O autor acredita no giro do ciclo PDCA em cada serviço, ou seja, padronizar e planejar a execução dos serviços, treinar a mão-de-obra envolvida, fazer de acordo com o padrão, checar o que foi realizado e promover ações corretivas quando for o caso.

5 PERDAS NA CONSTRUÇÃO

Geralmente se associa o termo perdas na construção civil especificamente no desperdício de materiais. Porém, segundo Formoso et al. (1996) o conceito é mais amplo. Para o autor perdas na construção civil devem ser entendidas como qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão de obra e capital em quantidades superiores às necessárias à produção da edificação. Pela definição, além das perdas de materiais previamente identificadas são consideradas também as perdas referentes à execução de tarefas desnecessárias que geram custos adicionais e não agregam valor.

Formoso et al. (1996) afirma que as perdas de materiais ocorrem em todos os estágios da construção civil, desde a chegada do material, estocagem, transporte, até sua aplicação em um determinado processo construtivo. Esse autor ainda faz uma nova definição da origem das perdas ocorridas, que são: projeto, fornecimento de materiais, gerenciamento da obra e orçamentação.

Outros dois conceitos que auxiliam no entendimento das perdas, são os de atividade de conversão e atividade de fluxo. Eles constituem as atividades relativas a um determinado processo. Formoso et al. (1996, p. 1) as define como:

- a) atividade de conversão: envolvem o processamento dos materiais em produtos acabados;
- b) atividade de fluxo: relacionam-se às tarefas de inspeção movimento e espera dos materiais.

Para o autor, são as atividades de conversão que normalmente agregam valor ao produto. Porém não são todas. Quando se tem retrabalhos indica que se executou uma atividade de conversão sem agregar valor.

Segundo Koskela¹ (1992 apud FORMOSO et al., 1996), as novas filosofias de produção mostram que a eficiência de um processo pode ser melhorada e suas perdas reduzidas não

¹ KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: CIFE, 1992.

somente pela melhoria das atividades de conversão e de fluxo, mas também pela eliminação de algumas atividades de fluxo.

5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS

Soibelman (1993) define um nível aceitável de perdas que divide dois conceitos que são apresentados a seguir:

- a) perdas evitáveis: ocorrem quando os custos de ocorrência são substancialmente maiores que os custos de prevenção, resultado de um processo de baixa qualidade, no qual os recursos são empregados inadequadamente;
- b) perdas inevitáveis (ou perda natural): correspondem a um nível aceitável de perdas, que é identificado quando o investimento necessário para sua redução é maior que a economia gerada.

Formoso et al. (1996) ainda faz uma nova adaptação das perdas Shingo² (1981 apud FORMOSO et al., 1996), trazendo-as para dentro do ambiente da construção e classificando-as conforme sua natureza. Os diferentes tipos de perdas são apresentados a seguir:

- a) perdas por superprodução: ocorrem devido à produção em quantidades superiores a necessária, por exemplo: excesso de espessura de lajes de concreto armado;
- b) perdas por substituição: decorrem da utilização de um material de valor ou características de desempenho superiores ao especificado;
- c) perdas por espera: relacionadas com a sincronização e o nivelamento dos fluxos de materiais e as atividades dos trabalhadores;
- d) perdas por transporte: as perdas por transporte estão associadas ao manuseio excessivo ou inadequado dos materiais e componentes em função de uma má programação das atividades ou de um *layout* ineficiente;
- e) perdas no processamento em si: têm origem na própria natureza das atividades do processo ou na execução inadequada dos mesmos. Decorrem da falta de procedimentos padronizados e ineficiências nos métodos de trabalho da falta de treinamento da mão de obra ou de deficiências no detalhamento o construtividades dos projetos;
- f) perdas nos estoques: existência de estoques excessivos, em razão da falta de programação de entrega de materiais ou de erros de orçamentação. Também decorrem da falta de cuidado quanto ao armazenamento dos materiais;
- g) perdas no movimento: decorrem da realização de movimentos desnecessários por parte dos trabalhadores;

² SHINGO, S. **A study of Toyota production system from an industrial engineering viewpoint**. Tokyo: Management Association, 1981.

- h) perdas pela elaboração de produtos defeituosos: ocorrem quando são fabricados produtos que não atendem às necessidades especificadas.

Para o trabalho em questão, são identificadas perdas por superprodução, visto que o volume de concreto usinado utilizado ocorre em quantidade maior com a necessária vista em projeto. Baseando-se nos conceitos de perdas previamente abordados, no processo construtivo das lajes ocorre as os dois tipos de perda, com relação ao nível de aceitação. Perdas naturais, inerentes ao processo, como o volume que permanece no coxo e tubulações da bomba de concreto, e as perdas evitáveis, nas quais são geradas devido à má utilização dos recursos disponíveis. O estudo foca na redução desse último tipo de perda.

6 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo, é apresentado o método de pesquisa adotado na pesquisa, como também uma breve descrição da empresa estudada, obra em questão e seu sistema construtivo adotado na edificação.

Primeiramente, em termos metodológicos, trata-se de uma Pesquisa Aplicada por se dirigir para a solução de um problema prático específico em área delimitada na qual se espera melhoria ou progresso de algum processo ou atividade. O delineamento de uma pesquisa aplicada pode ser observado a seguir:

- a) definição clara e inconfundível do problema: por se tratar de problema prático, este deve ser descrito com riqueza de detalhes, tornando-o inconfundível;
- b) elaboração teórica da solução;
- c) aplicação da solução;
- d) análise dos resultados.

6.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E OBRA

A empresa na qual o trabalho foi realizado é uma companhia fundada há mais de 30 anos, que atua nos diversos segmentos do mercado imobiliário. Iniciou suas atuações na região metropolitana do estado de São Paulo, e atualmente está presente em 14 estados brasileiros. Em toda a sua história, já construiu mais de 65 mil unidades entregues, num total de 6.011.265 m² construídos (fonte: empresa estudada)³.

Inicialmente a Empresa incorporava imóveis de alto padrão. Por razões estratégicas, mudou seu foco de atuação, desenvolvendo, também, segmentos de imóveis das classes B e C. A partir de então, passou a idealizar um novo conceito de moradia, englobando não somente instalações básicas, mas também, paisagismo, tratamento de esgoto, praças, parques, entre outros (fonte: empresa estudada)⁴. A Empresa possui certificação ISSO 9001:2008 e nível A no PBQPH, tendo todo um embasamento em procedimentos operacionais estabelecidos em todos os níveis organizacionais.

³ A empresa não terá seu nome divulgado por motivos éticos

⁴ op. cit.

Para o trabalho realizado foi selecionada uma obra situada em Porto Alegre com um segmento mais econômico da empresa, voltada para a classe média baixa, atualmente em um estágio de finalização da estrutura de concreto armado. O empreendimento pode ser visto na figura 5.

Figura 5 – Perspectiva da obra estudada



(fonte: empresa estudada)

A obra estudada é um condomínio composto por três torres residenciais, denominadas A, B e C que são compostas por um pavimento térreo e quinze pavimentos tipo. Também fazem parte do empreendimento alguns elementos condominiais como salão de festas, piscina e quiosques. Cada pavimento das torres A e C possui 360 m², já os pavimentos da torre B possuem 306 m² cada.

O sistema estrutural da obra é concreto armado formado por pilares vigas e lajes moldadas no local, e ele é executado por empresas terceirizadas. O sistema de vedação das torres é feito através de blocos cerâmicos assentados com argamassa. Todas as lajes das três torres têm 10 centímetros de altura cada, conforme previstas no projeto estrutural. Cada torre do canteiro de obras possui uma empresa terceirizada responsável pela execução da estrutura, deixando a empresa contratante responsável pelo fornecimento de material, planejamento e segurança das atividades e controle de qualidade dos serviços prestados.

6.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

O sistema construtivo dos elementos estruturais adotado na obra estudada é o sistema convencional de concreto armado baseado no sistema de fôrmas moldadas no local. A sequência das atividades que compõem o processo foi planejada antes do início dos primeiros elementos estruturais, levando em consideração os procedimentos adotados pela empresa e, também, analisando o projeto a ser executado definido o melhor, mais rápido, mais seguro e mais acessível, economicamente, modelo a ser seguido.

6.2.1 Sequência Construtiva

A sequência construtiva, já mencionada, ocorre em ciclos, iniciando com a montagem de fôrmas dos pilares até a sua última atividade de cura do concreto pós concretagem de laje.

O ciclo se inicia com o recebimento do sistema de fôrmas que é confeccionado para a montagem das fôrmas dos pilares respeitando as devidas especificações e dimensões. Antes das fôrmas serem instaladas nos devidos locais de projeto, é realizada a montagem das armaduras dos mesmos que permitem a finalização e fechamento dos pilares. Essa etapa só é concluída, com o fechamento dos pilares, após os responsáveis liberarem conferindo as especificações quanto à armadura e fôrmas, como na figura 6.

Figura 6 – Montagem dos pilares



(fonte: elaborado pelo autor)

Com as fôrmas dos pilares previamente executadas e aprumadas, inicia-se a montagem das fôrmas de vigas e lajes. Essa etapa da sequência se estrutura toda em um projeto de cimbramento específico da obra. O projeto define todos os tipos de elementos a serem usados, quantidades e espaçamento, tanto no escoramento de lajes e vigas como no travamento de pilares.

A próxima etapa da sequência é o lançamento de concreto nos pilares. Esse passo só é executado após a conclusão de todo o assoalho da laje e com o aval do técnico de segurança da obra. Até essa etapa, não é previsto nenhum tipo de nivelamento da fôrma da laje. Para a liberação do lançamento do concreto é conferido o prumo dos pilares antes e durante a concretagem. A figura 7 demonstra todo o assoalho instalado.

Figura 7 – Concretagem dos pilares



(fonte: elaborado pelo autor)

Com os pilares já concretados, inicia-se a armação das vigas e lajes. Antes da finalização da armação, inicia-se a colocação das instalações embutidas na laje. Durante esses serviços realizados sobre a laje existe uma equipe responsável pelo nivelamento das vigas e lajes trabalhando sob a laje. Essa atividade de nivelamento é executada através de um nível laser. As três atividades são realizadas em conjunto no pavimento, não precisando esperar o término de uma delas para o início da outra. Após essa etapa ser concluída é realizada uma limpeza geral sobre o assoalho removendo sobras de armação e qualquer tipo de elemento não

condizente com o serviço. A figura 8 mostra os elementos de cimbramento o sistema de fôrmas sendo montando.

Figura 8 – Montagem do sistema de fôrma da Torre A



(fonte: elaborado pelo autor)

Antes do lançamento de concreto sobre a laje e vigas, são colocadas mestras metálicas que servem como referência de altura das lajes. As mestras instaladas possuem a altura igual a espessura da laje conforme o projeto, dez centímetros. Por torre, existe um jogo de mestras que quando utilizadas abastecem 15% da área da laje, havendo então, a necessidade de realocações das mestras durante o lançamento do concreto com o objetivo de se executar o serviço sempre com o referencial da altura da laje. A correta colocação das mestras metálicas é de extrema importância pelo motivo de serem os únicos referenciais de altura da espessura da laje durante a sua concretagem. Não é realizado nenhum tipo de conferência de nivelamento durante o lançamento do concreto. A figura 9 demonstra a distribuição das mestras.

Figura 9 – Distribuição das mestras



(fonte: elaborado pelo autor)

Após o lançamento do concreto sobre a laje é realizado o sarrafeamento, com régua metálicas, tendo como suporte as mestras metálicas. Com o concreto ainda fresco são colocadas as peças de pé-de-pilar que futuramente recebem os sarrafos do pé-de-pilar, também conhecidos como gashalhos ou colarinhos.

Logo que for possível andar sobre a laje, após alguns minutos, é realizada a cura do concreto com o auxílio de mangueiras com pequenos furos ao longo de sua extensão, facilitando a distribuição da água sobre a superfície da laje. No dia seguinte é realizado a desfôrma dos pilares dando o início a um novo ciclo de concretagem.

6.2.2 Planejamento dos Ciclos

O planejamento dos ciclos de concretagem da estrutura da obra foi definido após reuniões com os responsáveis da obra e empreiteiros. Baseando-se nos prazos a serem alcançados, e na capacidade da mão de obra foi definido que os ciclos durariam nove dias trabalhados. O não cumprimento do prazo ocasionaria numa revisão de cronograma realizado com a concreteira o que acarreta no atraso de toda a obra, visto que o caminho crítico de todos os serviços necessários a realização da edificação é a estrutura. O planejamento dos nove dias do ciclo de concretagem pode ser visto no quadro 2.

Quadro 2 – Planejamento dos ciclos

Dia do ciclo	Atividades do Processo
1º	instalação da linha de vida colocação dos colarinhos início da montagem de fôrmas e armadura de pilar
2º	termino da montagem de fôrmas e armadura de pilar
3º	execução dos fundos de viga e barroteamento
4º	execução do assoalho
5º	concretagem dos pilares
6º	armação das vigas e laje positiva
7º	termino da armação positiva da laje início da colocação dos embutidos das instalações
8º	termino colocação dos embutidos das instalações armação negativa nivelamento da laje
9º	concretagem laje

(fonte: elaborado pelo autor)

6.3 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados realizada no trabalho partiu de diversas fontes de evidências. Com o intuito de aprimorar os dados coletados é necessária a utilização de várias fontes de evidência, e não apenas uma (YIN, 2001). No estudo realizado as evidências coletadas foram em forma de análise de documentos, entrevistas e observação participante.

6.3.1 Documentação

Para Yin (2001) o uso mais importante de documentos é valorizar as evidências originadas por outras fontes. Porém, os documentos devem ser cuidadosamente utilizados e não se deve tomá-los como registros literais.

Para o trabalho estudado, foram buscadas diversas vezes evidências em projetos, planejamentos, cronogramas e documentos referentes ao Sistema de Qualidade da empresa responsável.

6.3.2 Entrevistas

As entrevistas podem assumir diversas formas. O mais comum é que as entrevistas sejam conduzidas de forma espontânea. Esse tipo de entrevista serve tanto para indagar respondentes-chave sobre os fatores quanto peça a opinião deles sobre algo.

A entrevista focada é outro tipo de evidência, na qual o respondente é entrevistado em curto período de tempo de forma a tornar a pesquisa espontânea e informal. Porém o entrevistador, provavelmente, segue um conjunto de perguntas que fazem parte do estudo (YIN, 2001).

No trabalho realizado, foram feitas diversas entrevistas espontâneas com os responsáveis de cada área da obra, obtendo informações sobre as principais características do processo de execução e também sobre a opinião dos mesmos sobre os desperdícios ocorridos.

6.3.3 Observação Participante

A observação participante é aquela na qual você não é apenas um observador passivo. Você pode assumir uma variedade de funções dentro do estudo, e pode, de fato, participar de eventos que estão sendo analisados (YIN, 2001).

Esse tipo de observação foi frequentemente usado no trabalho. Principalmente durante as execuções das lajes de concreto.

7 PESQUISA APLICADA

Neste capítulo é apresentado o método aplicado. Começando pela apresentação do panorama inicial da obra, seguido pelo a identificação das causas dos problemas, proposição de medidas e análise dos resultados obtidos.

7.1 ANÁLISE DO ESTÁGIO INICIAL DE PRODUÇÃO

A análise do estágio inicial da produção da obra serviu para perceber que haviam problemas com o uso em excesso de volume de concreto, principalmente nas concretagens de lajes, conforme o volume previsto em projeto. A primeira etapa foi analisar quanto era a real perda ocorrida neste processo. Foram comparados os volumes que a obra solicitava para a empresa fornecedora de concreto com o volume calculado em projeto. Os volumes de projeto considerados na concretagem das lajes foram divididos em quatro grupos: a laje propriamente dita; vigas; pilares e escada.

No dia da concretagem, além da laje ser concretada, outros elementos também são. As vigas, a escada de acesso aos pavimentos e os dois pilares que sustentam a escada. Esses pilares em particular são concretados juntos com a laje em função do patamar da escada ser engastado neles.

Pode-se observar os volumes previstos em projeto executados nos dias de concreto de laje das torres A e C no quadro 3.

Quadro 3 – Relação dos volumes dos elementos concretados junto com a laje das torres A e C

Elemento	Volume (m ³)	Área (m ²)	Espessura (m)
laje	36	360	0,1
vigas	15	-	-
escada	1,9	-	-
pilares	3,7	-	-
TOTAL	56,6		

(fonte: elaborado pelo autor)

Para o caso da torre B, os volumes diminuem pelo tamanho da edificação ser menor, como percebidos no quadro 4.

Quadro 4 – Relação dos volumes dos elementos concretados junto com a laje da torre B

Elemento	Volume (m ³)	Área (m ²)	Espessura (m)
laje	30,55	306	0,1
vigas	13	-	-
escada	1,9	-	-
pilares	3,59	-	-
TOTAL	49,04		

(fonte: elaborado pelo autor)

Posteriormente foram comparados os volumes de concreto bombeado solicitado para a concreteira com os volumes de projeto já vistos, em seguida, foi calculada uma perda em porcentagem do volume do material. No quadro 5 pode-se observar a relação desses números observados nas três primeiras lajes concretadas de cada uma das três torres do empreendimento.

Quadro 5 – Relação do volume utilizado com o solicitado

T O R R E C	Data	andar	Volume Projeto (m ³)	Volume Solicitado (m ³)	Perda (%)
	15/02/14	2º	56,6	63	11,31%
	11/03/14	3º	56,6	63,5	12,19%
	27/03/14	4º	56,6	64	13,07%

T O R R E B	Data	andar	Volume Projeto (m ³)	Volume Solicitado (m ³)	Perda (%)
	28/02/14	2º	49	54	10,20%
	16/04/14	3º	49	54	10,20%
	12/05/14	4º	49	55	12,24%

T O R R E A	Data	andar	Volume Projeto (m ³)	Volume Solicitado (m ³)	Perda (%)
	14/03/14	2º	56,6	61	7,77%
	31/03/14	3º	56,6	61	7,77%
	16/04/14	4º	56,6	62,5	10,42%

(fonte: elaborado pelo autor)

Avaliando os resultados, vê-se que os valores das perdas de concreto chegaram ao valor de 13,07% com uma média geral de mais de 10% entre todas as concretagens analisadas nas três edificações. São números bem elevados comparados a números do panorama geral desse processo.

O volume de concreto utilizado na construção das lajes foi quantificado e orçado pela empresa prevendo uma perda de 5%, referentes às perdas naturais do processo. Analisando o panorama inicial do canteiro, a média do uso do material nessas primeiras concretagens analisadas estava bem acima do orçado previamente. Caso a média de perda continuasse com valores muito superiores ao previsto, no final da obra seria necessário realizar um aditivo no contrato referente ao insumo de concreto usinado.

7.1.1 Orçamento da Obra

Para dar segmento à pesquisa, foi crucial a análise da importância que o concreto usinado possui no orçamento de uma obra. O material concreto usinado utilizado na obra possui um peso muito grande no orçamento do empreendimento. A relevância do material pode ser observada no quadro 6 que mostra os insumos mais representantes dentro do orçamento de todo o empreendimento.

Quadro 6 – Resumo dos insumos do orçamento do empreendimento

INSUMOS - ABC							
		<input type="checkbox"/> LANÇAMENTO		<input type="checkbox"/> EXECUTIVO			
EMPREENHIMENTO:		BASE:	INCC	DATA:	REVISÃO:		
LA-3033 - RM-3235 - QUADRA K		out/13		nov/13	20		
Porto Alegre/ RS							
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT	VALOR		%	acumulado %
				UNITÁRIO	TOTAL		
78740	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	vb	280,00	9.575,00	2.681.000,00	6,85%	6,85%
76136	ESTRUTURA - LANÇAMENTO CONCRETO - M.O.	m ³	3.770,60	590,00	2.224.651,05	5,68%	12,53%
78741	INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS	vb	280,00	5.820,00	1.629.600,00	4,16%	16,69%
75091	CONCRETO FCK 35MPA BRITA 1 SLUMP10+2	m ³	4.309,64	249,21	1.074.005,01	2,74%	19,43%
75173	ALVENARIA BLOCO CERÂMICO - MO	m ²	34.755,32	30,63	1.064.555,45	2,72%	22,15%
EV.13397	ELEVADOR - 15 PARADAS	un	6,00	173.833,00	1.042.998,00	2,66%	24,81%
77729	SERVENTE (MÊS)	mês	284,00	3.144,00	892.896,00	2,28%	27,09%
79825	PEDREIRO (MÊS)	mês	192,00	2,00	804.864,00	2,06%	29,15%
80795	CREMALHEIRA - LOCAÇÃO	mês	48,00	15.078,00	723.744,00	1,85%	30,99%

(fonte: empresa estudada)

Somente o material utilizado na execução das lajes moldadas no local é o quarto mais representativo financeiramente dentro do orçamento.

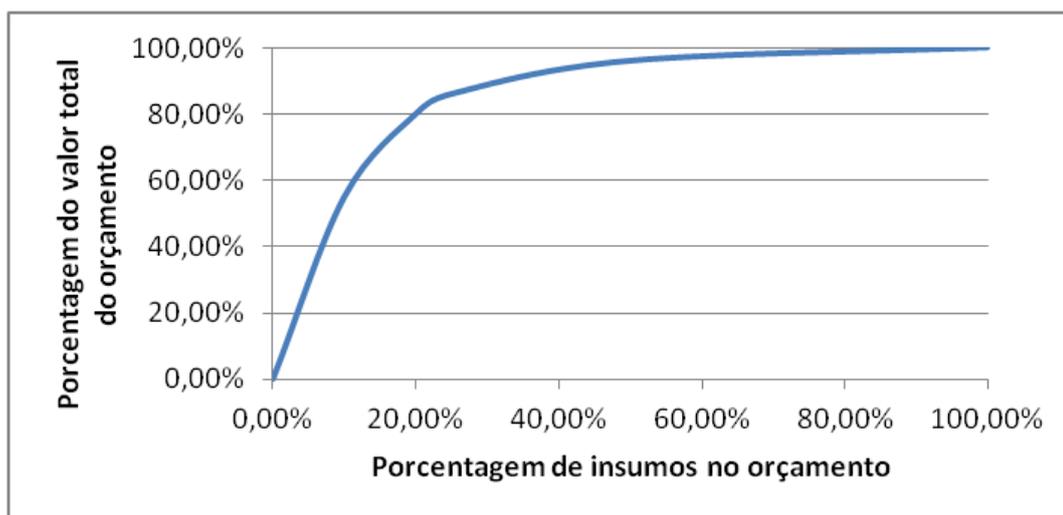
7.1.2 Curva ABC

Conforme Braga (2008), os estoques de uma indústria ou departamento possuem diversos itens diferentes. Para o autor, desconsiderando a natureza do item e ordenando-os pelo valor de seus saldos é possível classificá-los como:

- a) itens A: pequeno número de itens que representam grande valor no total de estoques;
- b) itens C: grande número de itens com pouca representação no valor total de estoques;
- c) itens B: aqueles situados entre as duas categorias.

Outra abordagem realizada em relação à relevância do concreto foi com a execução da curva ABC de todos os insumos presentes no orçamento da obra da mesma forma que Braga (2008) observou dos itens do estoque. A curva está representada na figura 10.

Figura 10 – Curva ABC



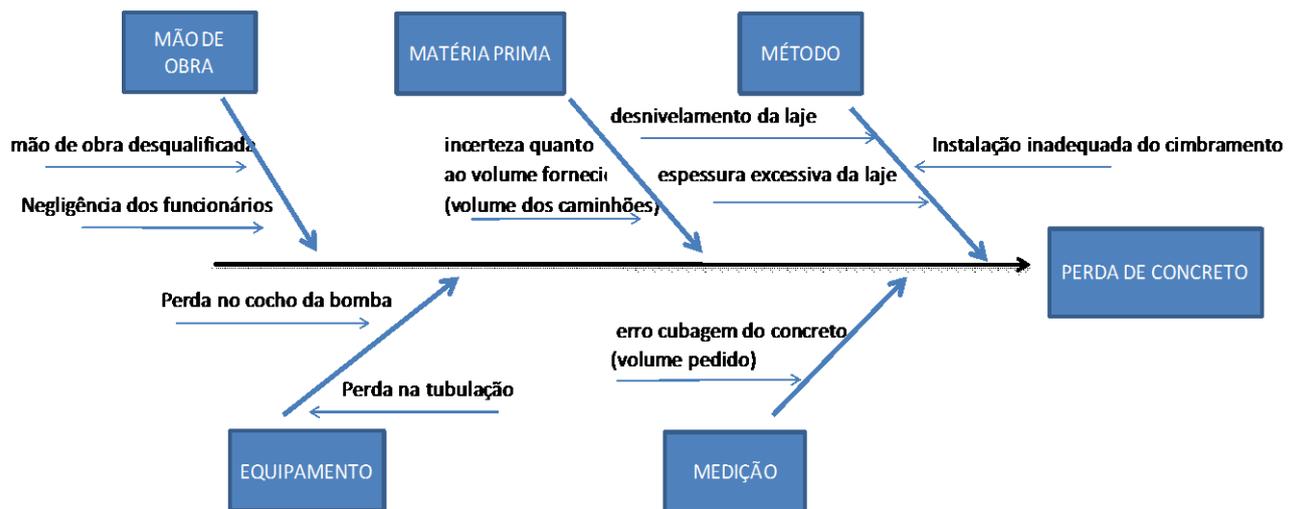
(fonte: elaborado pelo autor)

Novamente pode-se observar a importância do material visto que o concreto utilizado se enquadra no grupo de insumos que representam mais de 80% do orçamento total do empreendimento.

7.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS

Com a situação do uso em excesso do volume de concreto, e com a relevância que este material possui em relação à obra, é imprescindível conhecer as causas das perdas de concreto usinado. O primeiro passo foi usar uma das ferramentas da qualidade, o diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa. Como já visto no capítulo 4 é uma ferramenta formal frequentemente útil na eliminação de causas potenciais. O diagrama muito detalhado pode auxiliar, com eficiência, na localização e reparação de defeitos. Além disso, o diagrama tende a levar as pessoas envolvidas a propor melhorias para os defeitos encontrados e não simplesmente atribuir a culpa. Pode-se observar o uso do diagrama na figura 11, onde foi possível apontar as possíveis causas da perda.

Figura 11 – Diagrama de causa e efeito aplicado



(fonte: elaborado pelo autor)

O diagrama serviu como primeiro passo para o conhecimento dos problemas. Através do diagrama de causa e efeito, pôde-se detalhar o efeito, que no caso seria o processo das perdas referentes ao concreto, e suas possíveis causas. A ferramenta serviu para que se fizesse uma rigorosa análise em todos os processos relacionados à concretagem das lajes. Dividindo-a em cinco grandes grupos.

7.2.1 Método

Uma das grandes suspeitas das causas que estariam gerando o insucesso do uso de concreto nas lajes moldadas no local seria a variabilidade e a não conformidade da espessura da laje executada. Pelo fato da laje possuir uma de suas dimensões muito menor em relação as suas outras duas, uma simples variação na espessura média da laje pode resultar em uma variação de volume final da laje considerável. O quadro 7 demonstra a relação entre a altura média e volume das lajes das torres A e C do empreendimento.

Quadro 7 – Relação entre altura e volume das torres A e C

Laje - Torre A e C (360m²)	
Altura (cm)	Volume (m ³)
10	36
10,5	37,8
11	39,6
11,5	41,4
12	43,2
12,5	45
13	46,8

(fonte: elaborado pelo autor)

No quadro 8 pode-se observar a relação para a torre B.

Quadro 8 – Relação entre altura e volume da torre B

Laje - Torre B (306m²)	
Altura (cm)	Volume (m ³)
10	30,6
10,5	32,13
11	33,66
11,5	35,19
12	36,72
12,5	38,25
13	39,78

(fonte: elaborado pelo autor)

Conclui-se que para uma simples variação de 0,5 centímetros na espessura média, tem uma variação bem elevada em termos de perda. Para realmente saber se as alturas estavam tendo

uma influência nas perdas exageradas observadas, foram analisadas as alturas das três primeiras lajes de cada uma das três edificações da obra já concretadas.

Foram feitos pequenos furos, totalizando 18, com a furadeira em diversos pontos das lajes para que pudesse ser medida a espessura da laje. Cada furo foi coletado no meio de cada uma das peças que, juntas, compõem toda a laje do pavimento. No final, foi possível calcular uma espessura média para as lajes já construídas e também os volumes que elas utilizaram durante a concretagem.

Com os volumes calculados, foi possível fazer uma análise de todo o volume utilizado nos dias de concretagens dessas lajes em que foram estudadas as alturas. Foi possível fragmentar elemento por elemento como também as perdas naturais observadas, aquelas inerentes ao processo. No quadro 9 é possível identificar esses valores, e compará-los aos volumes solicitados para a concreteira para executar a laje da torre C.

Quadro 9 – Relação dos volumes utilizados de concreto na Torre C

T O R R E C	Volume de Concreto Utilizado								
	Evento	Espessura média da laje (cm)	Volume utilizado somente na laje (m ³) (projeto = 36)	Volume perdido no cocho e tubulação da bomba (m ³)	Volume utilizado nas vigas / escada (m ³)	Volume total utilizado	Volume de Concreto Solicitado (m ³)	Volume de Concreto Projeto (m ³)	Perda de concreto %
	2º pav.	11,4	41,04	0,6	20,6	62,24	63	56,6	11,31%
	3º pav.	11,2	40,32	0,6	20,6	61,52	63,5	56,6	12,19%
	4º pav.	11,5	41,4	0,6	20,6	62,6	64	56,6	13,07%

(fonte: elaborado pelo autor)

No quadro 10, a mesma relação para a torre B.

Quadro 10 – Relação dos volumes utilizados de concreto na Torre B

T O R R E B	Volume de Concreto Utilizado								
	Evento	Espessura média da laje (cm)	Volume utilizado somente na laje (m ³) (projeto = 30,6)	Volume perdido no cocho e tubulação da bomba (m ³)	Volume utilizado nas vigas / escada (m ³)	Volume total utilizado	Volume de Concreto Solicitado (m ³)	Volume de Concreto Projeto (m ³)	Perda de concreto %
	2º pav.	11,2	34,272	0,6	18,49	53,362	54	49	10,20%
	3º pav.	11,1	33,966	0,6	18,49	53,056	54	49	10,20%
	4º pav.	11,5	35,19	0,6	18,49	54,28	55	49	12,24%

(fonte: elaborado pelo autor)

Por fim, foram obtidos os números referentes a torre A, observados no quadro 11.

Quadro 11 – Relação dos volumes utilizados de concreto na Torre A

T O R R E A	Volume de Concreto Utilizado								
	Evento	Espessura média da laje (cm)	Volume utilizado somente na laje (m ³) (projeto = 36)	Volume perdido no cocho e tubulação da bomba (m ³)	Volume utilizado nas vigas / escada (m ³)	Volume total utilizado	Volume de Concreto Solicitado (m ³)	Volume de Concreto Projeto (m ³)	Perda de concreto %
	2º pav.	11	39,6	0,6	20,6	60,8	61	56,6	7,77%
	3º pav.	11,1	39,96	0,6	20,6	61,16	61	56,6	7,77%
	4º pav.	11,3	40,68	0,6	20,6	61,88	62,5	56,6	10,42%

(fonte: elaborado pelo autor)

Foi possível concluir que sim, a espessura descontrolada das lajes executadas influenciou bastante nas perdas de concreto obtidas nas pesquisas. Foi o grande fator causador do excesso no volume do material.

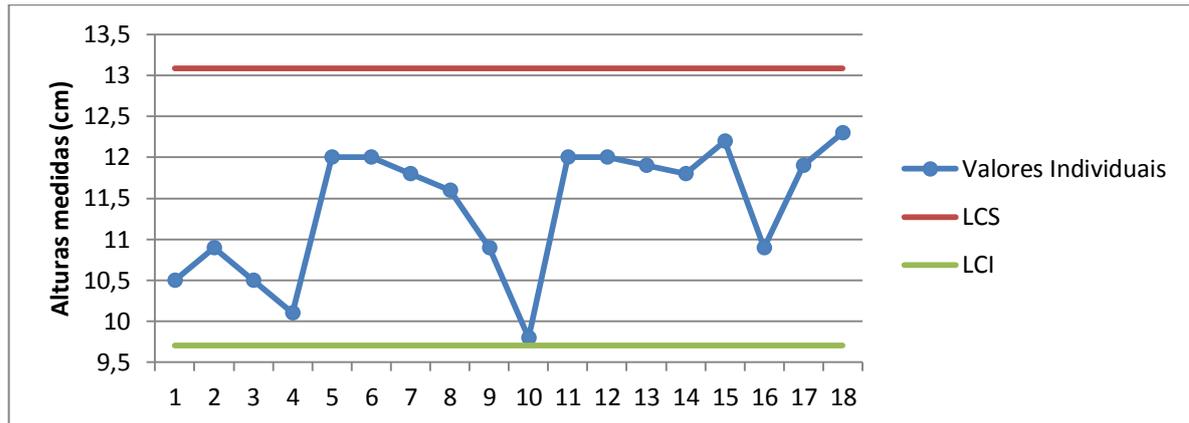
Após o primeiro passo, foi essencial identificar porque durante o processo executivo das lajes, estava-se excedendo demasiadamente a altura de projeto. Foram feitas várias análises antes, durante e após as concretagens seguintes. Medições, entrevistas e coletas de novos dados foram o que guiaram a identificação das causas do problema.

7.2.1.1 Cartas de Controle

Com base nos dados coletados das espessuras das lajes foi possível utilizar a ferramenta carta de controle para analisar e verificar a presença de causas especiais, aquelas que não são naturais do processo e que podem prejudicar a qualidade do produto estudado. Baseado na teoria exposta no capítulo quatro, foram aplicadas cartas de controle do tipo Valores Individuais considerando os diversos pontos medidos nas lajes já concretadas.

As cartas foram aplicadas somente na torre C. Primeiramente foi aplicada a carta de controle no segundo pavimento da torre para se definir os limites de controle e então aplicá-los nos outros dois pavimentos seguintes. A figura 12 demonstra a aplicação da carta que representa as diversas espessuras nos 18 pontos coletados no segundo pavimento da torre C.

Figura 12– Carta de Controle para Valores Individuais – Torre C – 2º pav.



LCS 13,08

LCI 9,7

σ 0,56

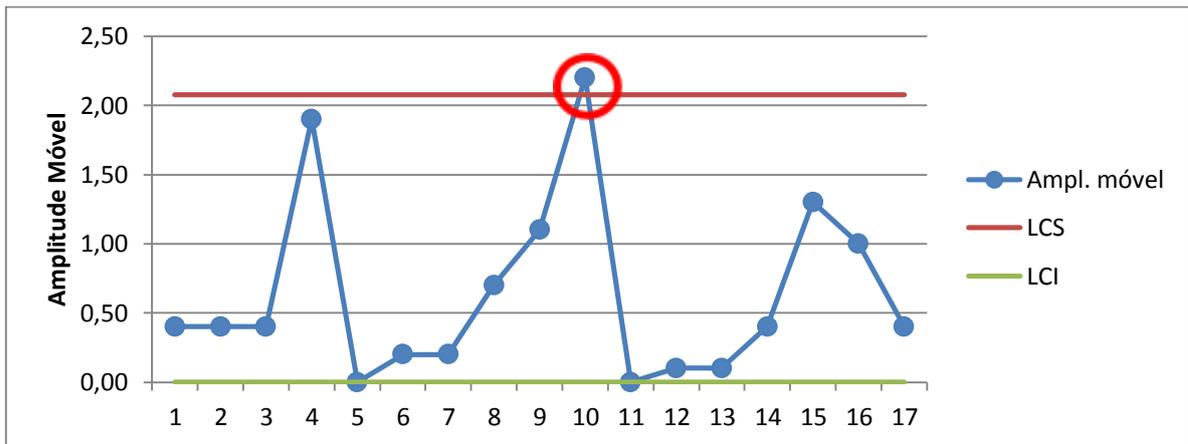
cp 0,30

cpk -0,53

(fonte: elaborado pelo autor)

Observando a não existência de causas especiais, os limites de controle, nos pavimentos seguintes foram os mesmos do segundo pavimento. Não é necessário calcular um novo. A figura 13 representa carta de controle para as amplitudes móveis das alturas coletadas.

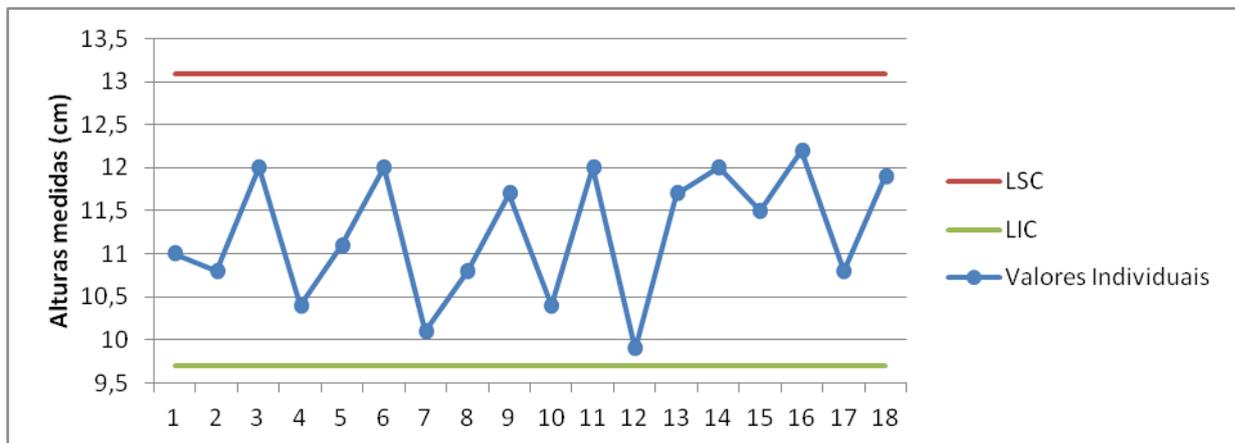
Figura 13– Carta de Controle para amplitudes móveis – Torre C – 2º pav.



(fonte: elaborado pelo autor)

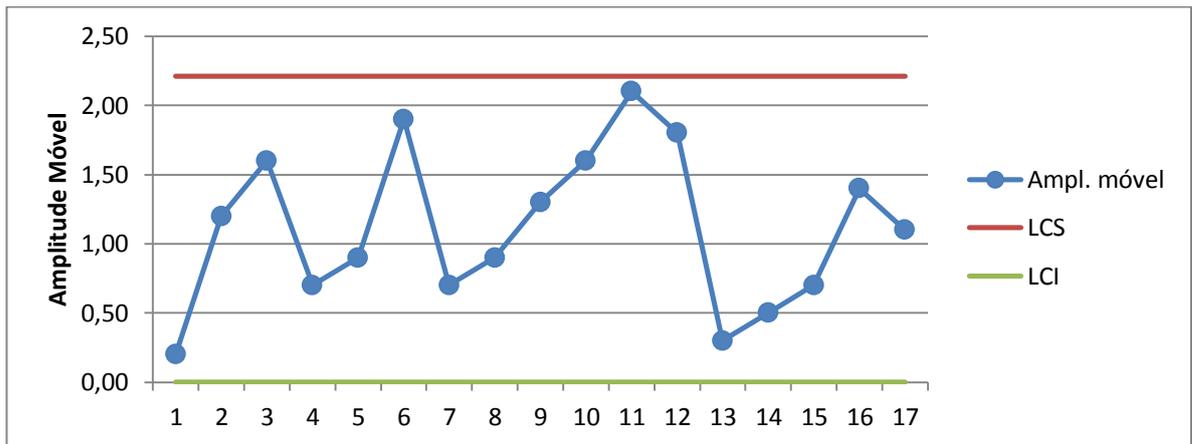
Pode-se observar que para os valores de amplitudes móveis existiu uma causa especial, que foi retirada para se calcular os novos limites de controle. Para o terceiro pavimento utilizaram-se os mesmos limites para valores individuais e limites novos para as amplitudes, conforme as figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 14– Carta de Controle para Valores Individuais – Torre C – 3º pav.



(fonte: elaborado pelo autor)

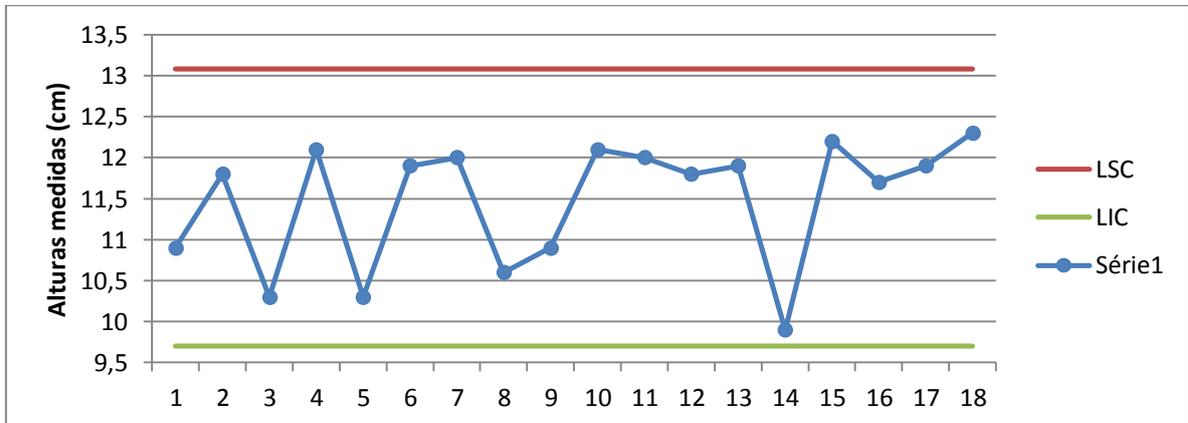
Figura 15– Carta de Controle para amplitudes móveis – Torre C – 3º pav.



(fonte: elaborado pelo autor)

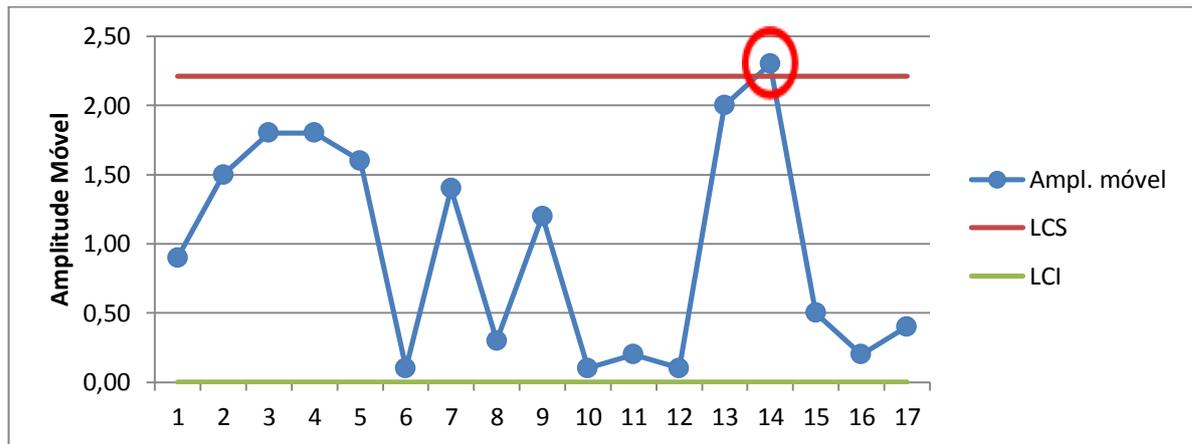
Para o quarto andar as cartas de controle de valores individuais e amplitudes móveis estão representadas nas figuras 16 e 17, respectivamente.

Figura 16– Carta de Controle para Valores Individuais – Torre C – 4º pav.



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 17– Carta de Controle para amplitudes móveis – Torre C – 4º pav.



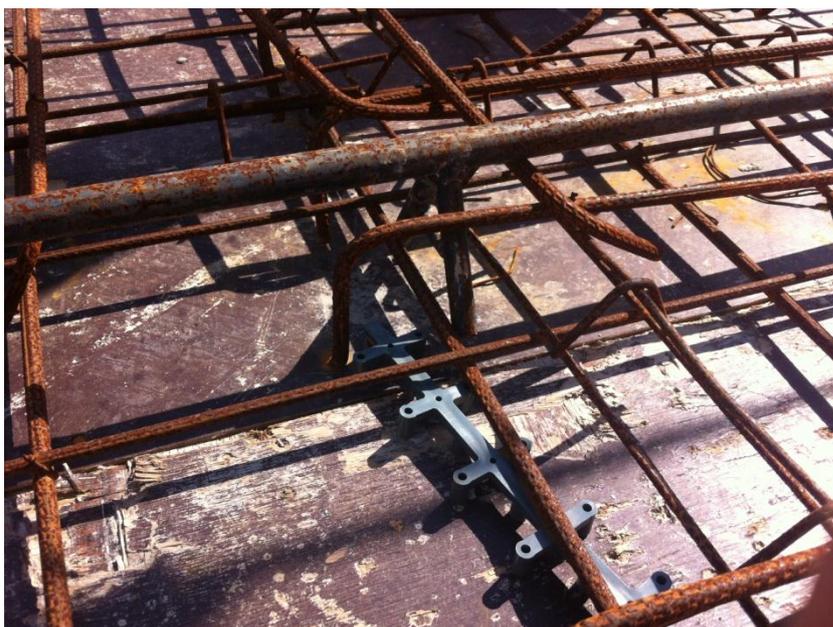
(fonte: elaborado pelo autor)

Foi possível concluir que além da média dos valores medidos estar bem superior ao valor especificado em projeto (10,5cm – 9,5cm), a alta variabilidade no processo é muito presente. Observando os valores de Cp e Cpk conclui-se o problema não são as causas especiais, e sim as causas comuns, rotineiras. Portanto, primeiro é necessário padronizar todo o processo da construção da laje visando reduzir as causas comuns. Isso envolve não correções pontuais, mas capacitação, treinamento e estabelecimento de métodos de construção que sejam generalizados para todas as lajes.

7.2.1.2 Colocação das Mestras

Após algumas análises foi identificado que a aplicação das mestras durante a execução das lajes estava comprometendo com elevado consumo de concreto. Como já descrito neste trabalho, a quantidade de mestras disponíveis por laje abastece aproximadamente 15% da área do assoalho. Sendo necessárias constantes trocas do equipamento durante o lançamento. Em função da falta de organização da equipe e do pouco tempo que se tem para utilizar o concreto dentro de sua validade, as mestras erroneamente instaladas, em sua maioria, não ficavam em contato com a fôrma. Havia espaço entre o pé da mestra metálica e a fôrma. Isso ocorria muito em função da grande quantidade de armadura que a laje possuía, principalmente nos pontos onde existia a armadura negativa da laje. Exemplo desse caso pode ser visto na figura 18.

Figura 18 – Instalação das mestras



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.1.3 Nivelamento

Outra causa possível observada era o nivelamento executado na construção dos pavimentos. Uma das atividades de extrema importância na execução das lajes, o nivelamento observado na obra estudada estava apontando algumas irregularidades. Primeiramente foi redobrado o controle e a conferência dos pontos de níveis estipulados. Foi observado que depois do assoalho considerado como pronto ainda existiam irregularidades com alguns pontos de níveis. O processo de nivelamento da laje era realizado com o auxílio de nível laser. Primeiramente eram niveladas as vigas e na sequência a laje. O nivelamento era feito somente por baixo do assoalho e somente antes da concretagem.

Devida a alta exigência de produção e também aos curtos prazos delegados, o serviço de nivelamento era negligenciado e mal qualificado. Acabavam-se ‘atropelando’ os serviços necessários para a concretagem das lajes em função das quase inatingíveis metas. Foi observada que a atividade de nivelamento estava exigindo um tempo muito pequeno visto a importância da etapa. Os responsáveis estavam levando não mais de um turno para deixar todo o assoalho teoricamente nivelado.

Outro fator erroneamente analisado foi à transferência de toda a responsabilidade do nivelamento para o assoalho. Conforme já estudado no capítulo 3, para Souza et al. (2002)

deve-se apenas atribuir ao sistema de fôrmas apenas a função de garantir as formas e dimensões dos elementos, não a função de nivelamento. Fato de responsabilizar unicamente o sistema de fôrmas quanto ao nivelamento acabam ocorrendo problemas pelo motivo da fôrma ser bastante deformável. Na figura 19, pode-se observar o nivelamento por baixo do assoalho.

Figura 19 – nivelamento



(fonte: empresa estudada)

7.2.2 Mão de obra

Um dos graves problemas que afeta toda a construção civil em qualquer que seja o serviço realizado, a mão de obra também é uma causa a se estudar. Através de algumas entrevistas foi observado que o salário dos trabalhadores ali presentes era bem desvalorizado para as funções exercidas. Alguns deles era a primeira obra que tinha trabalhado. Consequências da precariedade do setor, foi observado a falta de qualidade durante as atividades exercidas e também negligência por partes de muitos retratada no próprio serviço e no material que lhes era fornecido.

7.2.3 Medição

Após alguns relatos foi possível observar que em algumas concretagens o último caminhão, também chamado de complemento, saiu da obra com sobras. Isso demonstra na falta de controle em relação não a cubagem do concreto. Visto que os volumes executados, inicialmente estavam bem superiores que o de projeto, em algumas ocasiões não foi possível

programar todos os caminhões da concretagem. Sendo necessária a espera do penúltimo caminhão para que se pudesse cubar no local para então pedir o complemento. Em relação a essa situação não houve muitos problemas.

7.2.4 Matéria prima

Uma das grandes dúvidas que cerca a maioria dos canteiros de obra é a incerteza com relação à quantidade de concreto usinado fornecida pela concreteira. Inicialmente existe sempre a dúvida se realmente o fornecedor distribui o concreto exatamente com o mesmo volume solicitado. Foi feita uma previsão de volume supostamente perdido por caminhão solicitado, através das espessuras medidas das lajes seguintes foi possível somar todas as etapas de utilização do concreto e depois fazer uma relação com a sobra do mesmo. No quadro 12 pode ser observada a relação entre sobra total do volume de concreto e o número de caminhões fornecidos por concretagem.

Quadro 12 – Relação perda de concreto por caminhão

Data	Volume total utilizado	Volume de Concreto Solicitado (m³)	Volume de Concreto Projeto (m³)	Possível perda por caminhão betoneira (m³/caminhão)
10/04/14	61,4	62	56,6	0,075
30/04/14	62,6	63	56,6	0,05
08/05/14	62,7	63	56,6	0,0375
23/05/14	61,4	62	56,6	0,075
31/05/14	61	64	56,6	0,375
20/06/14	62,1	62,5	56,6	0,05

(fonte: empresa estudada)

Observados os dados coletados, apenas em uma das situações analisadas o volume de concreto de todos os elementos mais as perdas naturais do processo resultou em total bem inferior ao volume solicitado. Somadas todas as utilizações do concreto, no dia 31 de maio, a diferença observada foi alta. Neste caso, os responsáveis entraram em contato com a concreteira para analisarem o caso. Foi descoberto que naquele dia, um dos caminhões betoneira estava com a carga reduzida devido à presença de concreto antigo de outras concretagens já enrijecido dentro do caminhão, reduzindo o volume disponível de concreto

fresco. Não foi realizada a devida lavagem do caminhão quando existia um residual do material dentro do mesmo. Com exceção desse caso não foi possível identificar maiores problemas com o fornecimento dos caminhões.

7.3 PLANO DE AÇÃO

Com o conhecimento das causas do problema, foi possível propor um plano de ação com o intuito de reduzir as perdas até então medidas. Tendo como base uma ferramenta de controle e melhoria de processo, o ciclo PDCA já estudado no capítulo 4, foi possível fazer uma aplicação prática no caso do uso em excesso do material concreto.

Primeiramente na fase de planejamento foram definidas as metas e as maneiras para atingir essas metas propostas. Foi definido de que forma se iria atuar nas causas das perdas. Quais atividades demandariam mais tempo e controle em pró de resultados favoráveis.

Na segunda etapa foi possível educar e treinar os responsáveis para executarem de forma correta as medidas propostas. Ainda nessa etapa foram coletados novos dados em relação às novas perdas. A terceira etapa serviu para analisar esses novos dados e compara-los com os dados iniciais obtidos. Na quarta e última etapa, foram apontadas ainda algumas ações corretivas que poderiam ser implantadas visando um aperfeiçoamento do processo de execução de lajes de concreto armado moldadas no local. Dentro daqueles grupos classificados que definiram possíveis as causas do problema foram propostas algumas medidas.

7.3.1 Mão de obra

Com relação aos trabalhadores envolvidos foi feito um novo treinamento externando a gravidade das perdas que viam ocorrendo e educando-os para intensificarem a qualidade nas principais causas do efeito. Para os trabalhadores diretamente envolvidos foi esclarecido que com o uso em excesso de concreto usinado utilizado nas lajes eles acabavam por trabalhar mais do que era pago a eles, visto que o pagamento era feito com base no volume de concreto de projeto e não o real.

7.3.2 Medição

Sobre a cubagem do último caminhão, o complemento, apenas se intensificou o controle orientando os responsáveis das perdas em demasias ocorridas. Tendo mais precisão, diminui a quantidade de sobra, que muitas vezes não tem onde ser reutilizada.

7.3.3 Método

Referente ao método previamente utilizado foram feitos alguns ajustes em prol da melhoria. Com relação à etapa de nivelamento do assoalho houve um novo planejamento na sequência das etapas delegando mais tempo para a atividade. Os responsáveis, já conscientes das perdas ocorridas, acabaram por valorizar mais a etapa aumentando o tempo exigido para a mesma que passou para um dia inteiro de serviço. Outro ajuste realizado foi o nivelamento em cima da laje, não mais feito somente sob o assoalho. O controle do serviço passou a ser muito mais rigoroso, demandando mais tempo.

Outro ajuste importantíssimo realizado foi em relação às mestras instaladas. Foi orientada aos responsáveis a correta instalação das mesmas. Não mais eram simplesmente jogadas no assoalho e lançado o concreto. Passou-se a fazer a amarração das mestras com auxílio de arame e prego toda a vez que o equipamento era instalado em novo ponto do assoalho. Diminuindo muito as possíveis folgas que ocorreram entre as mestras e o assoalho.

Além das mestras, outro importante controle que passou a ser feito com extremo rigor foi a medição durante a concretagem da espessura da laje. Com o auxílio de um simples pedaço de barra metálica foi medido, durante o lançamento de concreto região por região da laje após o sarrafeamento do material. Exigindo dos trabalhadores uma grande precisão quanto à altura do elemento.

7.4 RESULTADOS OBTIDOS

Após toda a análise feita sobre as causas do efeito estudado e da aplicação de um plano de ação ao combate das perdas foram coletados novos dados e comparados com os resultados do início do trabalho. Por razões internas da obra e por disponibilidade, apenas na torre C foi feito um controle rigoroso e detalhado como o estudado anteriormente. Para a edificação C foi realizado o plano de ação detalhadamente como já descrito. Nas outras duas torres tomaram as

suas devidas precauções, porém não de uma forma tão controlada e orientada como no C. Dessa forma os resultados obtidos, relatados no quadro 13, são de apenas a edificação C do empreendimento.

Quadro 13 – Resultado das perdas

T O R R E E C	Volume de Concreto Utilizado								
	Evento	Espessura média da laje (cm)	Volume utilizado somente na laje (m ³) (projeto = 36)	Volume perdido no cocho e tubulação da bomba (m ³)	Volume utilizado nas vigas / escada (m ³)	Volume total utilizado	Volume de Concreto Solicitado (m ³)	Volume de Concreto Projeto (m ³)	Perda de concreto %
	7º pav.	10,6	38,16	0,6	20,6	59,36	60	56,6	6,01%
	8º pav.	10,4	37,44	0,6	20,6	58,64	59,5	56,6	5,12%
	9º pav.	10,3	37,08	0,6	20,6	58,28	59,5	56,6	5,12%
	10º pav.	10,3	37,08	0,6	20,6	58,28	59	56,6	4,24%

(fonte: empresa estudada)

A coleta de dados manteve o mesmo padrão de relação quanto ao método utilizado. Porém, a única diferença foi que nos últimos controles as medidas da espessuras das lajes foram feitas imediatamente após o concreto ser lançado no assoalho e sarrafeado com o auxílio das mestras. Diminuindo ainda mais a variabilidade das medidas.

Diferentemente dos dados iniciais, as perdas de concreto usinado na execução das lajes moldadas no local diminuiram bastante. Analisando os dados conclui-se que a média das perdas caiu para aproximadamente 5%. Igual à referência usada no orçamento da obra.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como principal objetivo identificar as causas referentes às perdas ocorridas no uso em excesso de concreto usinado para a concretagem de lajes moldadas *in loco* em um empreendimento em Porto Alegre e propor medidas de controle para a redução das mesmas. O capítulo anterior mostrou de que forma foram identificadas as causas e também foram conhecidas as medidas a serem tomadas para a solução de redução do desperdício ocorrido nas primeiras lajes concretadas.

Para o desenvolvimento do trabalho foi fundamental a auxílio das ferramentas da qualidade. Com relação à identificação das causas, foi utilizado, principalmente, o diagrama de causa e efeito. As cartas de controle também foram usadas para medir a variabilidade do processo estudado, ajudando a identificar a existência de problemas. Também foi importante, porém na parte mais gerencial do processo, o ciclo PDCA. Auxiliando na gestão das medidas a serem tomadas em melhoria do serviço.

A pesquisa teve como principal causa do processo a variabilidade das alturas das lajes. A variação da espessura do elemento estava comprometendo todo o planejamento realizado na obra. Foi a principal causa a ser vencida. Com o estudo feito e com as devidas medidas propostas foi possível atenuar o caso das perdas diminuindo o desperdício do material. Chegando a igualar a taxa de desperdício com a perda prevista no orçamento do empreendimento.

Apesar de se ter diminuído as perdas geradas, ainda há espaço para evoluir no processo estudado. Existe margem para que se possa diminuir ainda mais o desperdício. Principalmente na questão do nivelamento do assoalho. No caso estudado não foi possível ser feito um nivelamento ideal. O nivelamento só era feito antes da concretagem. Durante o lançamento do concreto sobre o assoalho não foi realizado um acompanhamento e verificação do nível da fôrma. Para Souza et al. (2002), o sistema de fôrmas não é responsável por manter o nivelamento e sim por manter a forma e dimensão das peças. Por esse motivo, não tendo um acompanhamento durante o lançamento do concreto pode ocasionar a deformação do

assoalho e a laje não manter a altura de projeto especificada. Por isso que um dos pontos a serem revistos é essa questão do nivelamento da laje.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, F. R. **Construções de Concreto**: manual de práticas para controle execução. São Paulo: Pini, 1984.
- BRAGA, R. **Fundamentos e técnicas de administração financeira**. São Paulo: Atlas, 2008.
- CAMPOS, V. F. **TQC**: Controle de Qualidade Total: no estilo japonês. 8. ed. Nova Lima: INDG, 2004.
- DEMING, W. E. **Qualidade**: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.
- FORMOSO, C. T; CESARE, C. M. de; LANTELME, E. M. V; SOIBELMAN, L. **As perdas na construção civil**: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor. SINDUSCON/SP, São Paulo, 1996.
- ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total**: à maneira japonesa. Rio de Janeiro: Campos, 1993.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- RIBEIRO, J. L. D; CATEN, C. T. **Controle estatístico do processo**: cartas de controle para variáveis, cartas de controle para atributos, função de perda quadrática, análise de sistemas de medição. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2001.
- SKOYLES, E. R; SKOYLES, J. R. **Waste prevention on site**. London: Mitchell, 1987.
- SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações**: sua incidência e seu controle. 1993. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.
- SOUZA, A. L. R. de; MELHADO, S. B. **Projeto e execução de lajes racionalizadas de concreto armado**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.
- SOUZA, R. de; MEKBEKIAN, G; SILVA, A. C. M. T; SANTOS, M. M. dos. **Sistema de gestão de qualidade para empresas construtoras**. São Paulo: Pini, 1995.
- YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.