

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – POSGRAP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PROEC

ANÁLISE DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE DO TEMPO DE EXECUÇÃO DOS
PROCESSOS EM DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Herbert Melo Cruz

São Cristóvão (SE)

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – POSGRAP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PROEC

ANÁLISE DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE DO TEMPO DE EXECUÇÃO DOS
PROCESSOS EM DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Herbert Melo Cruz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil como requisito
parcial à obtenção do título de MESTRE EM
ENGENHARIA CIVIL.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Débora de Gois Santos

São Cristóvão (SE)

2017

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

HERBERT MELO CRUZ

APRESENTADO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE EM 01 DE FEVEREIRO DE 2017

BANCA EXAMINADORA:

Professora Doutora Débora de Gois Santos
Orientadora

Professora Doutora Angela Teresa Costa Sales
1º Examinador
Universidade Federal de Sergipe

Professor Doutor Ludmilson Abritta Mendes
2º Examinador
Universidade Federal de Sergipe

Professora Doutora Veruschka Vieira Franca
3º Examinador
Universidade Federal de Sergipe

AGRADECIMENTOS

À professora Débora, que esteve comigo desde a graduação. Obrigado por ter despertado em mim a veia acadêmica. Pela paciência, conversas e orientações ao longo de todos estes anos, além disto, obrigado por ter repassado um pouco do seu conhecimento para mim, sobretudo a causa da Construção Enxuta.

A todos os professores do PROEC-UFS, por terem dividido experiências e auxiliado no meu enriquecimento profissional.

À minha família que sempre me incentivou a buscar os caminhos que me levaram até aqui. À Larissa, que esteve ao meu lado durante toda esta jornada.

À Rafaela e Luciano, componentes do Trio de Mestres, pela amizade, pesquisas construídas durante o mestrado, discussões e contribuições, estendendo o obrigado para todos os amigos que fiz no PROEC e que me ajudaram neste trabalho.

Aos meus alunos e colegas professores da UniAGES, pela contribuição ao meu amadurecimento na docência.

Meu grande agradecimento às empresas que abriram as portas para a realização da pesquisa. A todos os engenheiros, mestres, os 100 operários entrevistados, além dos estagiários e demais funcionários que me receberam tão bem durante as visitas.

À UFS, pelos sete anos de grandes oportunidades que me deu.

A Deus, por tudo.

RESUMO

As empresas construtoras estão em busca de novas soluções tecnológicas e gerenciais para resolver antigos problemas relacionados com as peculiaridades do setor. O elevado contingente de mão de obra, baixa produtividade e uso de técnicas arcaicas são uns dos vários exemplos que podem ser apontados. A introdução de novas tecnologias aumenta a eficiência dos sistemas construtivos, ao mesmo tempo em que os tornam mais complexos, necessitando de projetos, planejamento e execução mais resolvidos e de um gerenciamento mais preciso de todas estas etapas. A Construção Enxuta é uma filosofia de produção que atende às demandas atuais, sobretudo por reconhecer os processos de fluxo e suas interferências negativas causadas pelos problemas e peculiaridades da construção. Um dos grandes desafios para o gerenciamento da construção é a execução das atividades de acordo com as durações previstas na programação, sendo comum a ocorrência de variabilidade, neste aspecto. O objetivo principal desta pesquisa foi analisar as causas da variabilidade do tempo de execução dos processos em diferentes sistemas construtivos. Foi realizado um estudo de campo envolvendo nove obras de sistemas construtivos distintos: concreto armado com vedação em alvenaria, alvenaria estrutural e paredes de concreto moldadas no local. A metodologia foi também apoiada por outras ferramentas, sendo elaborado um questionário contendo 31 causas de variabilidade. Para a análise dos dados, foi criado um Fator de Atraso e utilizada uma metodologia de avaliação de nível de risco, para identificar e classificar por gravidade as causas da variabilidade. Esta análise foi feita para cada um dos sistemas, como também para os três níveis hierárquicos que participaram das entrevistas (engenheiros, mestres e operários). Durante o estudo de campo, foram identificadas boas práticas que diminuem a variabilidade dos processos. Como resultados, para cada sistema construtivo houveram diferentes aspectos quanto aos principais tipos de causas e suas ocorrências. As análises de risco e do Fator de Atraso mostraram uma tendência de que o sistema de paredes de concreto (mais industrializado) estivesse mais susceptível à ocorrência de variabilidade, porém o impacto desta é mais ameno do que nos outros dois sistemas. A comparação da visão dos níveis hierárquicos quanto à variabilidade mostrou que, na medida em que se aumenta o nível, aumenta-se também o reconhecimento dos impactos da variabilidade na produção. Também foram levantadas 21 boas práticas nas obras que estavam ligadas à redução de 42% das causas de variabilidade. Conclui-se que há uma deficiência, por parte dos gestores, para lidar com os impactos da variabilidade no tempo de execução dos processos. Apesar dos esforços voltados à industrialização, muitas causas identificadas são velhas conhecidas do setor, revelando um problema crônico do ambiente da construção.

Palavras-chave: Causas da variabilidade; Sistemas construtivos; Construção enxuta.

ABSTRACT

The construction companies are looking for new technological and management solutions to solve old problems related to the peculiarities of the sector. The high contingent of labor, low productivity and use of archaic techniques are some of many examples that can be pointed out. The introduction of new technologies increases the efficiency of construction systems while that make them more complex, requiring better design, planning, execution and a more precise management of all these steps. Lean Construction is a production philosophy that meets the current demands, particularly to recognize the flow of processes and their negative interference caused by the problems and peculiarities of construction. One of the major challenges for the construction management is the execution of activities in accordance to the duration provided in schedule. It's common the occurrence of variability in this regard. Thus, the main objective of this research was to analyze the causes of variability in the execution time of the processes in different constructive systems. For this, a field study was realized involving nine construction sites of different constructive systems: reinforced concrete with masonry fence, structural masonry and concrete walls molded in site. The methodology was supported by other tools, with a questionnaire containing 31 causes of variability. For the analysis of the data, a Delay Factor was created and a methodology of risk level evaluation was used to identify and classify by gravity the variability causes. This analysis was done for each of the systems, as well as for the three hierarchical levels that participated in the interviews (engineers, foreman and workers). During the field study, best practices that reduce process variability were also identified. As the results, the constructive systems behaved differently on the major types of causes. The risk analysis and the Delay Factor showed a tendency for the (more industrialized) concrete wall system to be more susceptible to variability, but the impact of the delays is smoother than in the other two systems. The comparison of the hierarchical levels view of variability showed that, as the level increases, the recognition of the variability impacts on production is also increased. Also 21 best practices were raised in the construction sites that were linked to the reduction of 42% of the causes of variability. It was concluded that there is a deficiency by the part of the managers to deal with the impacts of the variability in the execution time of the processes. Despite industrialization efforts, many identified causes are well known in the sector, revealing a chronic problem of the construction environment.

Keywords: Causes of variability; Construction systems; Lean construction.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
2 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	18
2.1 HISTÓRICO DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	18
2.2 O MECANISMO FUNÇÃO DA PRODUÇÃO E AS CARACTERÍSTICAS DO STP ...	19
2.3 AS PERDAS NA PRODUÇÃO	24
3 GENERALIZAÇÃO DO STP PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	27
3.1 AS PECULIARIDADES DA CONSTRUÇÃO CIVIL	27
3.2 A CRÍTICA AO MODELO DE CONVERSÃO	28
3.3 A NOVA FILOSOFIA DE PRODUÇÃO DA CONSTRUÇÃO	30
3.4 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA	32
3.5 O MODELO TFV (TRANSFORMAÇÃO-FLUXO-VALOR)	40
3.5.1 As Condições Prévias para Execução de uma Tarefa	41
3.6 O MAKING-DO	43
4 A VISÃO ENXUTA DO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	46
4.1 DEFINIÇÃO DO PLANEJAMENTO DE OBRAS	46
4.2 DIMENSÕES DO PLANEJAMENTO DE OBRAS	47
4.3 O LAST PLANNER SYSTEM™	47
4.4 A LINHA DE BALANÇO	50
5 SISTEMAS CONSTRUTIVOS	53
5.1 CONCRETO ARMADO COM VEDAÇÃO EM ALVENARIA (CAVA)	54
5.1.1 Definições	54

5.1.2 Etapas	55
5.1.3 Pontos positivos e negativos do sistema CAVA	57
5.2 ALVENARIA ESTRUTURAL (AE)	58
5.2.1 Definições	58
5.2.2 Etapas	59
5.2.3 Pontos positivos e negativos do sistema AE	61
5.3 PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL (PCML)	62
5.3.1 Definições	62
5.3.2 Etapas	63
5.3.3 Pontos positivos e negativos do sistema PCML	65
5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	66
6 A VARIABILIDADE NO AMBIENTE DA CONSTRUÇÃO	69
6.1 DEFINIÇÃO	69
6.2 OS IMPACTOS DA VARIABILIDADE	70
6.3 CAUSAS DA VARIABILIDADE	72
6.4 O BUFFER E O LPS COMO POSSÍVEIS MÉTODOS DE REDUÇÃO	73
6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	75
7 METODOLOGIA	78
7.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	78
7.2 FASES DA PESQUISA	78
7.2.1 Etapa 1 – Seleção dos objetos do estudo de campo	79
7.2.2 Etapa 2 – Elaboração das ferramentas para aplicação no estudo de campo	80
7.2.3 Etapa 3 – Formação da base de dados	84
7.2.4 Etapa 4 – Análise da base de dados	88
8 RESULTADOS	91
8.1 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS E EMPREENDIMENTOS OBJETOS DE ESTUDO	91

8.1.1 Descrição das empresas participantes	91
8.1.2 Empreendimentos de Concreto Armado com Vedação em Alvenaria (CAVA)	92
8.1.3 Empreendimentos de Alvenaria Estrutural (AE)	94
8.1.4 Empreendimentos de Paredes de Concreto Moldadas no Local (PCML)	95
8.2 IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DA VARIABILIDADE DOS PROCESSOS PARA CADA SISTEMA CONSTRUTIVO E CLASSIFICAÇÃO EM NÍVEIS DE RISCO	97
8.2.1 Dados gerais da aplicação do questionário	97
8.2.2 Identificação das causas e análise em níveis de risco para o sistema CAVA	98
8.2.3 Identificação das causas e análise em níveis de risco para o sistema AE	102
8.2.4 Identificação das causas e análise em níveis de risco para o sistema PCML	107
8.2.5 Considerações finais sobre a variabilidade dos processos nos sistemas construtivos...	112
8.3 COMPARAÇÃO DAS VISÕES DOS NÍVEIS HIERÁRQUICOS QUANTO ÀS CAUSAS DA VARIABILIDADE DOS PROCESSOS	113
8.3.1 Dados gerais da aplicação do questionário	113
8.3.2 Análise comparativa através do Fator de Atraso	114
8.3.3 Análise comparativa através dos níveis de risco	117
8.3.4 Análise dos questionamentos complementares sobre o modo de ocorrência da variabilidade no processo	120
8.4 VISÃO GERAL DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE NO TEMPO DE EXECUÇÃO DOS PROCESSOS	121
8.4.1 Identificação das causas e análise através do Fator de Atraso	121
8.4.2 Análise das causas através dos níveis de risco	124
8.5 IDENTIFICAÇÃO DE BOAS PRÁTICAS QUE CONTRIBUEM PARA A DIMINUIÇÃO DA VARIABILIDADE DOS PROCESSOS	125
8.5.1 Identificação e análise das boas práticas	125
8.5.2 Correlações entre as boas práticas identificadas e a classificação das causas da variabilidade dos processos	129
8.5.3 Sugestões de melhorias das boas práticas	130

8.5.4 Outros exemplos boas práticas	134
9 CONCLUSÕES.....	136
9.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
9.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	138
REFERÊNCIAS	139
APÊNDICES	145

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Interação entre fenômenos cobertos por diferentes conceitos de produção.	41
Quadro 2: Comparação entre os principais sistemas construtivos.	66
Quadro 3: Etapas de pré-seleção das obras.	80
Quadro 4: Descrição da Variável Intensidade.	83
Quadro 5: Descrição da Variável Frequência.	83
Quadro 6: Cronograma das visitas.	85
Quadro 7: Resultados da análise das causas do sistema CAVA.	99
Quadro 8: Ranking das principais causas do sistema CAVA.	100
Quadro 9: Resultados da análise das causas do sistema AE.	103
Quadro 10: Ranking das principais causas do sistema AE.	104
Quadro 11: Resultados da análise das causas do sistema PCML.	108
Quadro 12: Ranking das principais causas do sistema PCML.	109
Quadro 13: Ranking das principais causas por nível hierárquico.	115
Quadro 14: Formação dos níveis de risco.	119
Quadro 15: Visão de ocorrência da variabilidade.	120
Quadro 16: Resultados gerais da análise das causas da variabilidade.	122
Quadro 17: Ranking das principais causas da variabilidade e comparação com outros trabalhos.	123
Quadro 18: Identificação das boas práticas que auxiliam na redução da variabilidade dos processos.	127
Quadro 19: Quantidade de boas práticas associadas por causas.	129
Quadro 20: Principais causas x Boas práticas.	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa conceitual da justificativa do trabalho.	17
Figura 2: Processos e operações na visão convencional da produção.	19
Figura 3: A estrutura da produção.	21
Figura 4: O Mecanismo Função Produção visto na Linha de Balanço.	21
Figura 5: Visão convencional de um processo de produção dividido hierarquicamente em subprocessos.	29
Figura 6: Produção como um processo de fluxo.	31
Figura 7: Princípios Básicos da Construção Enxuta.	33
Figura 8: Compressão progressiva do tempo de ciclo.	35
Figura 9: Duas formas de planejar uma mesma obra (hipotética).	36
Figura 10: Atividades que contribuem para a melhoria dos processos construtivos.	42
Figura 11: Fatores que levam à ocorrência do Making-do.	44
Figura 12: Níveis de planejamento do LPS.	49
Figura 13: Formas de apresentação dos ciclos no tempo e espaço.	51
Figura 14: Externalização do processo de produção.	52
Figura 15: Variabilidade no processo e padronização dos ciclos.	52
Figura 16: Organização dos ciclos em diferentes sistemas construtivos.	67
Figura 17: Mapa conceitual dos tipos de variabilidades e suas correlações.	71
Figura 18: Atividade com buffer de tempo.	74
Figura 19: A variabilidade no fluxo da produção.	76
Figura 20: Fases da metodologia do trabalho.	79
Figura 21: Amostra global de entrevistados e serviços analisados na pesquisa.	97
Figura 22: Amostra de entrevistados e serviços analisados - CAVA.	98
Figura 23: Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco – CAVA.	101
Figura 24: Amostra de entrevistados e serviços analisados - AE.	102
Figura 25: Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco – AE.	106
Figura 26: Amostra de entrevistados e serviços analisados - PCML.	107
Figura 27: Exemplo de problemas nas paredes de concreto: falta de estanqueidade das fôrmas	110

Figura 28: Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco – PCML.	111
Figura 29: Comparação dos sistemas construtivos a partir do Fator de Atraso, número de ciclos e risco das causas.	112
Figura 30: Amostra de entrevistados e serviços analisados - Níveis hierárquicos.	114
Figura 31: Gráficos da (FxI) com divisão das causas em níveis de risco para cada nível hierárquico.	118
Figura 32: Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco.	124
Figura 33: Quantidade de aplicação de boas práticas por sistema construtivo.	125
Figura 34: Porcentagem de boas práticas relacionadas aos serviços.	128
Figura 35: Painel Kanban e exemplo da preparação de kits de materiais.	131
Figura 36: Utilização do manipulador telescópico para transporte de materiais.	132
Figura 37: Utilização da mini-carregadeira para transporte de materiais.	132
Figura 38: Retrabalho por conta de patologias no contrapiso autonivelante.	133
Figura 39: Utilização de argamassa usinada com aditivo retardador de pega.	134
Figura 40: Utilização de manipulador para a pintura e aplicação de argamassa mineral na fachada.	135
Figura 41: Betoneira com carregador de agregados.	135

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

AC – Análise de *Clusters*

AE – Alvenaria Estrutural

CAVA – Concreto Armado com Vedação em Alvenaria

CE – Construção Enxuta

FA – Fator de Atraso

ITC – Inteligência Empresarial da Construção

JIT – Just in Time

KC – *Kit* Completo

LPS – Sistema *Last Planner*TM

LOB – Linha Ordinária de Balanço

MDO – Mão de obra

MFP – Mecanismo Função da Produção

PCML – Paredes de Concreto Moldadas no Local

PIB – Produto Interno Bruto

PPC – Porcentagem de Plano Concluído

STP – Sistema Toyota de Produção

SFA – Soma do Fator de Atraso

TFV – Transformação-Fluxo-Valor

TQC – *Total Quality Control*

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A construção civil passa por um processo de retração do seu Produto Interno Bruto (PIB). Até o terceiro trimestre de 2016, apresentou taxa acumulada negativa de 4,4% (CBIC, 2016). Este decréscimo é consequência da queda dos investimentos públicos, diminuição dos financiamentos imobiliários e queda do poder aquisitivo da população, acarretados pela crise financeira nacional.

Habitações com preços condizentes com a renda do consumidor e que possam atender às necessidades dos clientes são o foco das construtoras, perante a atual situação do mercado. Mas como adequar a indústria da construção civil a esta nova realidade? Pode parecer simples, em se tratando de uma indústria, porém, é sabido que esta indústria detém um leque de peculiaridades, se comparada com outros setores, tal como a manufatura.

Neste sentido, Koskela (1992) afirma ser comum observar a utilização de técnicas arcaicas, elevado contingente de mão de obra com baixa produtividade e uso de processos artesanais que poderiam ser substituídos por mecanização. Além disso, existem ainda as perdas geradas por excesso de atividades de fluxo, como transporte e movimentação ineficiente no canteiro, baixa industrialização no processo produtivo, dentre outras.

Se, por um lado, a situação pode ser considerada preocupante, por outro, pode ser vista como uma possibilidade de estudos e implantações de melhorias, que darão amplas margens para a potencialização produtiva do setor.

Observa-se que as empresas construtoras estão em busca de soluções para a melhoria dos processos, sejam tecnológicas ou gerenciais.

No campo tecnológico, constata-se a disseminação de ferramentas automatizadas, o emprego de novos materiais de construção, a mecanização e a racionalização, que juntos levam à melhoria e até ao desenvolvimento de novos sistemas construtivos. Desta forma, vem-se buscando, no setor, aprimorar os sistemas de construção convencionais – como o concreto armado com vedação em alvenaria – e disseminar outros tipos de sistemas antes pouco difundidos, tal como o de paredes de concreto moldadas no local.

Apesar dos benefícios trazidos pelas melhorias no campo tecnológico, este avanço rumo à industrialização torna o processo global de construção mais complexo, exigindo uma maior necessidade de coordenação, já que requer uma maior precisão dimensional, menos

improvisações e maior cooperação entre os processos de projeto e planejamento. Mas, para isto, os avanços no campo gerencial são uma forma de garantir esses benefícios.

A construção enxuta (CE) é uma alternativa gerencial que se enquadra nas necessidades atuais do setor, por reconhecer os processos de fluxo e as interferências negativas que os mesmos sofrem, causadas pelo projeto, conceitos organizacionais e de produção, além das peculiaridades construtivas (KOSKELA, 1992).

Esta filosofia da construção, criada por Lauri Koskela em 1992, enumera onze princípios que visam auxiliar na redução de perdas e na melhoria contínua dos processos. Dentre eles, está a redução da variabilidade na produção, que contribui com a eliminação de atividades que não agregam valor. Mas qual seria a real importância desta redução?

Um dos problemas gerenciais que desafiam as empresas construtoras é o cumprimento da programação das atividades, ou seja, executá-las em tempo consoante ao planejado. A variabilidade dos processos pode ser tomada como uma das fontes desta dificuldade.

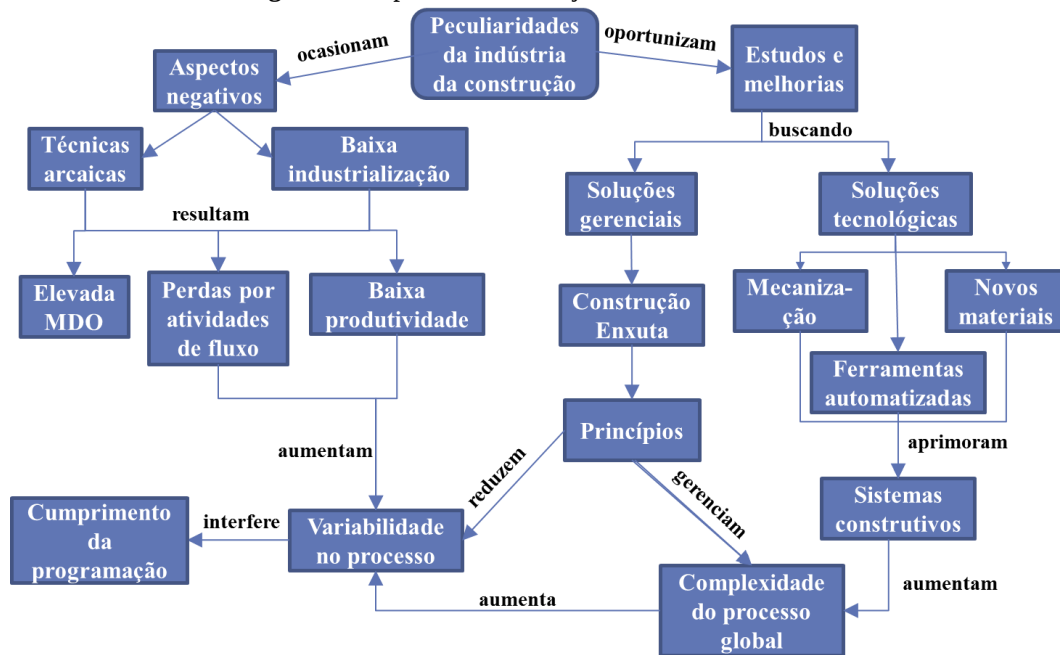
Reafirmando a complexidade deste assunto, Koskela (1992) faz uma observação pertinente: mesmo que se esteja analisando dois itens de um mesmo produto, haverá diferenças, já que os processos de produção são variáveis, pois os recursos necessários para produzi-los (tempo, matéria-prima, mão de obra) variam.

Para Wambeke (2011), é comum a existência desta variabilidade no processo de construção, causando impacto significativo na produtividade do trabalho. Na ótica da construção enxuta, Koskela (1992) considera, como vantagem da redução da variabilidade na produção, a eliminação de atividades que não agregam valor.

A justificativa para a escolha da análise das causas da variabilidade do tempo de execução dos processos em diversos sistemas construtivos, para o desenvolvimento deste trabalho, foi a necessidade de analisar quais fatores contribuem para sua majoração. Porém, uma hipótese levantada seria a de que os diversos tipos de sistemas construtivos influenciam na forma que esta variabilidade se comporta nos processos e, possivelmente, nas suas causas geradoras. De forma secundária, outra hipótese seria que a visão dos níveis hierárquicos envolvidos no processo de produção, quanto à variabilidade, é diferente, já que os níveis gerenciais teriam uma análise global do processo, frente ao nível operacional, que teria uma visão partilhada.

A Figura 1 mostra um mapa conceitual acerca da discussão da justificativa do trabalho, objetivando a compreensão visual das ligações entre os conceitos teóricos discutidos.

Figura 1: Mapa conceitual da justificativa do trabalho.



Fonte: O autor (2017).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as causas que afetam a variabilidade do tempo de execução dos processos em diferentes sistemas construtivos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais causas da variabilidade dos processos em diferentes sistemas construtivos;
- Classificar as causas da variabilidade dos processos em níveis de risco, utilizando uma metodologia de análise de riscos;
- Comparar as visões de diferentes níveis hierárquicos quanto às causas da variabilidade dos processos;
- Identificar boas práticas que contribuem para a diminuição da variabilidade dos processos.

2 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

2.1 HISTÓRICO DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

A indústria automobilística japonesa Toyota Motor Company foi fundada em 1937, passando por períodos de crise e de grande evolução ao longo dos anos. A Segunda Guerra mundial pode ser tomada como um dos eventos que impactaram na estabilidade do Japão e, consequentemente, na Toyota (WOMACK et al., 1992; OHNO, 1997).

Naquele momento, a indústria automobilística japonesa foi obrigada pelo governo militar a produzir caminhões, empregando métodos artesanais e deixando de lado a produção de carros de passeio, objetivando a atender à famigerada indústria bélica. Já no pós-guerra, em 1949, a Toyota dispensou grande parte dos funcionários, em meio a uma crise que levou os dirigentes da companhia, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, a concluírem que a produção em massa não funcionaria no Japão (WOMACK et al., 1992).

Baseado em Ohno (1997), dois pontos são relevantes para entender esta conclusão dos dirigentes da Toyota. Primeiramente, o modelo de produção em massa americano, que vigorava na época, tinha como alternativa para a redução de custos a produção em larga escala de poucos tipos de carros. Já o outro ponto seria o próprio ambiente pós-guerra japonês, descrito pela escassez de recursos, materiais, mão de obra e mercado consumidor.

Pode-se estabelecer uma ligação, mesmo que antagônica, entre estes pontos: a produção em massa não satisfazia ao contexto pós-guerra japonês de redução de custos, já que necessitava, para isto, de um grande mercado consumidor para suprir sua elevada produção, com baixa flexibilidade e alto consumo de materiais, ou seja, tudo o que o país não tinha disponível naquela época.

Para Ohno (1997), um dos problemas da Toyota, naquela época, era procurar maneiras de cortar custos, ao mesmo tempo produzindo pequenas quantidades de muitos tipos de carros. A partir disto, o Sistema Toyota de Produção (STP) surgiu, objetivando readequar a produção para eliminar perdas e produzir muitos modelos em pequenas quantidades.

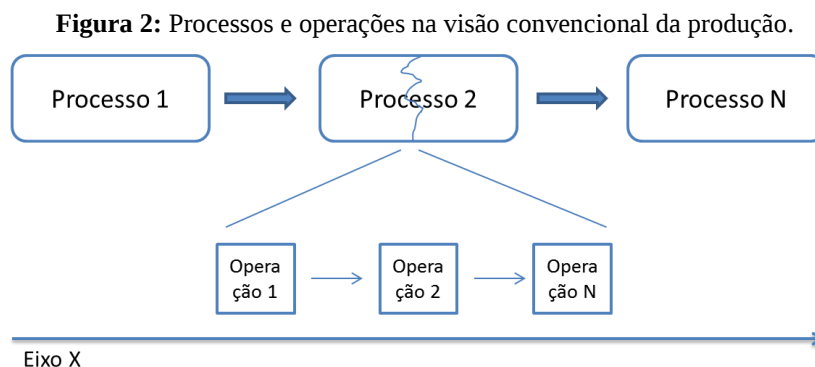
O STP despertou curiosidade de outras organizações do resto do mundo, a partir do seu sucesso frente à crise do petróleo de 1973, quando a Toyota não sentia os efeitos da mesma, completa Womack et al. (1992).

Após a análise do contexto histórico que deu origem e amadurecimento ao STP, quais as características e princípios deste sistema que o levou a ser replicado em várias partes do mundo e em vários tipos de organizações? Esta discussão é tratada no tópico adiante.

2.2 O MECANISMO FUNÇÃO DA PRODUÇÃO E AS CARACTERÍSTICAS DO STP

Como uma forma de demonstrar os ideais do STP, Shingo (1996) define a função da produção como um todo. Segundo ele, assim como na visão convencional da produção – conceito de conversão – (Figura 2), a mesma é composta por uma rede de processos e operações. Porém, o autor supracitado critica esta visão convencional e, ao mesmo tempo, estabelece uma nova visão para a produção.

Shingo (1996) critica a visão convencional da produção, pois para ela o processo refere-se a uma análise da produção em grandes unidades, já a operação refere-se a uma análise da produção em pequenas unidades. Aparentemente, processos e operações são considerados apenas como categorias que diferem em tamanho de unidades de análise, podendo ser expressos no mesmo eixo.



Fonte: O autor (2017).

Segundo análise de Shingo (1996), embora o processo seja constituído de uma série de operações, colocar ambos no mesmo eixo seria incorreto, já que reforçaria a hipótese de que a melhoria das operações individuais refletiria na melhoria do processo do qual elas fazem parte. Isto poderia levar a uma suposição inconsciente no trabalho de que as melhorias feitas nas operações de pequenas unidades conduzem necessariamente a melhorias nos processos coletivos.

Apoiado nesta crítica, Shingo (1996) estabelece uma visão diferenciada da produção, em termos de processos e operações. Segundo ele, a produção é uma rede formada pela interseção dos eixos processo (y) e operação (x), sendo estes dois fenômenos dispostos em diferentes eixos, seus fluxos são muito diferentes.

Processos, para Shingo (1996), seriam a transformação dos materiais em produto acabado, englobando todo fluxo destes materiais no tempo e no espaço, ou seja, o fluxo de produto. O autor supracitado identifica quatro estágios distintos de processo durante o fluxo de transformação da matéria-prima em produto:

- Processamento: montagem/desmontagem, mudança física no material ou na sua qualidade;
- Inspeção: comparação com padrão determinado;
- Transporte: movimento de materiais ou produtos;
- Espera: período de tempo em que não ocorre processamento, inspeção e transporte.

As operações são definidas por Shingo (1996) como sendo o trabalho realizado para efetivar o processo, ou seja, seria o trabalho realizado pelo trabalhador ou máquina nos produtos, representando o fluxo de trabalho. O autor supracitado classifica as operações como:

- Operações de *setup* (preparação das atividades): seria a preparação antes e depois das operações, como remoções e ajustes de matrizes e ferramentas;
- Operações principais: execução do trabalho necessário, podendo ser operações essenciais (ações que executam a operação principal) e auxiliares (ações auxiliares a operações essenciais).

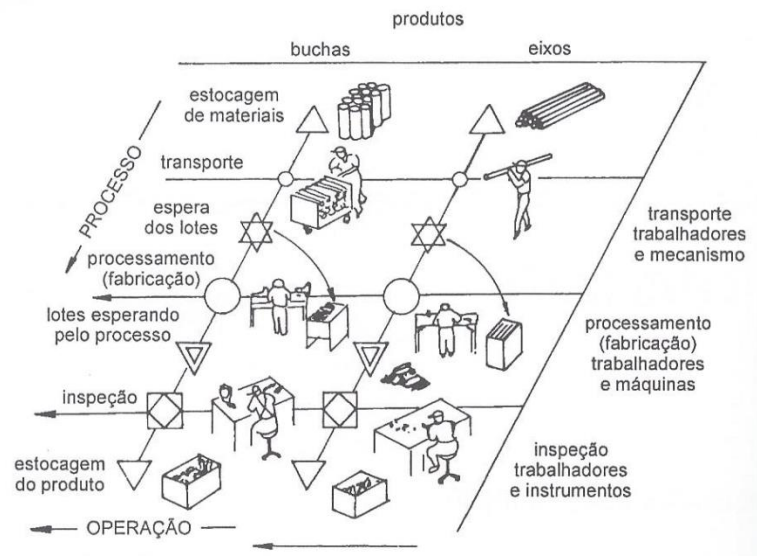
Associados às operações, existem as folgas que podem atuar entre operações sucessivas. São exemplos dessas folgas:

- Folgas marginais: atividades que estão indiretamente relacionadas com a operação. Período de tempo em que os operários não estão realizando operações (SOMMER, 2010);
- Folgas ligadas ao pessoal: não estão relacionadas com a operação e sim com as necessidades do trabalhador (descanso, necessidades fisiológicas, etc.).

Para Shingo (1996), a eliminação dos desperdícios ocorre a partir da melhoria nos processos e nas operações, contrariando a visão ocidental que tende a focar a melhoria da produção somente nas operações.

A Figura 3 demonstra a forma mais correta de representação do Mecanismo Função da Produção (MFP).

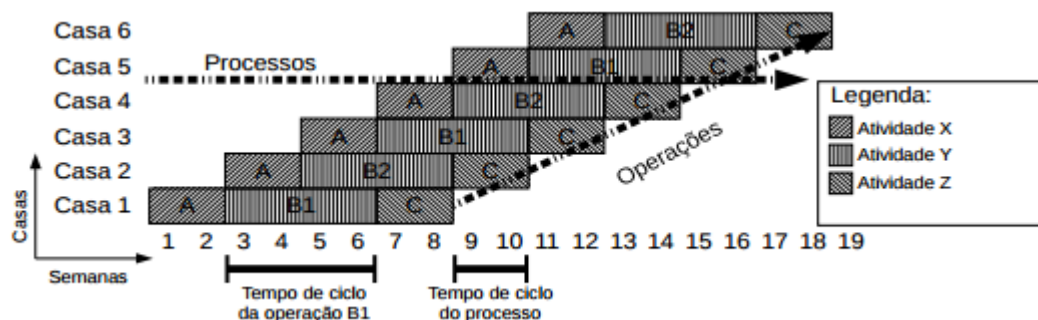
Figura 3: A estrutura da produção.



Fonte: Shingo(1996).

Uma análise dos processos e operações é trazida ao contexto da construção civil por Isatto e Zuchetti (2014), utilizando-se a linha de balanço como uma ferramenta que permite a análise conjunta de processos e operações, podendo identificar cada uma das instâncias do processo de forma individual (Figura 4).

Figura 4: O Mecanismo Função Produção visto na Linha de Balanço.



Fonte: Isatto e Zuchetti(2014).

Ainda pautando as discussões sobre a fundamentação do STP, que objetiva a redução de perdas, Shingo (1996) mostra, como um dos princípios de controle da produção, o princípio do não-custo.

Muitas empresas comumente utilizam o princípio básico de custo para determinarem o preço de seus produtos, conforme a Equação (1).

$$\text{Custo} + \text{Lucro} = \text{Preço de Venda} \quad (1)$$

Isto implica que, caso o custo aumente, o preço de venda também aumentará, ou seja, os preços são aumentados como resposta do aumento do custo. Já o princípio do não-custo do STP prega que os consumidores determinam o preço final do produto, sendo o lucro a subtração do custo do preço final. Para isto, a única forma de aumentar o lucro é reduzindo os custos, como se observa na Equação (2) (SHINGO, 1996).

$$\text{Preço de Venda} - \text{Custo} = \text{Lucro} \quad (2)$$

O princípio do não-custo força a empresa a eliminar as perdas, à medida que torna a redução de custo o meio para aumentar os lucros.

Para que se atenda à base do STP, a eliminação de perdas, Ohno (1997) enfatiza a necessidade dos dois pilares de sustentação do modelo: o *Just-in-time* (JIT) e a autonomia.

O *Just-in-time* (JIT) é considerado como ponto de partida para a nova filosofia de produção, iniciado por Ohno e Shingo em fábricas da Toyota na década de 1950. Seu objetivo principal era eliminar ou reduzir estoques, levando ao desenvolvimento de novas técnicas para atingi-lo, como: a redução do lote, estudo do *layout*, cooperação com o fornecedor, redução do tempo e método de produção por demanda real (KOSKELA, 1992).

O JIT é descrito numa visão operacional por Ghinato (1996), em que cada processo necessita ser suprido na hora e lugar certo, com os itens e as quantidades corretas. Desta forma, o JIT é um modo de alcançar o objetivo do STP, ou seja, o aumento dos lucros a partir da total eliminação de perdas.

Shingo (1996) destaca que o STP trabalha sem geração de estoque na produção, fazendo com que cada processo seja abastecido com os itens necessários, na quantidade necessária e no momento certo, ou seja, de modo *just-in-time*.

Uma das formas encontradas para garantir a eliminação do estoque seria puxar a produção, ou seja, um processo final dispara a produção de peças necessárias de um processo inicial, e assim sucessivamente (OHNO, 1997). Isto pode ser entendido como o inverso da linha

de produção, em que um processo inicial produz independente da necessidade do processo posterior, de maneira empurrada.

O método *kanban* permite puxar a produção, indicando as necessidades de cada processo à medida que circula entre todos eles a informação do produto que está sendo trabalhado, controlando as quantidades produzidas e necessárias (OHNO, 1997).

Outro pilar fundamental do STP é a autonomia. Ohno (1997) a define como sendo a automação com um toque humano. Na Toyota, máquinas com autonomia eram aquelas que estavam acopladas a dispositivos de parada automática, objetivando a não propagação de defeitos na produção. Do ponto de vista da gestão, isto permite que um operador seja responsável por atender diversas máquinas, aumentando a eficiência da produção.

Ghinato (1996) exemplifica a autonomia. Segundo o autor, quando a linha de produção é parada por uma máquina ou operador, o erro torna-se visível para todos, desencadeando um esforço geral que envolve os trabalhadores da fábrica para identificar a causa e eliminá-la, prevenindo a repetição do problema e as paradas na linha de produção.

O Controle de Qualidade é outra característica importante do STP, vinda do amadurecimento de ideias pré-existentes, tal como é explicado a seguir.

O Controle de Qualidade americano teve como premissa inicial a utilização de métodos estatísticos para a inspeção de matérias-primas e produtos. Este método foi estudado pelos japoneses e, posteriormente, evoluiu para um Controle de Qualidade Total, expandindo do micro para o macro, ou seja, da produção para os departamentos, dos trabalhadores para a gestão e da noção de qualidade para cobrir todas as operações na empresa.

De acordo com Ghinato (1996), o Controle de Qualidade Zero Defeitos objetiva eliminar a ocorrência de defeitos a partir da identificação e controle na origem, sendo esta a principal diferença do controle de qualidade ocidental. Seus quatro pontos fundamentais são: a inspeção na fonte com caráter preventivo, a inspeção de 100% dos produtos, a redução do tempo entre a detecção do erro e a aplicação da ação corretiva e, por fim, o controle de falhas junto à execução.

Quanto às características do STP, Sommer (2010) complementa que o sistema envolve uma série de práticas, que foram difundidas pelo mundo, tais como o círculo de qualidade, programa 5S, painéis *andon*, além do próprio *kanban*.

Para Ghinato (1996), no STP, reduzir custos eliminando perdas passa por analisar de forma detalhada todo o processo por onde percorre o material. Além disso, analisa as operações, identificando atividades do trabalho que não agregam valor. É de suma importância definir quais tipos de perdas são esperados pelo Sistema Toyota e que podem ser generalizados para as mais variadas aplicações, inclusive para a construção civil. Este assunto será abordado no subcapítulo a seguir.

2.3 AS PERDAS NA PRODUÇÃO

Segundo Shingo (1996), na Toyota procura-se pelo desperdício que comumente não é notado, à medida que ele se tornou aceito como integrante natural do trabalho. A perda, para o autor supracitado, é qualquer tipo de atividade que não contribui para as operações.

Existem dois tipos de operações, aquelas que agregam valor (processamento) e outras que não agregam valor (movimentação de materiais, transporte, retrabalhos, etc.). As operações agregadoras de valor são aquelas que, de fato, transformam a matéria-prima em produtos, já as não agregadoras de valor são consideradas como perdas por não contribuírem com o processamento (SHINGO, 1996).

Ohno (1997) considera, a partir da visão do STP, sete categorias de perdas descritas a seguir:

- (1) Perda por superprodução: esta perda ocorre quando se produz uma quantidade superior à programada ou antes do tempo necessário. Deve ser tomada como o principal foco de melhoria na produção, já que a redução das perdas por superprodução reduz os grandes estoques, que ocultam a identificação de outras perdas (FIREMAN, 2012).
- (2) Perda por transporte: O transporte não aumenta o valor agregado, devendo, portanto, reduzir sua necessidade – com um estudo adequado do *layout* da planta – e torná-lo mais racional (SHINGO, 1996);
- (3) Perda no processamento: acontece em atividades desnecessárias do processamento que não contribuem para que o produto adquira suas características funcionais (SOMMER, 2010);
- (4) Perda por fabricação de produtos defeituosos: produtos que apresentam desvios de qualidade dos padrões originais. São as perdas mais comuns e visíveis, já que estão materializadas no produto (SOMMER, 2010);

- (5) Perda por movimentação: ocorre na realização de movimentos desnecessários do operador para executar uma atividade, podendo relacionar-se com um *layout* ineficiente (FIREMAN, 2012);
- (6) Perda por espera: o elevado tempo de *setup*, falta de balanceamento da produção, atrasos de materiais, quebras de máquinas, dentre outros são causas comuns desta perda que culmina na paralisação dos postos de trabalho (SHINGO, 1996);
- (7) Perda por estoque: ocorre na manutenção de estoques desnecessários de matéria-prima, materiais em processamento e produtos acabados, gerando custos adicionais (FIREMAN, 2012).

Fireman (2012) destaca que existem outros tipos específicos de perdas apresentadas pelo STP que se vinculam a algumas das sete categorias mostradas acima, são elas: retrabalho e trabalho em progresso.

O retrabalho é uma atividade que não agrega valor por estar ligada à correção de produtos defeituosos que se desviaram de um padrão de qualidade esperado (OHNO, 1997). Segundo Shingo (1996), o retrabalho pode ser considerado como consequência de um dos tipos de perda do STP: a perda por fabricação de produtos defeituosos.

A partir de levantamentos da literatura sobre o assunto, Fireman (2012) frisa que não há consenso quanto à consideração de retrabalho como o ato de concluir aqueles itens incompletos, deixando-os em conformidade com o padrão esperado. Porém, é segura a definição de que o retrabalho passa por corrigir uma atividade ou processo que foi executado de maneira inadequada, apresentando desvios quanto aos padrões esperados.

O trabalho em progresso é descrito por Shingo (1996) como sendo uma perda referida aos estoques presentes entre etapas de processamento, geralmente associados a itens concluídos esperando ser processados, decorrentes de uma superprodução.

Fireman (2012) generaliza a conceituação do trabalho em progresso do ponto de vista da construção que, segundo ele, está relacionado de forma direta ao tempo de espera para que um espaço (ambiente, quarto, apartamento) seja concluído, podendo estes espaços encontrar-se nas seguintes situações: sendo processados; aguardando o início do próximo processo; esperando a conclusão completa dos serviços.

O autor supracitado cita como uma das possíveis causas do aumento do trabalho em progresso os problemas de controle da qualidade, à medida que equipes não concluem

totalmente suas tarefas e dirigem-se para outras frentes de trabalho, deixando tarefas a espera de serem corrigidas no local anterior. Além disto, Fireman (2012) destaca que, para vários autores, há uma dificuldade em enxergar a quantidade de trabalho em progresso acumulando entre equipes de trabalho, comparando-se com a quantidade de pilhas de produto do trabalho em progresso acumulando entre estações de trabalho.

Outros tipos de perdas têm sido propostos por diversos autores, inclusive com categorias enquadradas à realidade da construção civil, tal como o *making-do*. Este tipo específico será tratado mais adiante neste trabalho.

Diversos autores (Isatto et al., 2000; Formoso et al., 2002; Fireman, 2012) definem que o conceito de perdas na construção civil, geralmente, é associado ao desperdício de materiais ou entulhos, que não mostram alternativas de aproveitamento. Esta conceituação, ainda segundo os autores, pode ser justificada pela facilidade de quantificação e possíveis determinações de custos, por uma simples multiplicação do valor unitário pela quantidade de cada entulho.

Pode-se analisar que a visão de perdas relacionada somente com o desperdício de materiais é incompleta. Para constatar isto, basta considerar os tipos de perdas propostas por Ohno (1997), que extrapolam este pensamento de forma micro para o macro, ou do material para a produção.

3 GENERALIZAÇÃO DO STP PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

O sucesso do modelo do Sistema Toyota de Produção despertou curiosidade em todo mundo e foi transferido e adaptado para outras indústrias, não só as automobilísticas, dando origem ao que hoje é a Produção Enxuta. Segundo Picchi (2001), a adoção do termo “enxuto” caracteriza esta nova filosofia de produção, que comparada à anterior (produção em massa), necessita de menos esforço de trabalho, espaço, estoque, tempo, resultando em menos defeitos e produzindo mais.

Para Koskela (1992), os benefícios da nova filosofia em termos de produtividade, qualidade e outros indicadores foram satisfatórios para garantir a rápida difusão de seus princípios.

A partir de estudos sobre os conceitos e princípios do STP, surgiram as adaptações para os mais variados ambientes, passando esta nova filosofia a ser denominada de Produção Enxuta. Na indústria da construção civil, esta adaptação ficou conhecida como Construção Enxuta (CE), a partir do trabalho de Lauri Koskela, em 1992, intitulado: *Application of the new production philosophy to construction*.

3.1 AS PECULIARIDADES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Antes de fazer uma análise da aplicação dos conceitos do STP na indústria da construção civil, é válido realizar uma breve discussão sobre as peculiaridades deste setor que, mesmo sendo denominado de indústria, difere muito de outras indústrias como a de manufatura.

Koskela (1992) afirma que o atraso no ambiente da construção civil vai além da demanda tecnológica, adentrando o campo gerencial e, sobremaneira, problemas de fluxos do processo. Neste sentido, é válido ressaltar a colocação de Dupagne (1991) apud Koskela (1992), que se faz pertinente mais de duas décadas depois, mantendo-se ainda atual ao contexto da construção: é observada a falta de interação no processo de projeto, restrições de fases subsequentes não são levadas em consideração, há pouco retorno das informações para os desenvolvedores de projetos, além da falta de liderança e de responsabilidades (controle segmentado).

Quanto às colocações supracitadas, Koskela (1992) cita como possíveis consequências a subotimização das soluções, construtibilidade precária, grande número de alterações de projeto, além da falta de inovação e melhoria.

Koskela (2000) agrupa as peculiaridades significativas da construção em três categorias que serão discutidas abaixo: natureza única do projeto, produção local e organização temporária.

Para Warszawski (1990) apud Koskela (2000), a natureza única da produção na construção é causada por diferentes necessidades e prioridades do cliente, por diferentes locais de implantação e por diferentes pontos de vista dos projetistas quanto às melhores soluções de projeto. Nem todos os aspectos da construção são afetados pela natureza única do projeto, ela interfere mais quanto à forma geral do edifício, instalações e interações entre subsistemas. Materiais, componentes, habilidades necessárias geralmente são similares, assim como do ponto de vista dos prestadores de serviço há repetição de projetos e soluções (KOSKELA, 2000).

Outra peculiaridade apontada por Koskela (2000) é de clara percepção: a produção na construção acontece no local final do produto, uma característica que poucas indústrias compartilham (ex.: mineração e agricultura). O canteiro é sujeito a intempéries, além da dependência de recursos (insumos e mão de obra) e infraestrutura de produção local, o que gera interferências e deficiências organizacionais.

A última peculiaridade é a organização temporária do projeto de construção, que é concebida e montada para o objetivo específico. São diferentes empresas que podem ou não ter trabalhado juntas, cada uma com funções específicas, além da força de trabalho que pode ser utilizada para um projeto específico em vez de ser usada de forma permanente (KOSKELA, 2000).

3.2 A CRÍTICA AO MODELO DE CONVERSÃO

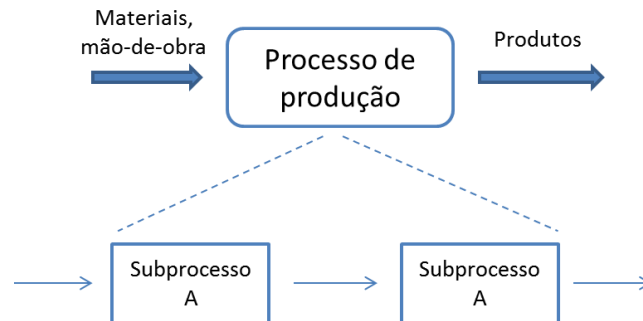
O modelo de conversão é o conceito que domina a visão convencional de produção com suas noções de organização e gestão. Para ele, a produção é um conjunto de atividades destinadas a uma determinada saída, passando por um processo de conversão, que pode ser dividido em subprocessos (KOSKELA, 1992).

Estas características do modelo podem ser percebidas a partir da Figura 5.

Neste sentido, Isatto et al. (2000) explicam a produção, do ponto de vista do modelo conceitual dominante na construção, como um conjunto de atividades de conversão, que transformam os insumos em produtos intermediários e finais (por exemplo: blocos, cimento e

areia em alvenaria ou estrutura), recebendo a denominação por este motivo de modelo de conversão.

Figura 5: Visão convencional de um processo de produção dividido hierarquicamente em subprocessos.



Fonte: Adaptado de Koskela(1992).

Outas características secundárias deste modelo podem ser observadas, tais como:

- A redução do custo total da produção pode ser obtida a partir da minimização dos custos de cada subprocesso (KOSKELA, 2000);
- O valor final de um produto é obtido pela soma dos custos de cada insumo (ISATTO et al., 2000).

Koskela (1992) observa, de forma prática, a ocorrência deste modelo convencional na construção. Segundo o referido autor, no método tradicional, a estrutura a ser construída é dividida em seus elementos constituintes, sendo estimados os custos de materiais e mão de obra. Posteriormente, são estabelecidos contratos que especificam parte da estrutura como saída e uma remuneração como entrada. Percebe-se a aplicação do modelo de conversão, em que o processo de produção é dividido em subprocessos que convertem uma entrada para uma saída, podendo ser executados e analisados isoladamente.

Outro exemplo da aplicação do modelo de conversão no ambiente da construção são os métodos de rede CPM, comumente usados, ainda hoje, como método de planejamento e sequenciamento de atividades. Neles, observam-se as unidades básicas de análise como atividades necessárias para produção dos elementos de um edifício. Percebem-se semelhanças entre a visão empregada na construção e nas fábricas: o modo sequencial de realização do projeto, organização hierárquica e negligência dos processos de fluxo além dos problemas de qualidade (KOSKELA, 1992).

Koskela (1992) critica os métodos de rede CPM por violarem os princípios do fluxo de processo, levando a fluxos não ideais e ao aumento da ocorrência de atividades que não agregam valor.

Este modelo de conversão é criticado por Koskela (1992) em alguns sentidos:

- Por deixar de lado os fluxos físicos (movimentação, espera e fiscalização de atividades) entre as conversões, já que presume que todas as atividades do processo são de conversão. De acordo com Isatto et al. (2000), cerca de 70% dos custos são provocados por atividades de fluxo e não de conversão, ou seja, atividades que não agregam valor (transporte, espera, retrabalho);
- O controle é voltado para partes do processo (subprocessos) ao invés do todo, concentrando-se em uma unidade organizacional ou uma tarefa, consequência da organização hierárquica.
- As conversões são imperfeitas e não têm preocupação quanto a atender os requisitos das próximas conversões e do cliente final. Esta situação leva uma parte da produção a ser destruída ou a sofrer retrabalhos por não cumprir os requerimentos das etapas posteriores.

3.3 A NOVA FILOSOFIA DE PRODUÇÃO DA CONSTRUÇÃO

No tópico anterior foram discutidas as falhas do modelo convencional da construção, que é criticado por Lauri Koskela principalmente por desconsiderar as atividades de fluxo da produção.

Os ambientes da construção e da manufatura são muito distintos e consequentemente interferem no formato da produção. Neste sentido, Koskela (1992) destaca algumas destas peculiaridades da indústria da construção que interferem no modo de produção, tais como: os projetos de empreendimentos são diferenciados e complexos, não havendo empreendimentos repetidos que possibilitem projetos e produção iguais; o canteiro de obras reúne vários empregados e empresas distintas, muitas vezes contratados somente para aquele empreendimento; condições precárias de trabalho, sujeito a intempéries.

Mas, de fato, o que seriam estas atividades de fluxo e qual a importância de considerá-las na produção?

Na engenharia industrial, tudo que é desnecessário na produção têm sido tradicionalmente chamado de perda ou algo “sem valor agregado”. Tudo o que é necessário para criar um produto perfeito é considerado como algo com “valor agregado”. Assim, o princípio fundamental do conceito de fluxo passa a ser a eliminação dos fenômenos que não agregam valor para produção (KOSKELA, 2000).

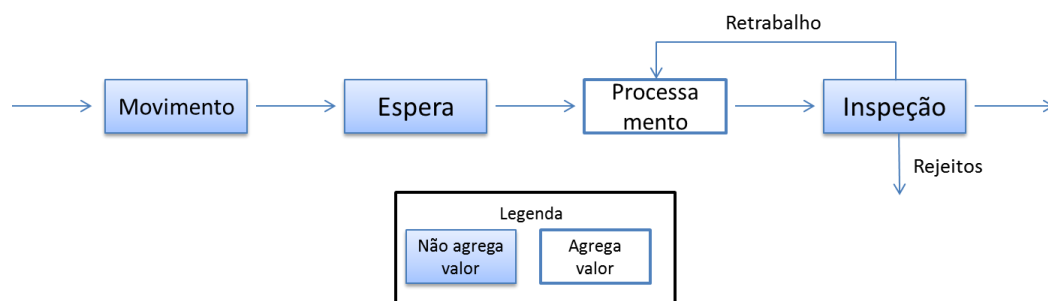
Bulhões (2009) destaca que o conceito de processo, proposto por Koskela (1992), é baseado na visão de processos e operações de Shingo (1996). Koskela (1992) defende que a construção deve ser entendida como composta por processos de fluxo, os quais sofrem interferências negativas causadas pelo projeto, conceitos organizacionais e de produção, além das peculiaridades construtivas.

Segundo Koskela (1992), tais processos se caracterizam pelo seu custo, tempo e valor para o cliente. O valor é avaliado a partir da perspectiva do cliente interno e final, já o custo e duração dependem da eficiência das atividades que agregam valor e da quantidade de atividades que não agregam valor.

Os fluxos são formados pelas atividades de processamento (conversão), inspeção, transporte, movimentação e espera, sendo estas quatro últimas denominadas de atividades de fluxo que não agregam valor para a produção (KOSKELA, 1992). Isatto et al. (2000) frisam que nem toda atividade de processamento agrega valor ao produto. Isto ocorre quando as especificações de um produto não foram atendidas, necessitando de um retrabalho.

A produção do ponto de vista deste modelo denominado Construção Enxuta (CE) é representada na Figura 6.

Figura 6: Produção como um processo de fluxo.



Fonte: Adaptado de Koskela (1992).

Pode-se observar na Figura 6 a representação do fluxo de produção, em que as atividades nos quadros hachurados não agregam valor ao produto, sendo a única atividade agregadora de valor o processamento pois, de fato, há a transformação de um insumo em produto. Porém, quando este processamento é um retrabalho, devido ao não atendimento de um padrão de produto, não há agregação de valor.

Coelho (2009) resume como fundamento básico da filosofia da CE a consideração da constituição do processo produtivo, não somente como uma sequência de conversões, mas também, considerando e visualizando os fluxos presentes entre elas.

Para a autora supracitada, o direcionamento das ações da CE é voltado para enxugar a obra de atividades que não agregam valor ao produto final e que resultam em perdas. Moura e Heineck (2014) ampliam a conceituação sobre os direcionamentos da construção enxuta, os quais, segundo eles, há um consenso entre os estudiosos de que o objetivo principal da CE é criar valor para os clientes, melhorar as operações gradativamente e com foco em reduzir perdas.

3.4 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Uma série de princípios para a gestão de processos é proposta por Koskela (1992). São, ao todo, onze princípios que auxiliam na redução de perdas e na melhoria contínua.

Segundo Koskela (2000), dentre os mais importantes princípios de fluxo – relacionados com o projeto do sistema de produção, controle e melhoria – existem três tipos:

- a) Aqueles que indicam a fonte fundamental da melhoria, fazendo parte da fundamentação teórica e conceitual:
 - Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor (perdas).
- b) Derivados a partir da teoria, por tratarem da supressão de perdas:
 - Reduzir o tempo de ciclo;
 - Reduzir a variabilidade.
- c) Ligados indiretamente à teoria, porém úteis na prática:
 - Simplificar através da minimização do número de passos, peças e ligações;
 - Aumentar a flexibilidade;
 - Aumentar a transparência.

A Figura 7 apresenta de forma gráfica os onze princípios da construção enxuta, mostrando as derivações a partir da fonte fundamental da teoria (ao centro) até aqueles ligados indiretamente à teoria, porém úteis na prática (margens).

Figura 7: Princípios Básicos da Construção Enxuta.



Fonte: O autor (2017).

A seguir, estes onze princípios da construção enxuta são discutidos, a partir da conceituação de Koskela (1992) e de outros autores:

- Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor (perdas):

Koskela (2000) afirma que as atividades que não agregam valor existem por três causas: a estrutura do sistema de produção, o modo de controle da produção e a natureza inerente de produção.

A estrutura do sistema de produção determina o fluxo físico que é atravessado pelo material e pelas informações. Sendo assim, existem perdas pela estruturação em organizações hierárquicas, que aumentam cada vez que uma tarefa é dividida em duas subtarefas executadas por diferentes especialistas. Quanto maior for a quantidade de subtarefas, maior é a quantidade de atividades que não agregam valor, tais como: inspeção, movimentação e espera (KOSKELA, 2000).

Para Koskela (2000), as perdas existem pela própria natureza da produção, pois é esperado que defeitos surjam, máquinas quebrem e acidentes aconteçam. Esta variabilidade da produção é uma característica inerente, assim como o erro humano.

Koskela (2000) ressalta que este princípio não pode ser utilizado de forma simplista, pois algumas atividades que não agregam valor são fundamentais para o cliente interno, como o planejamento e a prevenção de acidentes. Estas atividades não podem ser suprimidas, já que acarretaria na geração de outras atividades que não agregam valor, tais como acidentes e defeitos. Estas últimas, sim, devem ser eliminadas por completo.

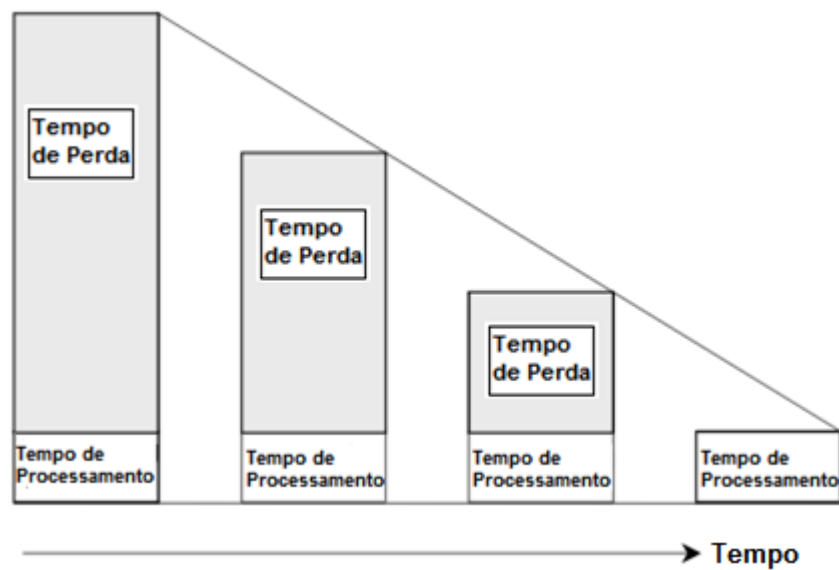
Heineck et al. (2009) fazem uma interpretação simples deste princípio. Para eles, definindo-se o que o cliente almeja, tudo aquilo que não agregue valor deve ser tratado como perda, devendo ser eliminado.

- Reduzir o tempo de ciclo

Koskela (2000) define o tempo de ciclo como o tempo necessário para um material atravessar o fluxo, englobando o tempo de processamento, de inspeção, espera e movimentação. Segundo o referido autor, a diminuição do tempo de ciclo se dá por meio da melhoria sucessiva dos processos, com esforços dirigidos para a eliminação do retrabalho, inspeção, movimento e espera. Isto pode ser observado através da Figura 8 (Berliner e Brimson, 1988 apud. Koskela, 2000), que demonstra a compressão progressiva do tempo de ciclo, a partir da eliminação de atividades que não agregam valor e da redução da variabilidade.

Como pode ser observado na Figura 8, à medida que se diminui o tempo de ciclo, diminui-se também o tempo de perda, mantendo-se o tempo de processamento constante. Isto acontece pois, para que se atenda à compressão, as tarefas precisam se tornar mais eficientes, reduzindo atividades de fluxo desnecessárias.

Figura 8: Compressão progressiva do tempo de ciclo.



Fonte: Berliner e Brimson (1988) apud Koskela (2000).

Para que isto ocorra, uma das formas é realizar o planejamento adequado das atividades em relação às condições prévias para sua execução (discutido em 3.5.1), tais como: mão de obra; informações; materiais e componentes; disponibilidade de projetos; dentre outras. Desta forma, evita-se a diminuição da produtividade por ocorrência de *making-do* (tratado em 3.6)

Segundo autores como Koskela (2000), Formoso (2002), e Heineck et al. (2009), pode-se reduzir o tempo de ciclo empregando-se várias ações conjuntas, tais como:

- a) Eliminar atividades de fluxo que integram o ciclo de produção;
- b) Trabalhar com lotes menores de produtos por ciclo, garantindo que estejam prontos antes do início da produção do próximo;
- c) Modificar as relações de precedência entre atividades, de modo a eliminar as relações de interdependência entre as mesmas, possibilitando a execução em paralelo;
- d) Reduzir a variabilidade.

Formoso (2002) apresenta duas possíveis estratégias de um cronograma de execução de um empreendimento, em que a primeira opção tem um tempo de ciclo maior que a segunda, conforme a Figura 9.

Figura 9: Duas formas de planejar uma mesma obra (hipotética).

Alternativa 1 (Longo tempo de ciclo)

Etapa	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6	Período 7	Período 8	Período 9
A				↑					
B				↑					
C				↑					
D				↓					

Alternativa 2 (Pequeno tempo de ciclo)

Etapa	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6	Período 7	Período 8	Período 9
A			↑						
B			↓						
C									
D									


 Quantidade Máxima do Trabalho em Progresso

Fonte: Adaptado de Formoso (2002).

Conforme Formoso (2002), nota-se que a primeira opção tem tempos de ciclos maiores para as etapas, diferentemente da segunda. Como consequência disto, a segunda alternativa apresenta menos trabalho em progresso, seus lotes produzidos podem ser entregues mais cedo, há maior potencial para aplicação do efeito aprendizagem e da flexibilidade. Além disto, os erros que possam ocorrer nos lotes iniciais aparecerão mais rapidamente, podendo ser corrigidos mais cedo.

- Reduzir a variabilidade

Para Koskela (1992), a redução da variabilidade na produção contribui com a eliminação de atividades que não agregam valor, sendo a padronização de atividades um procedimento auxiliar para os processos de conversão e fluxo.

Este conceito não está somente ligado à qualidade do que se produz. Recomenda-se que, antes mesmo do processo começar, sejam feitas padronizações dos projetos para se ter um trabalho da mão de obra mais padronizado e oferecer condições de trabalho adequadas (HEINECK et al., 2009). Isto evita, por exemplo, que ocorra a variabilidade dos processos (por falta de material, erros de projeto, dentre outras causas), modificando as durações previstas das atividades.

O assunto Variabilidade, pela sua relevância teórica para a pesquisa, será discutido, mais profundamente, no Capítulo 6.

- Aumentar o valor do produto através da análise dos requisitos do cliente

Para cada atividade há dois tipos de clientes, as próximas atividades (clientes internos) e o cliente final, sendo fundamental melhorar a eficiência dos processos de conversão, identificar os clientes e suas necessidades, permitindo a otimização dos fluxos (KOSKELA, 1992).

Formoso (2002) relaciona este princípio ao conceito de processo como gerador de valor, pois estabelece que as necessidades dos clientes internos e externos devem ser identificadas claramente para que possam ser consideradas no projeto do produto e na gestão da produção. Neste sentido, Heineck et al. (2009) aliam este princípio como o conceito central da qualidade, no qual a produção só tem sentido quando atende aos requisitos dos clientes.

Um exemplo de aplicação deste princípio no processo de produção é dado por Formoso (2002): tendo como base a equipe que executa a estrutura de concreto armado, ela deve considerar as tolerâncias dimensionais necessárias para não dificultar os processos de execução de alvenaria e revestimentos. Para isto, é preciso a identificação destes requisitos e posterior comunicação para a equipe da estrutura.

- Simplificar através da minimização do número de passos, partes e ligações

A complexidade de um produto ou processo aumenta os custos para além da soma dos custos de peças individuais ou etapas, sendo uma falha da contabilidade convencional em mostrar o diferencial de dois materiais, mas não os custos adicionais criados em todo o sistema de produção usando os dois em vez de um (CHILD et al., 1991 apud KOSKELA, 2000). Apoiado neste pensamento, Koskela (2000) afirma que sistemas complexos são menos confiáveis do que sistemas simples, além disso, a capacidade humana para lidar com a complexidade é limitada.

É neste sentido que a busca pela simplificação é algo positivo no ponto de vista da produção. Para Koskela (2000), a simplificação pode ser entendida como a redução do número de componentes de um produto ou a redução do número de etapas e ligações em um fluxo de material ou informações.

Formoso (2002) atenta que quanto maior for o número de componentes ou passos de processo, tende a surgir um maior número de atividades que não agregam valor. Segundo o referido autor, isto ocorre por dois motivos: as tarefas auxiliares de preparação e conclusão são necessárias para cada passo do processo e ocorre o aumento da possibilidade de interferência entre as equipes em presença de variabilidade.

Abordagens práticas para alcançar a simplificação incluem: encurtamento dos fluxos pela consolidação de atividades; redução do número de peças de produtos por intermédio de alterações de concepção ou peças pré-fabricadas; padronização de peças, materiais, ferramentas; ligações com encaixes; minimização da quantidade de informação de controle necessária; uso de equipes polivalentes em substituição a um maior número de equipes especializadas; planejar o processo de produção de forma eficaz (KOSKELA, 2000; FORMOSO, 2002).

- Aumentar a flexibilidade de saída

De acordo com Formoso (2002), este princípio está vinculado ao conceito de processo como gerador de valor, à medida que se refere à possibilidade de alterar as características dos produtos entregues ao cliente sem aumentar substancialmente os custos de produção.

Segundo Koskela (2000), o aumento da flexibilidade de saída parece ser contraditório com a simplificação, porém, podem-se realizar ambos objetivos concomitantemente. Algumas das abordagens práticas que auxiliam no aumento da flexibilidade são: diminuição do tamanho do lote para se aproximar da demanda, reduzir as dificuldades do *setup*, personalização tardia no processo, força de trabalho polivalente.

- Aumentar a transparência do processo

Stalk e Hout (1990) apud Koskela (2000) observaram que as empresas que praticavam a diminuição do tempo de ciclo tomavam como ferramenta tornar o processo de produção transparente e observável para a facilitação de controle e melhoria, principalmente para os funcionários.

Para Formoso (2002), o aumento da transparência dos processos traz resultados positivos para a produção, pois tende a tornar os erros mais fáceis de serem identificados, além

de aumentar a disponibilidade de informações necessárias para a execução das tarefas, o que facilita o trabalho.

Heineck et al. (2009) apontam como objetivos deste princípio entender o que cada um está fazendo, descrever estas ações em manuais, além de identificar de forma clara materiais, ferramentas, estoques e trabalhadores.

- Buscar a melhoria contínua no processo

A melhoria do processo deve ocorrer de modo contínuo, a fim de reduzir a perda e aumentar o valor do produto. São métodos de aplicação deste princípio: a medição e o monitoramento da melhoria, o estabelecimento de metas, a atribuição de responsabilidades de melhoria para todos os funcionários, bem como o aprimoramento dos procedimentos e a eliminação dos problemas na origem, ao invés de lidar com seus efeitos (KOSKELA, 1992).

Buscar a melhoria contínua (*kaizen*), de forma gradativa e suave ao longo do tempo, é um processo que tem início, porém sem fim definido, explicitam Heineck et al. (2009).

- Balancear melhoria do fluxo com melhoria da conversão

Para Koskela (1992), tanto a conversão quanto o fluxo devem ser abordados na melhoria das atividades produtivas. Para qualquer processo de produção, quanto maior sua complexidade, maior o impacto da melhoria do fluxo e quanto mais perdas referentes ao processo de produção, mais rentável é a melhoria no processo de conversão. Desta forma, reitera-se a importância de complementar a melhoria do fluxo com a da conversão e não as sobrepor, potencializando o objetivo principal de melhorar as atividades produtivas.

Heineck et al. (2009) explicam o objetivo de Koskela ao recomendar este princípio: os praticantes da construção enxuta tendem a focar somente na melhoria dos fluxos, porém é preciso também melhorar a execução, os materiais, os equipamentos e a mão de obra, ou seja, a conversão.

- *Benchmarking*

O princípio de *Benchmarking* permite encontrar falhas lógicas fundamentais nos processos. Conhecer o processo, os concorrentes, copiar, modificar ou incorporar melhorias

práticas, além de obter superioridade, combinando os pontos fortes da empresa com as melhores práticas externas, são estes os passos que compõem o princípio (KOSKELA, 1992).

Heineck et al. (2009) descrevem *benchmarking* como sendo o processo de buscar os melhores procedimentos para cada etapa de produção e tomá-los como base, adaptando à realidade da empresa. Esses referenciais podem ser encontrados em outros setores internos ou externamente em outras empresas que tenham níveis de excelência no procedimento almejado.

3.5 O MODELO TFV (TRANSFORMAÇÃO-FLUXO-VALOR)

Ampliando as discussões sobre os conceitos e princípios da construção enxuta, Koskela apresentou, nos anos 2000, um modelo de produção denominado de teoria TFV.

Segundo Koskela (2000), uma análise histórica revela que há três conceitos de produção, que são descritos da seguinte forma:

- 1º conceito: A produção é vista como uma transformação ou conversão de entradas para saídas. É o conceito de Transformação (T). Nele, os processos de conversão podem ser decompostos em subprocessos. O foco é reduzir o custo desses subprocessos e aumentar o desempenho das tarefas. Esta é uma visão sensata da produção, que pode ser observada tanto na prática quanto na teoria.
- 2º conceito: A produção é vista como um fluxo (F), além da conversão há espera, inspeção e movimentação. A variabilidade tem grande influência no comportamento destes fluxos. O foco é diminuir as atividades de não-conversão do fluxo da produção. O triunfo do *Just-in-time* e da produção enxuta prova este conceito.
- 3º conceito: A produção é vista como um meio para satisfazer as necessidades dos clientes. É o conceito de Valor (V). O foco é traduzir essas necessidades e considerá-las no projeto e, após, produzir conforme as especificações deste projeto. É um ponto de vista defendido pelo movimento da qualidade há muito tempo.

Koskela (2000) afirma que os três conceitos de produção não podem ser vistos como alternativos ou concorrentes entre si, mas sim como conceitos complementares, cada um deles abordando diferentes aspectos do fenômeno da produção. O conceito de transformação é responsável pelas conversões que agregam valor, o conceito de fluxo pelas atividades que não

agregam valor e o conceito da geração de valor pelo controle da produção ao ponto de vista do cliente.

É válido destacar a importância que Koskela (2000) teve em demonstrar como os conceitos se interagem, influenciando uns aos outros (Quadro 1).

Quadro 1: Interação entre fenômenos cobertos por diferentes conceitos de produção.

INTERAÇÃO	Impacto em T	Impacto em F	Impacto em V
Impacto de T em outro conceito	X	Tecnologia de transformação mais cara irá prover menor variabilidade	Entradas mais caras contribuem para uma melhor produção
Impacto de F em outro conceito	Fluxos com menor variabilidade requerem menos capacidade	X	Sistema de produção mais flexível permite a satisfação de mais modelos de demanda variável. Sistema de produção com menos variabilidade interna é capaz de produzir produtos de alta qualidade.
Impacto de V em outro conceito	Mais padrões de demanda variável impedem benefícios de escala e alta utilização.	Boas relações entre cliente interno e fornecedores contribuem para a redução de perdas.	X

Fonte: Koskela (2000).

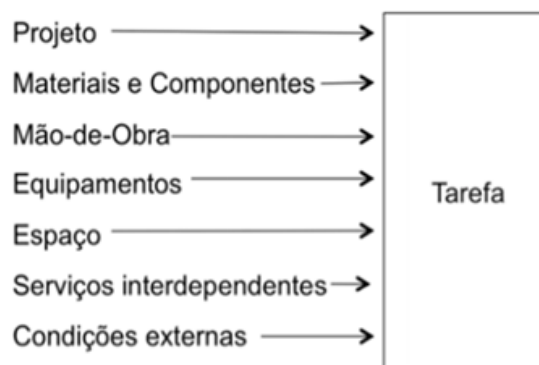
3.5.1 As Condições Prévias para Execução de uma Tarefa

Koskela (2000) frisa que as peculiaridades da construção têm um impacto dramático sobre as características dos seus fluxos, devendo-se realizar uma análise detalhada para que se possa discernir sobre quais as implicações causadas por essas peculiaridades e as possíveis medidas de solução. Como tratado no subcapítulo 2.1, o referido autor agrupa as peculiaridades significativas da construção em três categorias: natureza única do projeto, produção local e organização temporária.

As condições prévias para a execução de uma tarefa de construção (Figura 10) são apresentadas por Koskela (2000). O referido autor as conceitua como sendo no mínimo sete fluxos de recursos (ou condições) que se unem para gerar a sequência de tarefas. É sabido que as peculiaridades da construção interferem nos fluxos da produção, inclusive nestes fluxos de recursos, causando alta variabilidade e aumentando a probabilidade de que uma entrada esteja em falta.

Muitos são os exemplos práticos do problema relacionado às condições prévias para a execução de uma tarefa. No dia a dia da construção, estas situações são tão comuns que parecem até fazer parte natural do processo. Koskela (2000) cita como exemplos: o início de uma tarefa sem todos os projetos necessários; durante a execução pode-se identificar erros de projetos ou de peças pré-fabricadas; as condições externas (intempéries) são uma fonte específica de variabilidade; a produtividade do trabalho manual é inerentemente variável; a disponibilidade de espaço e trabalhos interligados dependem do andamento das tarefas anteriores, ficando sujeitos à variabilidade decorrente de possíveis atrasos.

Figura 10: Atividades que contribuem para a melhoria dos processos construtivos.



Fonte: Koskela (2000).

Para Koskela (2000), a construção consiste em tarefas de montagem envolvendo um elevado número de fluxos de entrada. Diante disto, é um desafio do planejamento e do controle da produção impedir que faltem insumos nas estações de trabalho, evitando, deste modo, a parada das tarefas.

No entanto, o autor supracitado afirma que é natural no contexto da construção que as tarefas sejam iniciadas ou continuadas sem todas as condições prévias atendidas. Logo, o trabalho é realizado em condições subótimas, com menor produtividade. Este tipo de perda, segundo Koskela (2000), não está presente na lista clássica das sete perdas do STP, sendo denominado *making-do*. Mas de fato, quais as principais características deste oitavo tipo de perda? Estes assuntos são discutidos a seguir.

3.6 O MAKING-DO

Em seu trabalho intitulado “*Making-do: The Eight Category of Waste*”, Koskela (2004) afirma existir uma perda de comum ocorrência que pode ser vista como uma oitava categoria de perda, em adição à lista das sete perdas do STP. Esta oitava categoria de perda é denominada pelo autor de *making-do*.

Segundo Koskela (2004), existem três fontes de inspiração que baseia seu ponto de vista:

- A primeira, parte da colocação de Ballard et al. (1992) apud Koskela (2004) sobre os requisitos do controle da produção. Eles defendem que as tarefas têm de ser preparadas (pré-requisitos e recursos disponíveis para execução) antes de serem levadas a um plano de trabalho semanal, ou seja, que todas as entradas e pré-requisitos da tarefa devam existir com antecedência.
- A segunda base do *making-do* vem da discussão empírica, realizada por Koskela (2000), sobre o trabalho realizado em condições subótimas ou inadequadas, sendo classificado como uma das mais importantes perdas na construção. Esta teorização ocorreu no subcapítulo anterior.
- A terceira base do *making-do*, parte do estudo de Ronen (1992) que apresenta o método do *Kit Completo* (KC).

Ronen (1992) foi o precursor do conceito da importância de se iniciar um processo numa linha de produção somente quando todos os recursos estão disponibilizados, ou seja, quando se tem um *kit* completo. Este *kit* inclui os componentes, ferramentas, projetos e informações necessários para a execução de uma tarefa. Sendo assim, caso um deles falte no início ou no decorrer desta tarefa, leva-se a diminuição da produtividade, aumento do tempo de ciclo, maiores quantidades de trabalho em progresso, diminuição da qualidade, dificuldades de controle, dentre outras interferências negativas (RONEN, 1992).

Para Koskela (2004), Ronen analisou as causas e impactos do *making-do*, ainda sem usar este nome, como um problema genérico nas operações gerenciais.

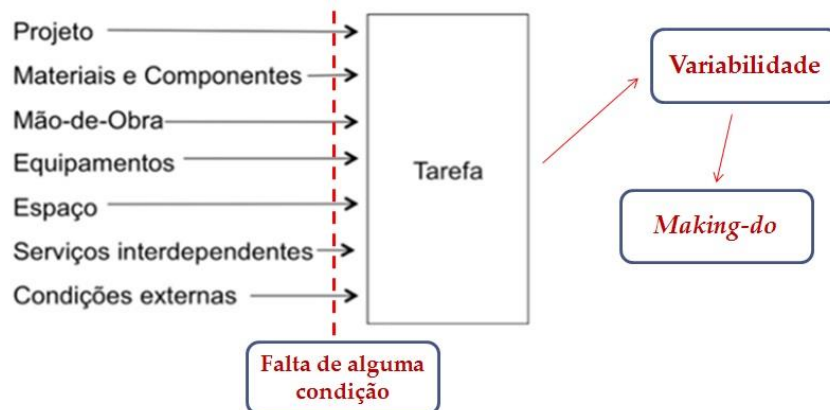
Mas por que o KC não é usado em todas as situações, já que seus benefícios são tão claros? Este é um importante questionamento quanto às possíveis causas do *making-do* que Ronen (1992) apresenta em seu trabalho. O referido autor propõe respostas, algumas delas citadas abaixo:

- a) Síndrome da eficiência: seria a busca pelo uso máximo dos trabalhadores e recursos.
- b) Pressão por uma resposta imediata: o cliente pressiona o fabricante para iniciar o trabalho, mesmo sem que o *kit* esteja completo. Para Koskela (2004) há uma crença comum de que, começando uma tarefa cedo, mesmo com o *kit* incompleto, ela será finalizada mais cedo. Outra motivação seria iniciar o trabalho apenas para obter o trabalho (aparentar trabalho).
- c) Informação imprecisa dos materiais requeridos durante o planejamento.

A partir de todo esse embasamento teórico, Koskela (2004) propõe a perda por *making-do*, ocorrendo quando uma tarefa é iniciada sem que todos os itens necessários para a sua realização (máquinas, ferramentas, pessoal, condições externas, instruções, etc.) estejam disponíveis, acarretando numa diminuição do ritmo produtivo.

Sommer (2010) relaciona o conceito de perdas por improvisação (*making-do*) com a gestão dos pré-requisitos necessários para uma tarefa, discutido no item 3.5.1. Desta forma, a autora salienta que, para não ocorrerem estas improvisações, faz-se necessário que haja condições mínimas para início, desenvolvimento e término das tarefas, garantidas pela identificação e remoção dos seus pré-requisitos. A Figura 11, ilustra esta relação e mostra os fatores que levam à ocorrência do *making-do*.

Figura 11: Fatores que levam à ocorrência do *Making-do*.



Fonte: O autor (2017).

Para a referida autora, o *making-do* é fundamentalmente causado pelo fenômeno da variabilidade na produção, como mostra a Figura 11. Ela ainda complementa, afirmando que a

incerteza no fluxo de vários recursos necessários para uma determinada tarefa leva à frequente ocorrência desta situação no ambiente da construção.

Koskela (2004) afirma que o *making-do* e o *buffer* têm um contexto em comum: ambos acomodam a variabilidade e seu impacto na produção. Porém, a ocorrência do *buffer* significa que há uma espera de materiais ou de mão de obra para que haja um processamento, já no *making-do* há um processamento iniciado antes mesmo da disponibilidade total dos recursos.

As consequências do *making-do* são divididas em duas áreas: técnica e comportamental (KOSKELA, 2004). As consequências comportamentais incluem baixa motivação do trabalhador e diminuição dos esforços para garantir a chegada dos itens em falta (RONEN, 1992). Já nas consequências técnicas, destaca-se o aumento do tempo de processamento e sua variabilidade causados pelo *making-do*. O aumento da variabilidade leva ao aumento do trabalho em progresso e a um maior tempo de ciclo. Além disto, há também a queda na qualidade e o acréscimo de retrabalhos (KOSKELA, 2004).

Entretanto, Machado (2003) e Santos (2004), antes da definição do termo *making-do* por Koskela (2004), destacaram a importância da análise de restrições para planejar e antecipar os recursos necessários para a execução e continuidade da tarefa, utilizando, para isto, conceitos essenciais como antecipações gerenciais, boas práticas e interrupção do trabalho.

4 A VISÃO ENXUTA DO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

4.1 DEFINIÇÃO DO PLANEJAMENTO DE OBRAS

Pode-se conceituar o planejamento, conforme Ackoff (1976) apud Bernardes (2001), como sendo a definição de um futuro esperado e os meios eficazes para alcançá-lo. Bernardes (2001) conclui, a partir desta definição, que a tomada de decisão está intimamente relacionada com o planejamento, pois é este que possibilita o cumprimento das metas estabelecidas nos planos.

Segundo Mattos (2010), o processo de planejamento e controle tem papel fundamental nas empresas, pois impactam diretamente no desempenho da produção. O autor supracitado complementa afirmando que deficiências nestes processos ocasionam baixa produtividade, perdas e pouca qualidade do produto.

Alves (2000) define o planejamento como um processo complexo que produz diretrizes para gerenciar a produção. Para isto, determina o que deve ser feito e como, a forma e sequência de execução, de modo que sejam as mais eficientes possíveis, além de identificar restrições, recursos necessários para realizar uma atividade e seu custo para a empresa.

Boni et al. (2014) salientam que o planejamento tradicional na construção tende a ser direcionado para o desempenho global do empreendimento, deixando de lado as especificidades de cada unidade produtiva. Para os referidos autores, as incertezas e variabilidades que são negligenciadas ao longo do processo fazem surgir deficiências na utilização de recursos e no cumprimento das metas planejadas.

A incerteza e a variabilidade são endêmicas a todos os sistemas de produção, inclusive no ambiente da construção. Neste sentido, o estabelecimento de um fluxo de trabalho consistente que reduza estes dois fatores é objeto de estudo de pesquisadores da indústria, como salienta Hamzeh et al. (2008).

Seguindo esta linha, Alves (2000) discute a importância do planejamento no combate à variabilidade e à incerteza na produção. Segundo a autora supracitada, deve-se preparar o ambiente da produção para conviver com a incerteza, visando não prejudicar as atividades. Ela afirma ser necessário que exista um planejamento baseado em dados da produção e da cadeia de fornecedores, visando a antecipação de problemas, sendo esta uma forma de lidar com a variabilidade.

4.2 DIMENSÕES DO PLANEJAMENTO DE OBRAS

O processo de planejamento pode ser representado nas dimensões horizontal e vertical. A dimensão horizontal representa as etapas de realização do processo de planejamento e controle, já a vertical representa a forma que essas etapas são vinculadas entre os níveis gerenciais de uma organização (LAUFER; TUCKER, 1987 apud BERNARDES, 2001).

A dimensão horizontal do planejamento é dividida em cinco fases distintas: planejamento do processo de planejamento; coleta de informação; preparação dos planos; difusão da informação; avaliação do processo de planejamento. Já a dimensão vertical do planejamento é composta por três níveis: estratégico, tático e operacional (HOPP; SPEARMAN, 1996).

A escala de tempo interfere nas decisões a serem tomadas no ambiente organizacional, fazendo-se necessário estabelecer diferentes horizontes de tempo para o processo de planejamento e controle da produção, que variem conforme os níveis e tipo de organização (HOPP; SPEARMAN, 1996).

No nível estratégico são definidos os objetivos do empreendimento e suas respectivas estratégias, metas, prazo da obra e fontes de recursos. Já o nível tático tem como foco decisões relacionadas a um período intermediário, tais como: seleção e aquisição de recursos, programação e sequência em períodos pré-determinados. No nível operacional, ocorre a designação dos trabalhos para as equipes, exigindo uma programação detalhada da produção (ALVES, 2000; BERNARDES, 2001; COELHO, 2009).

Os conceitos da Construção Enxuta aplicados no planejamento e controle da produção resultam em ferramentas como o *Last Planner System*TM e a Linha de Balanço, que são comumente utilizados e auxiliam nestes processos. A seguir são tratados estes dois métodos.

4.3 O LAST PLANNER SYSTEMTM

Uma das melhorias na gestão adequada de projetos de construção foi a inclusão do conceito de fluxo de trabalho, tornando-o mais previsível durante o projeto e a execução, sendo o *Last Planner System*TM (LPS) a forma mais clara de tratar destes fluxos no sistema da produção, segundo Hamzeh e Aridi (2013).

O *Last Planner System*TM (LPS) é um sistema de planejamento e controle da produção desenvolvido por Glenn Ballard e Greg Howell, sendo implementado com sucesso em projetos de construção para aumentar a confiabilidade do planejamento, melhorar o desempenho da produção e criar um fluxo de trabalho previsível em face da elevada incerteza e variabilidade presentes no processo (HAMZEH et al., 2008).

Segundo Coelho (2009), este sistema foi desenvolvido com o intuito de se obter uma melhor adaptação às características da construção, paralelamente à Produção Enxuta. Além do LPS englobar ferramentas e técnicas de controle, também apresenta formas de planejamento que objetivam possibilitar melhores condições deste controle no empreendimento (BALLARD, 2000).

Hamzeh et al. (2008) descrevem a Porcentagem de Plano Concluído (PPC) como uma ferramenta do LPS que auxilia na previsibilidade da carga de trabalho futura e nos preparativos para executar o trabalho conforme planejado. Ela mede a porcentagem de tarefas concluídas em relação às planejadas.

Koskela (2000) cita cinco princípios básicos que podem ser identificados no LPS:

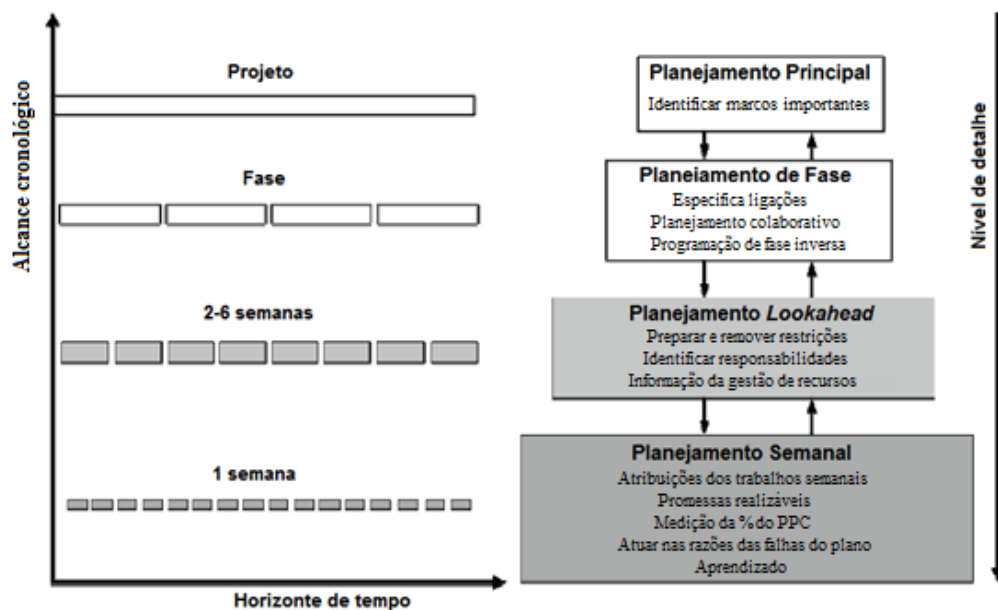
- As operações são caracterizadas pela solidez a respeito de seus pré-requisitos. É o conceito do *Kit Completo* de Ronen (1992), que tenta minimizar o trabalho em condições subótimas.
- A realização dos trabalhos é medida e monitorada utilizando o PPC, diminuindo o risco de propagação de variabilidade para fluxos e tarefas a jusante.
- As causas para a não realização de uma tarefa são investigadas e removidas, objetivando a melhoria contínua do processo.
- Deve-se manter um *buffer* de tarefas para cada equipe, pois caso uma tarefa seja impossível de realizar, a equipe pode mudar para outra.
- Na visão antecipada de planejamento (horizonte de 3 a 4 semanas), os pré-requisitos dos compromissos futuros devem estar preparados (sistema puxado).

Para Koskela (2000), o método do LPS facilita o planejamento da obra, evitando a propagação da variabilidade e suas penalidades desnecessárias. O referido autor complementa, afirmando que o método combina eficazmente controle e melhoria na luta contra a variabilidade e suas respectivas perdas.

O LPS compreende quatro horizontes de planejamento (Figura 12), detalhados por Hamzeh et al. (2008):

- Planejamento principal: é o planejamento de longo prazo. Descreve o trabalho realizado ao longo de toda duração do projeto. É composto por atividades globais relacionadas ao orçamento. Ele identifica datas marcantes e determina a duração geral do projeto;
- Planejamento de fase: é um cronograma detalhado que cobre cada fase do projeto, tais como: fundações, estrutura e acabamento. É um planejamento puxado, buscando a melhor maneira de cumprir as metas do planejamento principal;
- Planejamento *Lookahead*: é o planejamento de médio prazo. É o primeiro passo para o planejamento da produção, abrangendo entre duas a seis semanas. As atividades são divididas em nível de processos e operações, restrições são identificadas e responsabilidades são atribuídas;
- Planejamento de trabalho semanal: é o planejamento de curto prazo. É o plano mais detalhado, mostrando a interdependência entre os trabalhos. Ele dirige o processo de produção, fazendo atribuições confiáveis, assegurando que a unidade de produção vai ser protegida de incertezas do processo. No fim do plano, as revisões devem ser analisadas para medir a confiabilidade do sistema e realizar ajustes.

Figura 12: Níveis de planejamento do LPS.



Fonte: Hamzeh et al. (2008).

Hamzeh et al. (2008) estabelecem algumas orientações que devem ser seguidas, visando a melhor eficiência do LPS. Segundo os referidos autores, ao desenvolver um plano *lookahead*, deve-se manter as seguintes diretrizes para reforçar a compatibilidade entre ele o plano semanal:

- Analisar as restrições de materiais, informações e pré-requisitos do trabalho desde o início do plano, desenvolvendo um plano de remoção destas restrições. É desejável removê-las em torno de duas semanas antes da atividade de execução;
- No horizonte de quatro semanas do *lookahead*, devem-se atrasar tarefas que não estão confiantes para serem feitas a tempo;
- Atividades do *lookahead* são detalhadas perto da execução, a uma semana de início, sendo movidas para o plano de trabalho semanal.

4.4 A LINHA DE BALANÇO

A técnica de planejamento e controle mais apropriada quando o projeto é de natureza repetitiva é a Linha Ordinária de Balanço (LOB), por justamente tirar proveito desta repetição (MENDES JÚNIOR, 1999).

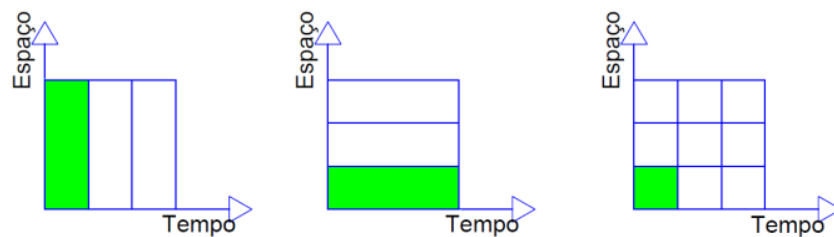
Segundo Monteiro et al. (2011), a Linha de Balanço representa de forma gráfica as atividades de um processo sequenciadas ao longo do tempo (casa, pavimento, apartamento, quilômetro de estrada), considerando a repetitividade das atividades de uma edificação. Para os referidos autores, isto permite ao engenheiro da obra visualizar melhor a sequência de execução das atividades, podendo levar à melhoria da qualidade e da produtividade no canteiro.

Na LOB, as atividades seguem ritmos de produção definidos, ou seja, a execução é balanceada. Desta forma, além de tornar a programação paralela, a técnica visa eliminar o desperdício de tempo entre o fim de uma atividade e o início de outra (MONTEIRO et al., 2011; MOURA; HEINECK, 2014).

Autores como Monteiro et al. (2011), Moura e Heineck (2014) e Isatto e Zuchetti (2014) demonstram em seus estudos a aplicação de características da construção enxuta na criação de linhas de balanço, tais como a visão do ciclo no tempo e espaço, visão do fluxo de execução, redução do tempo de ciclo, integração entre os níveis de planejamento, além de outras. A seguir são definidas as características mais relevantes para este trabalho, que são as relacionadas ao ciclo no tempo e espaço.

Moura e Heineck (2014) definem o ciclo como a repetição de atividades no tempo, espaço ou em ambos (Figura 13). A programação por linha de balanço é um bom exemplo disso, como pode ser observado na figura, a qual traz três situações hipotéticas para a execução de um serviço: na primeira, se há uma maior quantidade de trabalhadores em uma equipe, pode-se executar a atividade em menos tempo; na segunda situação, se há equipes pequenas, executa-se em um maior tempo; já na terceira situação, é apresentado um balanceamento entre o tempo e espaço, que acontece quando há equipes simultâneas executando a mesma tarefa.

Figura 13: Formas de apresentação dos ciclos no tempo e espaço.



Fonte: Moura e Heineck (2014).

A redução do tempo de ciclo traz como benefício para o ambiente da construção a eliminação das atividades de fluxo, visando diminuir o tempo de entrega ao cliente final e tornar o controle dos processos menos complexo (MONTEIRO et al., 2011).

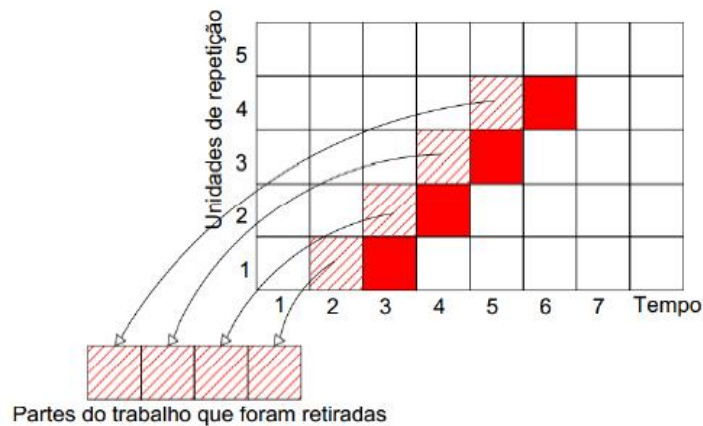
Neste sentido, Moura e Heineck (2014) afirmam que, a partir do conceito de ciclo, pode-se simplificar operações, diminuir as interfaces e operações, reduzir variabilidades, perdas e atividades que não agregam valor ao processo, além disto, auxiliar no preparo dos lotes no canteiro. A seguir serão detalhadas a simplificação das operações e a redução da variabilidade a partir da linha de balanço:

- Simplificação das operações

Como visto no tópico 3.4, simplificar as operações é reduzir o número de componentes de um produto ou o número de partes em um fluxo de materiais, ou seja, diminuir interfaces, juntas e ligações entre processos. Uma maneira de alcançar a simplificação é pela externalização do processo produtivo, montando-se partes da estrutura fora do canteiro, sendo entregues no momento da utilização indicado pela linha de balanço (FIGURA 14) (ISATTO et al., 2000; MOURA; HEINECK, 2014).

A Figura 14 exemplifica a diminuição do tempo de ciclo através da simplificação das operações, neste caso, obtida pela externalização do processo, em que partes do trabalho são feitas fora do canteiro.

Figura 14: Externalização do processo de produção.



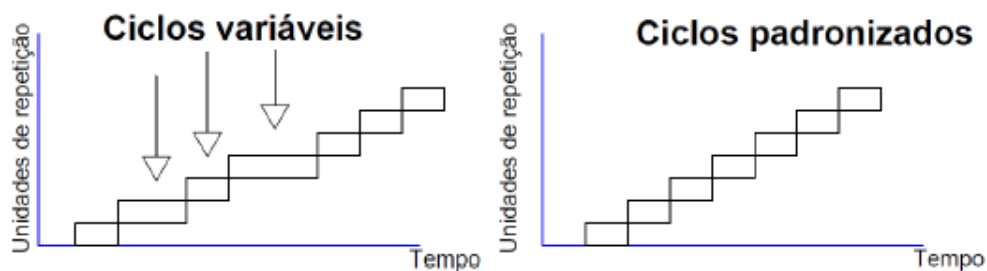
Fonte: Moura e Heineck (2014).

- Redução da variabilidade

Moura e Heineck (2014) demonstram como a redução da variabilidade no processo de produção de edifícios pode ser alcançada pelo uso da linha de balanço.

Existe um tipo específico de variabilidade (ISATTO et al., 2000) – do próprio processo – que está relacionado com o tempo de execução de uma determinada atividade. Esta variabilidade pode ser resolvida a partir da padronização dos ciclos na programação por linha de balanço, como mostrado na Figura 15.

Figura 15: Variabilidade no processo e padronização dos ciclos.



Fonte: Moura e Heineck (2014).

5 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Sabbatini (1989) afirma que há uma ambiguidade considerável quanto ao significado dos termos: técnica; método; processo; sistema construtivo. Isto gera uma indefinição conceitual, levando os autores a usar diferentes termos para tratar de uma mesma coisa.

Dada a questão, é importante que estas terminologias sejam definidas, objetivando padronizar o conceito e o tratamento das mesmas neste trabalho. A seguir, é apresentada uma breve descrição de cada um destes termos, baseada em Sabbatini (1989):

- Técnica Construtiva: conjunto de operações empregadas por um ofício para produzir uma parte da construção. Ex.: elevação de parede, reboco, montagem de fôrma.
- Método Construtivo: conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de parte de uma edificação. Ex.: executar a vedação empregando as técnicas de elevação da parede, reboco, pintura.
- Processo Construtivo: modo organizado e bem definido de se construir um edifício. Caracteriza-se pelo particular conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura e vedações da edificação. Ex.: processo construtivo convencional que emprega os métodos de execução da estrutura de concreto armado e da alvenaria de vedação.
- Sistemas Construtivos: um sistema de produção tem um grau de complexidade muito maior que um processo de produção, pois ele deve possuir inter-relações bem definidas entre suas partes. Para Hed (1981) apud Sabbatini (1989), a descrição de um sistema precisa conter informações sobre seus níveis, componentes internos e externos e suas relações, bem como suas propriedades. Segundo Sabbatini (1989), vários autores defendem que o termo sistema construtivo deve ser empregado para identificar processos mais industrializados ou formas de construção mais avançadas.

Os problemas na construção ainda são comuns, porém houve um avanço quanto aos processos construtivos empregados, sobretudo visando a racionalização e compatibilização de projetos.

Neste sentido, para efeito de simplificação, o conceito de sistema construtivo empregado neste trabalho será: o Sistema Construtivo é um processo construtivo organizado e racionalizado, constituído por um conjunto de métodos construtivos inter-relacionados, integrados e bem resolvidos.

Dentre os sistemas construtivos mais usuais e que serão focos de análise desta pesquisa, podem-se citar: o de estrutura de concreto armado com vedação em alvenaria; a alvenaria estrutural e; o sistema de paredes de concreto moldadas no local. Eles abrangem um conjunto de métodos construtivos comumente empregados e que se interagem de maneira peculiar em cada um destes sistemas.

Nos próximos subcapítulos, estes três sistemas serão brevemente detalhados.

5.1 CONCRETO ARMADO COM VEDAÇÃO EM ALVENARIA (CAVA)

5.1.1 Definições

O sistema construtivo de concreto armado com vedação em alvenaria (CAVA) ainda é a alternativa mais adotada para a construção de edifícios de múltiplos pavimentos, por este motivo, recebe a denominação de convencional. No Brasil por ser amplamente utilizado, apresenta mão de obra familiarizada e abundante (PEDREIRA DE FREITAS, 2016).

O sistema convencional oferece soluções estruturais que podem ser escolhidas de acordo com o custo esperado da obra e características da edificação, podendo ser utilizadas lajes e vigas reticuladas, lajes planas, lajes nervuradas, dentre outras. Isto permite adaptações às diversas soluções arquitetônicas e condições de execução disponíveis (PEDREIRA DE FREITAS, 2016).

A flexibilidade deste sistema pode ser atribuída, em parte, ao seu principal componente, o concreto armado.

Segundo Allen e Iano (2013), as estruturas de concreto moldadas no local tendem a ser mais pesadas que outros tipos de estruturas, podendo levar à escolha de outras soluções, como o concreto pré-moldado ou o aço. O ritmo de construção deste sistema tende a ser lento, sobretudo quando o concreto é moldado no canteiro, pois cada nível do edifício deve passar pelas etapas de montagem de forma, armaduras, lançamento e cura do concreto e desforma, fechando-se o ciclo da estrutura de um pavimento.

Comumente é empregada a alvenaria de vedação, utilizando-se blocos cerâmicos ou de concreto. A técnica é umas das mais simples, mantendo-se atualizada e competitiva economicamente, desde que seja racionalizada. Não necessita de muitas ferramentas, mão-de-

obra qualificada ou recursos tecnológicos. Porém, ainda é sinônimo de alto desperdício, principalmente, quando é utilizado o bloco cerâmico (ALLEN; IANO, 2013).

As principais etapas deste sistema serão explicadas mais detalhadamente a seguir. Dentre elas, serão focadas as correspondentes à estrutura e à vedação, pois são as que mais caracterizam o sistema.

5.1.2 Etapas

- Execução dos pilares

O ciclo de um pavimento inicia-se com a execução dos pilares. A armadura do pilar é montada e içada ao local, sendo alocada e emendada na espera (continuação da armadura do pilar inferior que transpassa a laje). Após isto, as fôrmas do pilar são montadas. Elas geralmente são caixas de madeira compensada ou painéis compostos, tubos cilíndricos de aço ou plástico. A seguir os pilares são concretados, montando-se estruturas de andaimes ou utilizando a fôrma semipronta da laje (YAZIGI, 2009; ALLEN; IANO, 2013).

- Execução das vigas e lajes

Estando os pilares concretados, prossegue-se para execução das vigas e laje. Inicialmente, são montadas as fôrmas das vigas, e após, das lajes. Elas são sustentadas por elementos temporários (barrotes e vigas) de metal ou madeira, sendo escorados temporariamente, por peças de madeira ou de metal (com nível regulável). As fôrmas geralmente são projetadas por engenheiros estruturalistas, de modo a sustentar o alto peso do concreto plástico, garantindo a integridade e segurança dos trabalhadores, além de evitar o surgimento de variações dimensionais devido a falhas de contenção (YAZIGI, 2009; ALLEN; IANO, 2013).

Deve-se utilizar um desmoldante, para que a desforma ocorra mais facilmente, preservando a peça de concreto e garantindo a integridade e reaproveitamento da fôrma. Analogamente ao procedimento de execução dos pilares, a armadura das vigas é posicionada nas fôrmas, apoiada em espaçadores que garantam o cobrimento do concreto conforme o projeto. Após isto, é montada a armadura da laje. Realizada a inspeção das armaduras, o lançamento do concreto pode ser iniciado. Após isto, a superfície da laje é acabada por

desempeno, sendo submetida ao processo de cura úmida (YAZIGI, 2009; ALLEN; IANO, 2013).

- Desforma

A última etapa do ciclo estrutural de um pavimento é a desforma. Ela ocorre quando as lajes e vigas tenham atingido resistência suficiente para sua própria sustentação. Trechos das fôrmas são retirados e suas respectivas escoras, deixando apenas faixas de escoramento, que irão permanecer por um tempo maior, até que o elemento estrutural atinja a resistência total esperada. Estas fôrmas e escoras retiradas são movidas para a montagem da próxima etapa da estrutura, repetindo-se assim o ciclo estrutural.

- Alvenaria de vedação

Concretada a estrutura de um pavimento, desde que já se tenha a resistência total esperada, pode-se iniciar a elevação da alvenaria. As paredes devem ser moduladas para facilitar o uso de componentes inteiros. Sua execução é simples, porém, para evitar erros, devem ser verificados o prumo e o nível das fiadas constantemente. A alvenaria deve ser interrompida abaixo das vigas ou lajes. Este espaço só deve ser preenchido após sete dias e depois que a alvenaria do pavimento superior tenha sido executada. Esta técnica, chamada de encunhamento, possibilita que a estrutura se acomode devido ao acréscimo das cargas, evitando o trincamento das paredes (YAZIGI, 2009).

- Demais serviços

Existem muitos outros serviços que englobam este sistema construtivo e que são também comuns a outros sistemas. Após a execução da alvenaria, ocorre a execução das instalações (elétricas, hidráulicas, sanitárias). Nestas operações, comumente, é necessário fazer rasgos na alvenaria para que seja executada a instalação específica. Uma alternativa, para isto, é o uso dos *shafts*. Além das instalações, é executado o revestimento das paredes, pavimentação, cobertura, pintura, dentre outros serviços (YAZIGI, 2009; ALLEN; IANO, 2013).

5.1.3 Pontos positivos e negativos do sistema CAVA

O sistema construtivo de concreto armado com vedação em alvenaria, como discuto anteriormente, é um dos mais utilizados na construção. A seguir, com base em alguns autores (ALLEN; IANO, 2013; PEDREIRA DE FREITAS, 2016), serão discutidas as principais vantagens e desvantagens desta alternativa.

Dentre os pontos positivos, que levam este sistema a ser adotado frequentemente, pode-se listar:

- Alta flexibilidade arquitetônica: o sistema permite adaptações arquitetônicas, já que a estrutura é independente da vedação. Isto propicia maiores possibilidades de plantas para uma mesma edificação e modificações pós-ocupação, desde que a estrutura seja mantida.
- Projetos mais arrojados: a estrutura de concreto armado permite vãos maiores entre pilares, balanços e curvas no projeto. Estes fatores agregam valor ao empreendimento, justificando a escolha deste sistema para edificações de maior padrão. Tudo isto pode ser obtido utilizando-se fôrmas de madeiras – de baixo custo e reutilizáveis – ou metálicas.
- Mão de obra abundante: por ser um dos sistemas mais utilizados, há relativa facilidade de se encontrar mão de obra apta a trabalhar com esta tipologia construtiva.

Apesar dos aspectos positivos, que justificam a escolha desta tipologia em muitas situações, suas desvantagens são relevantes. Isto está abrindo frente para o crescimento da utilização de outros sistemas. Podem-se citar como aspectos negativos:

- Alto desperdício de materiais: é comum a constatação de retrabalho neste sistema. Pelo fato da alvenaria ter função somente de vedação, a qualidade de sua execução comumente é deixada em segundo plano. Isto implica no aumento de perdas e retrabalhos por falhas executivas. As fôrmas também são sujeitas a desperdícios pelo manuseio incorreto e falta de racionalização (projeto de fôrmas, de corte).
- Maior tempo de ciclo: a execução neste sistema é lenta. Além do ciclo estrutural ser lento, a vedação é feita em etapas posteriores, como por exemplo, a alvenaria e revestimento. Em outros sistemas, o ciclo além de ser mais rápido, pode englobar mais de um serviço.

- Maior número de especialidades de mão de obra: equipes de carpinteiros e armadores fazem-se necessárias em grande número, por conta da estrutura em concreto armado.

5.2 ALVENARIA ESTRUTURAL (AE)

5.2.1 Definições

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a técnica construtiva da alvenaria foi trazida ao Brasil pelos portugueses, ainda no século XVI. Porém, a alvenaria estrutural encontrou seu espaço recentemente, como sistema construtivo mais elaborado e voltado para a construção de edifícios mais econômicos e racionais. De acordo com os referidos autores, os primeiros edifícios brasileiros que empregaram este sistema foram construídos em São Paulo, no ano de 1966, utilizando-se blocos de concreto, com somente quatro pavimentos.

A utilização da alvenaria estrutural como sistema construtivo de edifícios residenciais parte de uma premissa interessante: transformar a alvenaria, convencionalmente com função exclusiva de vedação, na própria estrutura. Isto evita a necessidade da existência de pilares e vigas, que são os elementos de suporte na estrutura convencional (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Conforme Manzione (2007), é perceptível que neste sistema a alvenaria passa a ter duas funções (vedação e suporte para a edificação), implicando numa redução significativa da quantidade de etapas necessárias e do tempo de execução, já que toda a estrutura convencional é eliminada.

Para Tauil e Nese (2010), a alvenaria estrutural (AE) proporciona vantagens significativas em termos de racionalização da construção, comparando-se com processos convencionais, desde que seja empregada de forma correta. Entretanto, Ramalho e Corrêa (2003) salientam que a alvenaria deve ter a resistência bem controlada, demandando a utilização de materiais mais caros e uma execução mais cuidadosa, o que eleva o custo de produção em relação à execução da alvenaria de vedação.

Dentre as normas brasileiras da ABNT que regulam a construção da alvenaria estrutural, destacam-se:

- NBR 15812-1 (Alvenaria estrutural – blocos cerâmicos Parte 1: Projeto) (ABNT, 2010a).

- NBR 15812-2 (Alvenaria estrutural – blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras) (ABNT, 2010b).
- NBR 15961-1 (Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 1: Projeto) (ABNT, 2011a).
- NBR 15961-2 (Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras) (ABNT, 2011b).

Ramalho e Corrêa (2003) definem alguns componentes básicos empregados na execução da alvenaria estrutural:

- Unidades (blocos estruturais): principais responsáveis pela definição das características de resistência da estrutura. Podem ser unidades de concreto, cerâmica ou sílico-calcárias. São encontradas na forma de blocos maciços (tijolos) ou vazados (blocos).
- Argamassa de assentamento: tem função de solidarizar as unidades, absorver pequenas deformações, transmitir e uniformizar as tensões e prevenir a passagem de água e vento.
- Graute: concreto fluído, constituído por agregados de pequenas dimensões. Tem função de preencher os vazios dos blocos em situações específicas, objetivando o aumento da seção transversal ou a solidarização dos blocos com o uso de armaduras. Permite o aumento da resistência da alvenaria à compressão ou, com o uso desta armadura, o combate à tração, já que por si só, a alvenaria não tem esta característica.
- Armaduras: como explicado anteriormente, as armaduras são usadas juntamente com o graute, ou são colocadas nas juntas das argamassas de assentamento. Têm a finalidade de possibilitar à alvenaria a resistência à tração.

5.2.2 Etapas

As principais etapas deste sistema são explicadas a seguir.

- Elevação da alvenaria

Esta etapa pode ser considerada como o início do ciclo de um pavimento, que engloba vários serviços (estrutura, vedação, execução de instalações), diferentemente do sistema

construtivo convencional, em que estes serviços ocorrem em ciclos e momentos distintos (RAMALHO; CORRÊA, 2003; MANZIONE, 2007).

A elevação da alvenaria inicia-se com a marcação da primeira fiada, que deve ser acompanhada de um projeto específico para esta etapa. Esta etapa ocorre tanto para a alvenaria estrutural quanto para a de vedação. Após isto, segue-se para a execução das demais fiadas, sendo importante ter disponíveis os projetos de produção (paginação da alvenaria e demais detalhamentos), além dos projetos complementares das instalações.

É nesta etapa que ocorre de forma concomitante a execução das instalações elétricas e hidráulicas, por exemplo. Segundo Manzione (2007), isto é necessário, pois as paredes estruturais não podem ser rasgadas, devendo estar previsto em projeto os caminhamentos das instalações. As tubulações hidráulicas devem preferencialmente correr por *shafts*. Já os conduítes elétricos devem passar por entre os furos dos blocos. Estes cuidados diminuem a interferência das tubulações com a alvenaria, além de manter a integridade estrutural das paredes.

Para Manzione (2007), outra operação que ocorre concomitante à elevação é o grauteamento dos pilaretes, cintas, vergas e contravergas.

- Execução da laje

Finalizada a execução da alvenaria de um pavimento, a próxima etapa é a execução da laje. Geralmente, a esta etapa é análoga ao método convencional, que ocorre a partir da montagem das formas devidamente escoradas, sendo alocadas as armaduras de acordo com especificação de projeto. Após isto, o concreto é lançado e submetido ao processo de cura úmida (YAZIGI, 2009; ALLEN; IANO, 2013).

A vantagem em relação ao método convencional é a diminuição do uso de peças de escoras, já que, na alvenaria estrutural, as paredes servem como parte do escoramento das fôrmas da laje.

- Demais serviços

A execução dos demais serviços ocorre de forma análoga ao método convencional, exclusas as instalações que são executadas concomitantes à elevação da alvenaria, desde que o

sistema seja racionalizado e siga conforme o planejado (RAMALHO; CORRÊA, 2003; YAZIGI, 2009).

Por consequência da função estrutural da alvenaria, são puxados deste sistema maior racionalização e controle de qualidade durante sua execução. Isto influi positivamente na diminuição de perdas e de retrabalho em outros serviços a montante. Por exemplo: haverá diminuição de perdas no reboco, desde que as paredes estejam devidamente aprumadas e no esquadro; haverá a diminuição de retrabalho com o preenchimento dos rasgos nas paredes para a passagem de instalações, desde que as mesmas tenham sido passadas concomitantes à elevação da alvenaria.

5.2.3 Pontos positivos e negativos do sistema AE

Autores como Ramalho e Corrêa (2003) e Manzione (2007) discutem as vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural em relação ao sistema construtivo de concreto armado. A seguir são apresentados os principais pontos da discussão.

Dentre as características que podem ser consideradas como pontos positivos do sistema, as principais são:

- Economia de fôrmas e de aço: a utilização de fôrmas é reduzida, limitando-se às necessárias para a concretagem das lajes. A redução da quantidade de aço também é observada, já que não há pilares e vigas (RAMALHO; CORRÊA, 2003; MANZIONE, 2007).
- Redução significativa nos revestimentos: a utilização de materiais de melhor qualidade e controlados, além do maior controle executivo, levam a menos desvios e variabilidades na alvenaria, contribuindo para a redução do revestimento (RAMALHO; CORRÊA, 2003).
- Diminuição nos desperdícios de material e mão de obra: o sistema não admite rasgos posteriores nas paredes para a colocação das instalações. Isto diminui as possibilidades de improvisações e desperdícios. Além disto, há a diminuição de retrabalho, aumento da produtividade e redução do prazo de execução da estrutura (RAMALHO; CORRÊA, 2003; MANZIONE, 2007).

- Redução do número de especialidades de mão-de-obra: equipes de carpinteiros e armadores são eliminadas ou reduzidas, já que a estrutura em concreto armado é mínima (MANZIONE, 2007).

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), apesar das vantagens serem relevantes, a alvenaria estrutural apresenta pontos negativos em relação ao sistema convencional, tais como:

- Baixa flexibilidade arquitetônica: já que as paredes são parte da estrutura, as possibilidades de adaptação são limitadas, gerando um sério problema durante a vida útil do edifício, pois, é comum que os moradores façam adaptações ao decorrer dos anos (RAMALHO; CORRÊA, 2003).
- Limitações estruturais: o tamanho dos vãos não pode ser muito grande, além disto, os balanços não são recomendáveis por necessitar de um índice maior de armadura para combater os esforços, prejudicando a economia da obra. Outra restrição é a altura da edificação, que não deve ultrapassar 16 pavimentos (MANZIONE, 2007).
- Necessidade de mão de obra qualificada: por necessitar de uma execução com mais qualidade, a alvenaria estrutural necessita de uma mão de obra apta a trabalhar com instrumentos adequados e empregar técnicas corretas de execução (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

5.3 PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL (PCML)

5.3.1 Definições

Segundo Misurelli e Massuda (2009), o sistema construtivo de paredes de concreto oferece produtividade, qualidade e economia em escala, por ter a característica de ser altamente racionalizado.

De acordo com os autores supracitados, o método foi derivado de experiências de sucesso de construções industrializadas em concreto celular e concreto convencional, que eram utilizadas em todo mundo nas décadas de 1970 e 1980, porém, não sendo difundidas no Brasil. Com o crescimento recente do mercado imobiliário, o sistema de paredes de concreto aparece como uma alternativa para produção de habitações em escala.

O sistema é baseado na moldagem em concreto armado de lajes e paredes maciças com tela metálica ao centro. Seu processo de produção permite o controle dimensional e um resultado final adequado para a obtenção de superfícies aptas a receber diretamente o acabamento (SILVA, 2011).

O material utilizado para a construção das fôrmas varia conforme as necessidades do projeto, podendo ser constituídas de madeira compensada, painéis plásticos ou metálicos. Pequenas barras metálicas, chamadas de tensores, são utilizadas para manter as fôrmas na posição, sob a pressão que o concreto plástico exerce. Elas são inseridas em orifícios da fôrma e travadas por elementos de fixação de um lado a outro da parede de concreto, sendo retirados na desforma (ALLEN; IANO, 2013).

Arêas (2013) afirma que a viabilidade do sistema de paredes de concreto se dá pelo reduzido tempo de execução, já que as paredes e lajes são concretadas com todos os itens de instalação predial posicionados, em apenas um ou dois dias, dependendo da área do pavimento. Para Corsini (2011), o custo da fôrma é um dos pontos cruciais do sistema, mas por geralmente serem feitas de liga de alumínio, garante-se alta reutilização (de 500 a 2000 vezes), fazendo com que esse custo seja absorvido em relação à redução do valor por metro quadrado.

A norma brasileira que regulamenta o sistema de paredes de concreto moldadas no local tem publicação recente, entrando em vigor no ano de 2012. A NBR 16.055 (Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações – Requisitos e Procedimentos) normatiza o dimensionamento e execução do sistema (ABNT, 2012), preenchendo uma lacuna da ausência de regulamentação de cerca de 30 anos no Brasil (CORSINI, 2011).

5.3.2 Etapas

As principais etapas deste sistema consistem em:

- Marcação e colocação das telas de aço

Estando uma laje concretada, inicia-se o ciclo de execução das paredes de concreto de um pavimento. Os eixos centrais das paredes são marcados conforme projeto específico, após isto ocorre a colocação das telas de aço considerando a altura da parede e da laje, de acordo com o projeto estrutural. Estas telas são fixadas em arranques, constituídos por barras de aço engastadas na laje. São feitos cortes nos locais de vãos de portas e janelas, assim como, são colocados os reforços de aço necessários (SILVA, 2011).

- Execução de instalações e fôrmas

Depois de fixadas as telas de aço, inicia-se a colocação de algumas partes das instalações elétricas e hidráulicas que são embutidas nas paredes, tais como as caixas elétricas e os conduítes. Caso haja tubulações hidráulicas embutidas, o procedimento também é executado nesta etapa, porém é preferível que este tipo de instalação passe externamente à parede para facilitar manutenções (SILVA, 2011; ARÊAS, 2013).

Executadas as instalações, são colocados os espaçadores nas telas e gabaritos de portas e janelas para garantir o vão previsto em projeto, permitindo assim que sejam fechadas as fôrmas. Há vários elementos que propiciam o travamento, estabilidade e segurança destas fôrmas quando lançado o concreto (SILVA, 2011; ARÊAS, 2013).

A fôrma da laje pode ser executada após o término da fôrma das paredes, possibilitando que os dois elementos possam ser enchidos juntos. Nesta etapa, ocorre a execução da armação e das instalações que passam pela laje (SILVA, 2011; ARÊAS, 2013).

- Concretagem

A concretagem é realizada geralmente com concreto autoadensável, não necessitando de adensamento mecânico, o que facilita o processo. Além disto, são utilizados concretos com alta resistência inicial, permitindo a desforma e acelerando o início do próximo ciclo. Desta forma, é encerrado o ciclo de um pavimento, que ao mesmo tempo engloba vários serviços: estrutura, vedação, instalações, revestimento (SILVA, 2011; ARÊAS, 2013; ALLEN; IANO, 2013).

- Demais serviços

Como dito anteriormente, a execução das paredes de concreto engloba vários serviços em um único ciclo. Depois de executadas, o produto final é munido de superfície adequada para que sejam executados os serviços de pintura e revestimento cerâmico, por exemplo. Isto permite a diminuição do tempo de execução total da edificação (YAZIGI, 2009; ARÊAS, 2013; ALLEN; IANO, 2013).

5.3.3 Pontos positivos e negativos do sistema PCML

Baseado em autores (Misurelli; Massuda, 2009; Silva, 2011), foram extraídas as principais características positivas e negativas deste sistema, sendo apresentadas abaixo.

Quanto aos aspectos positivos, pode-se observar:

- Exigência de racionalização da construção: pela rapidez executiva, o processo exige racionalização das etapas de projeto e execução, além de um planejamento detalhado. Isto resulta em maior produtividade, qualidade e economia em escala (MISURELLI; MASSUDA, 2009).
- Baixa exigência de especialização de mão de obra: não há necessidade de mão de obra especializada. Os operários são treinados para atuar como montadores para executar as tarefas de armação, instalações, montagem, concretagem e desforma (MISURELLI; MASSUDA, 2009). Isto diminui o custo com a contratação e a dificuldade de disponibilidade de mão de obra.
- Diminuição de perdas: o retrabalho, atividades improdutivas e desperdícios de materiais são diminuídos neste sistema, como consequência da execução planejada e padronizada. Por ter uma metodologia baseada em processos industrializados, há um monitoramento constante da execução e qualidade (MISURELLI; MASSUDA, 2009).
- Simplificação e eliminação de etapas construtivas: o processo de execução com paredes de concreto, como já discutido anteriormente, simplifica e elimina várias etapas executivas como revestimento, vedação e instalações. A estrutura de concreto armado convencional necessita de um esforço de produção 71% maior do que a estrutura de paredes de concreto, provando que a última requer uma quantidade de mão de obra menor do que a primeira (DAMIÃO et al., 2016).

Quanto às características do sistema, podem-se observar também aquelas negativas:

- Baixa flexibilidade arquitetônica: assim como Ramalho e Corrêa (2003) discutem na alvenaria estrutural, este sistema também contempla esse aspecto negativo. Conforme Silva (2011), as paredes de concreto por serem estruturais, não podem ser demolidas ou rasgadas parcial ou totalmente pelo usuário. Isto impossibilita alterações e modificações futuras, diminuindo a flexibilidade arquitetônica.
- Restrição quanto à passagem de tubulações horizontais: como as paredes são estruturais, a norma que regulamenta o sistema não permite a passagem de tubulações horizontais

na maioria dos casos, pois isto faria com que o trecho deixasse de se comportar como estrutura (CORSINI, 2011).

- Alto investimento inicial: como discutido por Corsini (2011), o custo de aquisição das fôrmas é alto. O material utilizado para sua fabricação é geralmente a liga de alumínio, por ser leve e resistente. Mesmo que este alto custo seja diluído a partir da quantidade de reaproveitamentos, como apontado pelo referido autor, o investimento inicial pode ser um ponto negativo para a adoção do sistema.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Após serem discutidos de forma isolada, constata-se que os três sistemas construtivos analisados apresentam pontos em comum e outros divergentes. Uma síntese destas características é apresentada abaixo (Quadro2), baseada em Corsini (2011).

Quadro 2: Comparação entre os principais sistemas construtivos.

	CAVA	AE	PCML
Características	Formada por pilares, vigas e lajes de concreto. Os vão são preenchidos com blocos de vedação.	Estrutura em blocos de concreto ou cerâmicos mais resistentes, adequados para alvenaria estrutural.	Estrutura única de concreto, moldada em fôrmas metálicas, de madeira ou de plástico.
Distribuição do peso	O peso da construção é distribuído nos pilares, vigas e lajes para as fundações (as paredes não suportam cargas).	As paredes são autoportantes (capazes de suportar a carga da obra sem a necessidade de vigas e pilares)	O peso se distribui por toda a estrutura de concreto autoportante até a interface com as fundações.
Armação	Não há armação nas áreas de vedação, somente nas colunas, vigas e lajes.	Geralmente não há armação (embora haja alvenaria estrutural armada).	Concretada em tela soldada (no centro da parede ou próximas às duas faces).
Revestimento	Revestimento, base com chapisco.	Revestimento, base com chapisco.	Normalmente não recebe revestimento.
Instalações elétricas/hidráulicas	Depois da construção das paredes, em geral é preciso “rasgá-las” para embutir as instalações hidráulicas e elétricas, o que leva a um maior tempo de ciclo.	Instalações embutidas dentro dos blocos, que são cortadas nos pontos de saída. Neste caso, como existem atividades em paralelo, o tempo de ciclo de uma unidade de repetição pode ser reduzido.	Quando embutidas, são instaladas antes da concretagem. Neste caso, como existem atividades em paralelo, o tempo de ciclo de uma unidade de repetição pode ser reduzido.

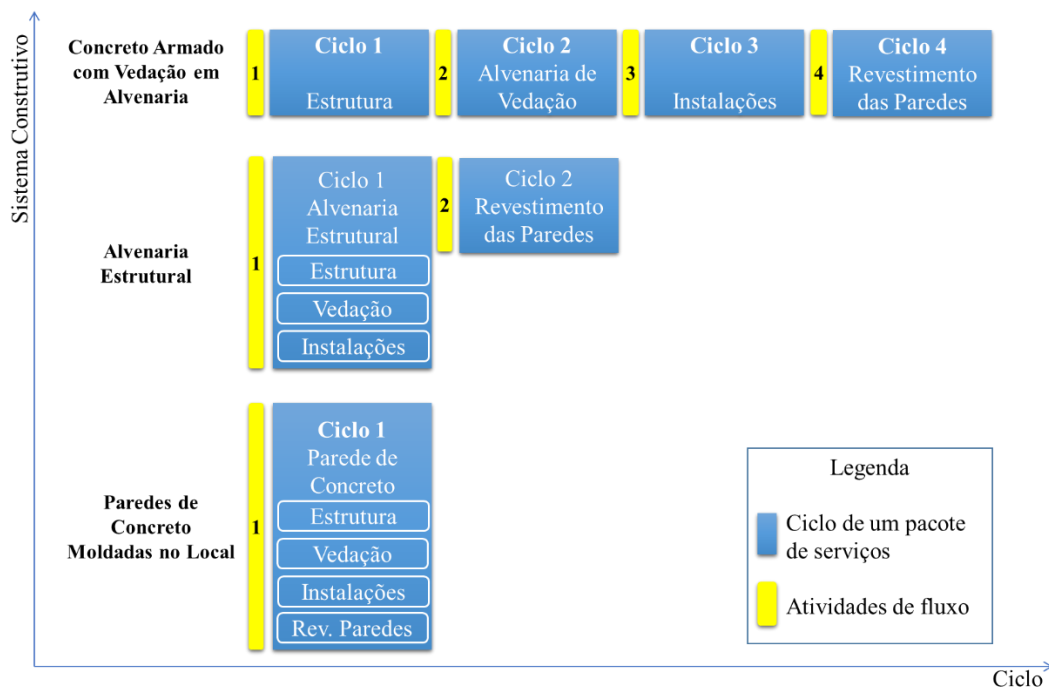
Fonte: Adaptado de Corsini (2011).

Uma das principais diferenças entre estes sistemas construtivos são suas etapas de execução, conforme descrito anteriormente. Isto impacta diretamente na organização e redução da quantidade de ciclos.

A Figura 16, mostra, para os três sistemas construtivos discutidos, a organização dos ciclos referentes às etapas executivas de estrutura e vedação, além disto, às respectivas atividades de fluxo que existem entre eles.

Pode-se constatar a aplicação do princípio enxuto da simplificação de partes, passos e ligações, a partir da diminuição da quantidade de ciclos necessários à execução das várias etapas, conforme cada sistema construtivo.

Figura 16: Organização dos ciclos em diferentes sistemas construtivos.



Fonte: O autor (2017).

Para que se chegue a um estágio que estejam executadas a estrutura, a vedação, parte de algumas instalações (hidráulica e elétrica) e o revestimento das paredes (reboco), observa-se serem necessários: cinco ciclos para o sistema de CAVA; dois ciclos para o sistema de AE; somente 1 (um) ciclo para o sistema de PCML.

Como discutido no item 3.4, baseado em Formoso (2002), quanto maior for a quantidade de passos ou número de componentes de um processo, maior a tendência de se terem atividades que não agregam valor. Estas atividades de fluxo surgem por conta das tarefas de preparação para cada passo do processo e da possibilidade de interferência entre elas, ocasionando variabilidade.

Estas atividades de fluxo são representadas pelos quadros amarelos, que estão dispostos no início de cada ciclo. Logo, a partir da diminuição destes ciclos, ocorre também a redução destas atividades não agregadoras de valor e, por consequência, a possibilidade de que ocorra menos variabilidades (atrasos na conclusão, retrabalhos, falhas no produto que comprometem o próximo serviço, dentre outros).

6 A VARIABILIDADE NO AMBIENTE DA CONSTRUÇÃO

6.1 DEFINIÇÃO

Podem-se encontrar várias definições, quando se refere à variação ou variabilidade no contexto da construção. É fato que o significado deste termo está atrelado à disposição de algo para variar, ou seja, uma inconstância ou variedade de princípios ou sistemas (MICHAELIS, 2011). Dentre as várias conceituações, pode abranger desde desvios estatísticos até desvios em um produto, não diferindo disto, o uso do termo na construção incorpora também faces distintas.

Na literatura estrangeira, é comum utilizar o termo *variation* (variação) para se referir à variabilidade da duração das atividades, assim como encontra-se o termo *variability* para esta mesma colocação.

Isatto et al. (2000) explicitam de forma abrangente o contexto da variabilidade na construção e suas várias vertentes. Para estes autores, a variabilidade tem natureza variável, podendo estar relacionada à qualidade do produto, recursos consumidos, ou mesmo à duração de atividades. Segundo os autores, há três classificações para a variabilidade na construção:

- Variabilidade nos processos anteriores: que está relacionada com os fornecedores do processo. Por exemplo: variabilidade dimensional ou de qualidade dos materiais.
- Variabilidade no próprio processo: aquela que ocorre na execução de um processo. Seriam as variabilidades na duração de uma atividade.
- Variabilidade na demanda: quanto às necessidades de um cliente de um processo.

Koskela (1992) afirma que os processos de produção são variáveis, existindo diferenças em quaisquer dois itens, mesmo que eles sejam o mesmo produto, pois os recursos necessários para produzi-los (tempo, matéria-prima, mão de obra) variam.

Para Hopp e Spearman (1996), dois tipos de variabilidade podem ser encontrados no fluxo de produção: variabilidade de tempo do processamento; variabilidade de fluxo.

A variabilidade de tempo de processamento, segundo Koskela (2000), refere-se ao tempo necessário para processar uma tarefa em uma estação de trabalho. Hopp e Spearman (1996) ligam este tipo de variabilidade aos efeitos que estão confinados à estação de trabalho. Alguns autores (Koskela, 2000; Santos et al., 2002) a exemplificam como sendo as ocorrências de: quebra de máquinas; falhas aleatórias; retrabalhos por qualidade inaceitável; dentre outras.

A variabilidade de fluxo é definida por Santos et al. (2002) como sendo aquela que ocorre quando a variabilidade em uma estação de trabalho afeta o comportamento de outras estações de trabalho, que estão a montante ou a jusante, ou seja, é um tipo de variabilidade observado nos fluxos entre as estações de trabalho. Para os autores supracitados, o tempo de processamento representa uma pequena fração do fluxo de produção real, sendo assim, mais tempo é gasto esperando por vários recursos (pessoal, material, máquinas).

Outro tipo de variabilidade conceituado por Koskela (2000), é denominada de variabilidade dimensional, que é ligada à variação geométrica de um produto na saída de uma tarefa. Esta variabilidade dimensional, impacta a variabilidade do tempo de processamento, já que leva a retrabalhos e rejeição de produtos.

6.2 OS IMPACTOS DA VARIABILIDADE

Autores – como Wambeke (2011), Howell e Ballard (1994) e Tommelein et al. (1999) – estudaram o impacto da variabilidade na produtividade do trabalho e na programação da obra.

Segundo Tommelein et al. (1999), a visão enxuta reconhece o impacto devastador que a variabilidade tem sobre o fluxo contínuo do trabalho e o andamento sequencial da produção. Os referidos autores estudaram o impacto da variabilidade do fluxo de trabalho no desempenho das atividades da construção civil. Eles concluíram que as linhas de produção não podem cumprir a sua capacidade total na presença de variabilidade do fluxo.

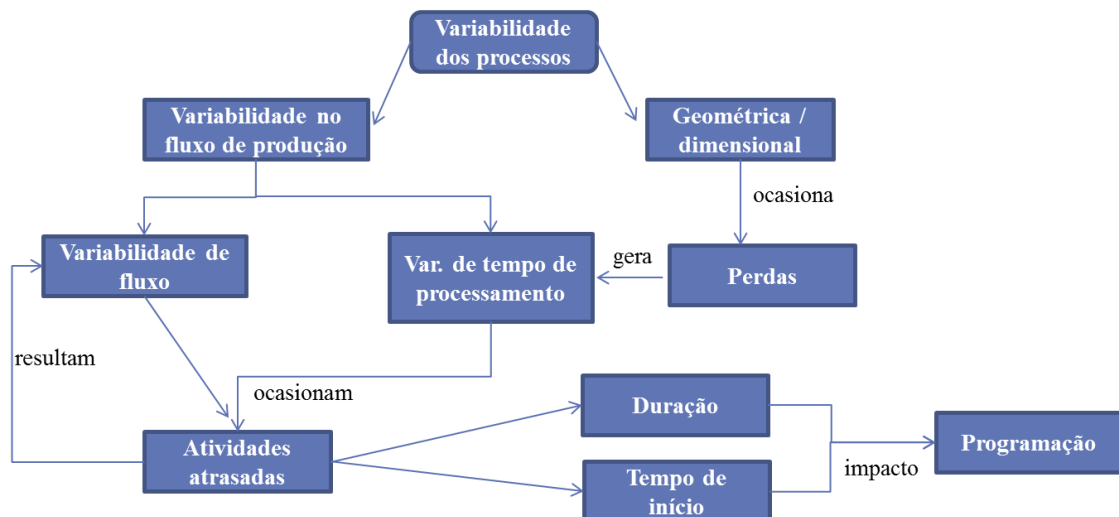
Uma taxa de produtividade de uma atividade, sozinha, é insuficiente para medir a velocidade do sequenciamento das atividades da produção (TOMMELEIN et al., 1999). Segundo os referidos autores, a taxa real de produtividade irá variar por causa de variações nos materiais, facilidades de acesso ao local de trabalho, execução, habilidade dos trabalhadores, dentre outros fatores. Este desvio de um valor médio representa o que os mesmos autores denominaram de variabilidade.

A variabilidade quase sempre existe no processo de construção e, conseqüentemente, tem um impacto significativo na produtividade do trabalho (WAMBEKE et al., 2011). Os referidos autores destacam dois tipos de variabilidade: de tempo de início das tarefas e; de sua duração. A variabilidade do tempo de início é a diferença entre o tempo de partida previsto e o real de uma tarefa em um plano de trabalho semanal. Já a variabilidade da duração da tarefa é a diferença entre a duração planejada da tarefa e a real.

Neste sentido, Wambeke et al. (2011) afirmam que, quando há uma variação na hora de início de uma tarefa, muitas outras tarefas a jusante são afetadas. Assim como, quando uma tarefa demora mais tempo para concluir do que o planejado, a variação da duração afeta, também, outras tarefas.

Os tipos de variabilidades, bem como suas correlações, são mostrados na Figura 17.

Figura 17: Mapa conceitual dos tipos de variabilidades e suas correlações.



Fonte: O autor (2017).

Pode-se observar, a partir da Figura 17, a complexidade da variabilidade na produção. Além disto, outra análise importante a ser feita é que, independentemente do tipo de variabilidade (no fluxo de produção ou geométrica), ao final do processo há a geração de atrasos na atividade, impactando diretamente na programação.

Por exemplo, quando há um desvio de um padrão de um produto (uma parede desaprumada), em algum momento isto terá que ser corrigido. O serviço posterior (reboco) absorverá este impacto, pois haverá um aumento de sua duração para corrigir a baixa qualidade do serviço anterior. Esta variabilidade no tempo de processamento pode afetar os serviços posteriores por conta da natureza sequencial das atividades e, consequentemente, a programação.

A natureza sequencial das atividades e a necessidade de uma equipe terminar o seu trabalho para a próxima equipe começar resultam em um efeito acumulativo em relação à variação. Cada variabilidade de chegada das equipes de trabalho é a soma das variabilidades de chegada e de duração da equipe predecessora, logo, a variação da duração é um fator importante na variação de chegada (HAJIFATHALIAN, 2011).

Para Hajifathalian (2011), existem também outros itens importantes com relação à forma como eles afetam o início da sequência de trabalho. Alguns fatores (prontidão dos equipamentos, materiais, programações e autorizações) podem influenciar o tempo de início das atividades e podem ser altamente variáveis, por exemplo: entre diferentes projetos; empreendimentos; métodos de gestão.

6.3 CAUSAS DA VARIABILIDADE

No item 3.5.1, foram tratadas as condições prévias para a execução de uma tarefa de construção, definidas por Koskela (2000). Segundo o referido autor, existem pelo menos sete condições que se unem para gerar a sequência de tarefas, sendo elas: projeto; materiais e componentes; mão de obra; equipamentos; espaço; serviços interdependentes; condições externas.

A retomada da discussão deste assunto faz-se necessária, justamente por estas sete condições poderem ser consideradas como fontes de variabilidade na produção (Figura 11). É o que explica Koskela (2000), defendendo que muitos destes fluxos de recursos (condições) são de alta variabilidade devido às peculiaridades da construção, aumentando a probabilidade de uma entrada estar em falta.

O referido autor exemplifica: os projetos detalhados podem faltar no início de um trabalho; os erros em projetos ou peças pré-fabricadas podem surgir durante a execução no local; as condições externas (chuva, vento, temperaturas extremas) podem atrasar o andamento do trabalho; a produtividade do trabalho manual é variável; a falta de disponibilidade de espaço; trabalhos interligados que dependem do andamento de tarefas anteriores.

Koskela (2000) demonstra em seu trabalho que a probabilidade de que exista qualquer desvio nos fluxos de entrada no ambiente da construção é de 30%. Um percentual considerável, que mostra a complexidade de manter a produção livre da variabilidade, principalmente por conta das inúmeras causas que podem provocar estes desvios.

Neste sentido, Wambeke et al. (2011) objetivaram identificar as causas mais predominantes da variabilidade no tempo de partida e de duração das tarefas da construção. Com isso, os autores identificaram, na bibliografia sobre o assunto e em entrevistas com profissionais do setor, 50 causas individuais de variação, dividindo-as em oito categorias,

algumas baseadas nas condições prévias de Koskela (2000). As categorias conceituadas por Wambeke et al. (2011) foram:

- (1) Pré-requisito de trabalho: itens que devem ser concluídos antes de uma tarefa poder começar.
- (2) Projeto detalhado e método de trabalho: ter um projeto e concepção precisos e disponíveis e um método de trabalho viável, a fim de realizar uma determinada tarefa.
- (3) Mão de obra: mão de obra disponível e treinada para realizar a tarefa exigida.
- (4) Equipamentos e ferramentas: equipamentos e ferramentas necessários, disponíveis nas quantidades e condições suficientes.
- (5) Materiais e componentes: ter os materiais corretos e necessários, disponíveis quando e onde precisar deles.
- (6) Condições do local de trabalho: espaço físico adequado para realizar o trabalho.
- (7) Gestão, supervisão e fluxo de informações: o sistema de gestão existe para desenvolver a programação, fornecer orientação e para responder a perguntas quando elas surgem.
- (8) Tempo ou condições externas: itens que ocorrem, mas que estão fora do controle das pessoas durante a construção.

A pesquisa identificou as principais causas individuais de variação, que representam um total de mais de 19 horas por semana, sugerindo uma confiabilidade da programação semanal de 52% (WAMBEKE, 2011).

Este amplo acervo de causas de variações foi citado em trabalhos posteriores – como os de Russel (2013), De Filippi e Melhado (2015) e Reis et al. (2016) – por conta do embasamento teórico e relevância metodológica utilizados na pesquisa.

6.4 O BUFFER E O LPS COMO POSSÍVEIS MÉTODOS DE REDUÇÃO

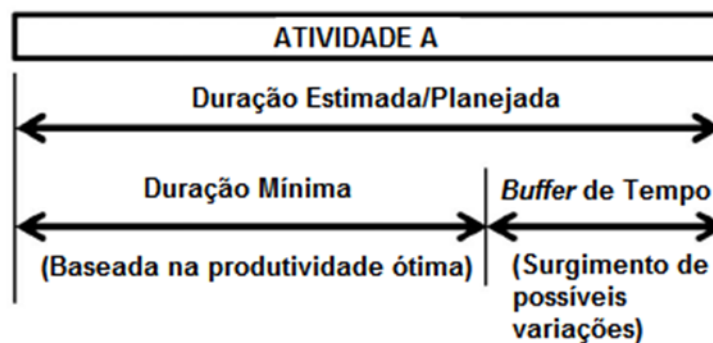
Autores reconhecem como uma das formas de diminuir os impactos da variabilidade a adição de *buffers* para as tarefas, devido à incerteza inerente das mesmas e sua respectiva variabilidade resultante (HOWELL; BALLARD, 1994; KOSKELA, 2000; RUSSEL, 2013).

Para Howell e Ballard (1994), responder às variações é um aspecto importante da teoria da Produção Enxuta, sendo assim, os *buffers* entre as operações são uma ferramenta importante, pois permitem que duas atividades aconteçam de forma independente, já que uma variação na saída de uma operação a montante não limitaria o desempenho de outra operação a jusante.

De acordo com Russel et al. (2014), na literatura da construção, existem não só várias definições, mas também vários tipos de *buffers* previstos: financeiro; de estoque; capacidade; planejamento; tempo.

Russel et al. (2014) descrevem o *buffer* de tempo como sendo a diferença entre a duração estimada e a duração mínima que a tarefa deveria tomar como base, considerando a produtividade ótima (Figura 18). Este tipo de *buffer* é adicionado às durações das tarefas individuais para compensar a incerteza e proteger contra a variação (RUSSEL et al., 2014).

Figura 18: Atividade com buffer de tempo.



Fonte: Adaptado de Russel et al. (2014).

Em uma linha de pesquisa próxima à de Wambeke et al. (2011), Russel et al. (2014) estudaram em seu trabalho as principais causas das variações nas adições de *buffers* de tempo nas durações de atividades da construção. Os referidos autores levantaram, através de pesquisa bibliográfica e envolvendo profissionais da construção, 47 fatores individuais relacionados com o *buffer* de tempo em tarefas de construção.

Com uma metodologia semelhante à utilizada por Wambeke et al. (2011), os autores os agruparam em 9 categorias, sendo 7 baseadas nas condições prévias de Koskela (2000), adicionando-se uma categoria relativa a características de projetos, como:

- (1) Características do projeto;
- (2) Pré-requisito do trabalho;
- (3) Projeto detalhado e método de trabalho;
- (4) Força de trabalho;

- (5) Equipamentos e ferramentas;
- (6) Materiais e componentes;
- (7) Condições de trabalho e do local de trabalho;
- (8) Gestão, supervisão e fluxo de informações;
- (9) Clima.

Como resultados, Russel et al. (2014) concluíram que das 12 principais causas mais frequentes de *buffers*, a maioria está associada com algo intangível, como a informação e a comunicação, mostrando uma necessidade de ênfase na melhoria destes dois fluxos na construção.

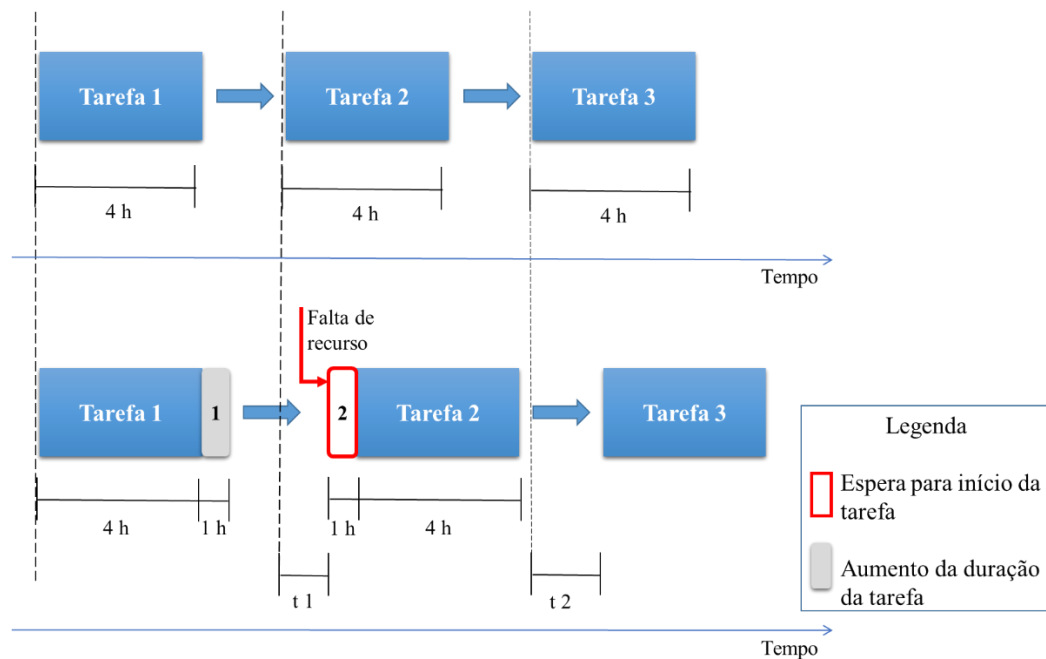
Para alguns autores (Howell; Ballard, 1994; Koskela, 2000), uma ferramenta mais adequada para reduzir a variabilidade na produção é o método *Last Planner* (abordado anteriormente), que evita a propagação da mesma, além do emprego de penas desnecessárias referentes ao seu controle. Este método combina controle e melhoria na luta contra a variabilidade e as perdas causadas por ela (KOSKELA, 2000).

Koskela (2000) aponta como penalidades desnecessárias da variabilidade o *buffer*, a menor utilização de recursos e perdas de produção (causadas por desabastecimento ou condições subótimas). Estes autores consideram que o *buffer* deve ser empregado como medida secundária, após a implantação do LPS, por exemplo.

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Em resumo, este trabalho trata da variabilidade ocorrida no fluxo de produção, que pode ser originada durante a fase de processamento ou por conta da interação sequencial entre as estações de trabalho. Está ligada ao tempo da execução das tarefas, quando há desvios em relação à programação dos trabalhos, o que acarreta em atrasos no tempo de início ou de duração da atividade. Suas causas podem ser relacionadas a vários fatores, de sobremaneira, à falta de condições prévias das tarefas.

A Figura 19 retrata a variabilidade no fluxo da produção e suas possibilidades de ocorrência.

Figura 19: A variabilidade no fluxo da produção.

Fonte: O autor (2017).

Pode-se observar, na Figura 19, o impacto da variabilidade no fluxo da produção, ocasionando desvios entre o tempo programado e o executado. O retângulo amarelo mostra uma variabilidade no processamento da Tarefa 1, acarretando um aumento de sua duração prevista de quatro horas para cinco horas. Já na Tarefa 2, houve um atraso no seu início de uma hora, por conta de alguma falta de recurso, ocorrendo a variabilidade de fluxo.

Outra situação observada, causada pelo sequenciamento das atividades da construção, é o atraso acumulado entre as tarefas, ou seja, o atraso da Tarefa 1 ocasionou um atraso t_1 para a Tarefa 2, e assim sucessivamente. Isto resultou em um atraso t_3 para o início da Tarefa 3, que possivelmente é, no mínimo, de duas horas (soma dos atrasos das tarefas anteriores).

O acréscimo de *buffer* de tempo é uma das maneiras de amenizar as variações das tarefas. É criticado por alguns autores, partindo-se do pressuposto que o uso desta opção reconhece a presença da variabilidade, amortecendo seus impactos no fluxo da produção, porém, não evita a sua ocorrência.

O LPS é uma forma mais adequada de lidar com a variabilidade. O reconhecimento do impacto das variações no tempo de execução das tarefas, ocasionando desvios entre o planejado e o executado, pode ser exemplificado pelo próprio conceito de funcionamento deste sistema.

A ferramenta que analisa a confiabilidade do plano semanal, o PPC, mostra que a variação no ambiente da construção, de fato, existe. Daí a importância do último planejador

puxar metas factíveis para que sejam programados os serviços, removendo-se as restrições em tempo hábil para que sejam cumpridas as condições necessárias para a execução das tarefas.

Dada a ocorrência da variabilidade e suas consequências para a construção, entender suas causas e como reduzi-la é uma questão importante da gestão da produção.

7 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado para a construção do trabalho. É iniciado com o delineamento da pesquisa e as respectivas descrições de suas fases e etapas.

7.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

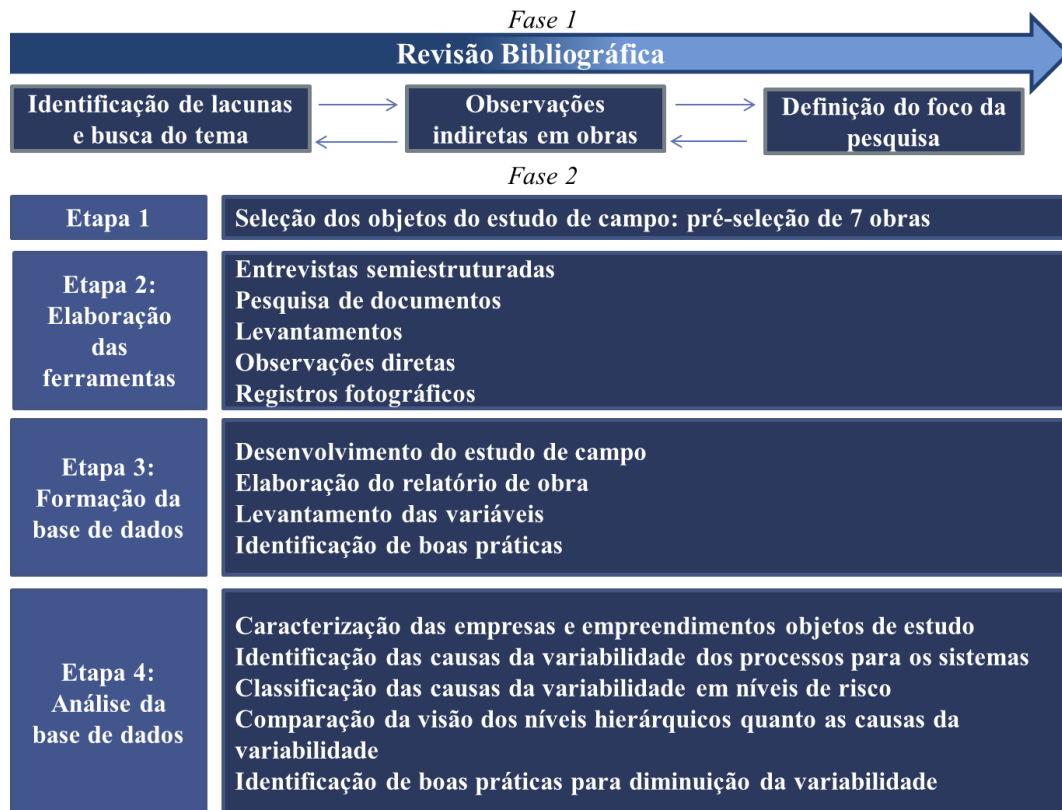
Gil (1999) define o delineamento da pesquisa como o planejamento do trabalho quanto a sua dimensão mais ampla, envolvendo sua diagramação, a previsão de análise e interpretação dos dados, bem como as formas de controle das variáveis envolvidas. O referido autor destaca, como elemento mais importante para a identificação do delineamento, o procedimento utilizado para a coleta de dados.

A principal estratégia de pesquisa adotada por este trabalho foi o estudo de campo. Para Gil (1999), este método procura o aprofundamento das questões propostas, tendendo utilizar técnicas de observação e interrogação. Porém, é válido salientar que outras estratégias também auxiliaram a construção do trabalho conforme as suas etapas específicas, tais como a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental.

7.2 FASES DA PESQUISA

A pesquisa partiu de uma revisão bibliográfica inicial, objetivando a busca por temas e identificação de lacunas na literatura, aliada a observações indiretas em obras feitas pelo pesquisador no desenvolvimento de trabalhos anteriores. Com isto, o foco desta pesquisa foi direcionado para a análise das causas que ocasionam a variabilidade no tempo de execução dos processos e suas relações com diferentes sistemas construtivos. Esta revisão bibliográfica se estendeu por toda a construção do trabalho, objetivando fornecer o embasamento teórico que se fizesse necessário.

Na segunda fase da pesquisa, foram definidos os procedimentos para o início do estudo de campo, a fim de obter os dados necessários para atingir seus objetivos. A Figura 20 explicita as fases da pesquisa e seus respectivos detalhamentos.

Figura 20: Fases da metodologia do trabalho.

Fonte: O autor (2017).

7.2.1 Etapa 1 – Seleção dos objetos do estudo de campo

Em julho de 2016, foram pré-selecionadas as obras que participaram do estudo de campo. Foi solicitada uma lista para a Caixa Econômica Federal das obras financiadas em execução no estado de Sergipe, a qual informava 39 obras. Mais outras três obras (uma de paredes de concreto e três convencionais) que não eram financiadas pelo banco supracitado foram acrescentadas na lista, totalizando ao final 43 obras que foram submetidas ao processo de seleção, a partir dos critérios:

- Tipo de sistema construtivo empregado: a preferência foi para obras de concreto armado com vedação em alvenaria, alvenaria estrutural e paredes de concreto moldadas no local. Desta forma, podendo ser feita uma comparação entre sistemas construtivos abrangendo o mais convencional (concreto armado com vedação em alvenaria), um racionalizado (alvenaria estrutural) e um inovador (paredes de concreto moldadas no local).
- Fase de execução intermediária: a seleção para obras nesta fase de execução permitiu que fossem analisados seus principais serviços, tais como execução de

estrutura, vedação e acabamentos. Além disto, garantiu-se que no período das observações as mesmas não estivessem finalizadas.

- Empresa de médio/grande porte: a escolha por obras pertencentes a empresas de médio/grande porte foi necessária, já que estas têm um cuidado e preparação maior quanto ao planejamento e gerenciamento da construção.

O Quadro 3 mostra as quantidades de obras restantes em cada etapa de seleção. Como explicitado nele, dez empreendimentos abrangendo seis construtoras distintas estavam enquadrados para participar da pesquisa.

Quadro 3: Etapas de pré-seleção das obras.

Obras Restantes por Etapas			
Sistema Construtivo	1- Sistema Construtivo empregado	2 - Fase intermediária	3 - Empresa de médio/grande porte
Convencional (concreto armado c/ alvenaria)	11	4	4
Alvenaria estrutural	22	10	3
Paredes de concreto moldadas no local	3	3	3
Outros	9	1	0

Fonte: O autor (2017).

As empresas responsáveis pelas obras pré-selecionadas foram contatadas formalmente para que se manifestassem sobre o interesse de participar da pesquisa. O estudo de campo foi iniciado à medida que se tiveram as confirmações das construtoras.

Das dez obras convidadas, apenas uma (sistema convencional) recusou-se a participar da pesquisa, restando-se três empreendimentos de cada sistema construtivo.

7.2.2 Etapa 2 – Elaboração das ferramentas para aplicação no estudo de campo

As visitas foram realizadas nas obras, visando colher os dados necessários de acordo com os objetivos do trabalho, a partir de diversas fontes de evidências, tais como:

- Entrevistas semiestruturadas;
- Pesquisa de documentos;

- Levantamentos;
- Observações diretas;
- Registros fotográficos.

A seguir serão descritas cada uma destas ferramentas, que compõem o protocolo elaborado para auxiliar no desenvolvimento da pesquisa:

- Entrevistas semiestruturadas

A entrevista é uma técnica de pesquisa para coletar informações, dados e evidências, objetivando entender e compreender o significado que os entrevistados atribuem a questões e situações (MARTINS; THEÓPHILO, 2009). Uma entrevista semiestruturada é aquela conduzida com uso de um roteiro, porém com flexibilidade de serem acrescentadas novas questões pelo entrevistador, conceituam os autores supracitados. Logo, esta é uma técnica positiva a ser empregada no início das visitas em obras.

Um roteiro de entrevista foi elaborado para coletar todas as informações necessárias das obras no início das visitas, visando padronizá-las. Dentre elas, referentes ao cadastramento da obra e informações relevantes ao contexto da pesquisa, tais como, o tipo de planejamento da obra. Ele foi destinado aos engenheiros responsáveis de cada obra, já que se buscavam obter informações técnicas. O mesmo encontra-se disponível no Apêndice A.

- Pesquisa de documentos

Segundo Martins e Theóphilo (2009), a pesquisa documental assemelha-se à pesquisa bibliográfica, porém não levanta material editado como livros e periódicos, mas busca aqueles não editados como cartas, agendas e avaliações. Documentos relativos ao planejamento e programação das obras foram solicitados às construtoras, visando à obtenção de dados sobre o PPC, cronograma executivo e outros que viessem a ser pertinentes.

- Levantamentos

Gil (1999) caracteriza os levantamentos (*surveys*) pela interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer, nele é solicitado informações para um grupo (amostra representativa) sobre o problema estudado, em seguida estes dados passam por uma análise quantitativa, visando obter conclusões.

Para Martins e Theóphilo (2009), estes levantamentos podem avaliar diversas variáveis, sendo elas de dois tipos principais: quantitativas (envolvem algum caráter numérico) e qualitativas (possuem certo grau de subjetividade, não envolvendo fatores numéricos). Porém, conforme os autores supracitados, as variáveis qualitativas podem ser adaptadas para representar uma série quantitativa através de escalas. Estas escalas podem ser construídas através de sequências de enunciados, atribuindo-os pesos.

Um questionário para aplicação em campo – com engenheiros, mestres e operários – foi elaborado contendo duas partes. A primeira visa identificar as causas da variabilidade do tempo de execução dos processos, quanto à sua frequência e intensidade de ocorrência, baseada em questionários de outros autores com finalidades próximas (WAMBEKE et al., 2011; RUSSEL et al., 2014). A segunda parte visa obter outras informações dos entrevistados, que são pertinentes à pesquisa. A seguir, explica-se mais detalhadamente a composição da ferramenta.

Os fatores levantados pelos dois trabalhos supracitados são, na maior parte, semelhantes ou com objetivos parecidos. A forma de estruturação também se assemelha, já que ambos agruparam os fatores em categorias, baseados numa distribuição feita por Koskela (2000) ao discutir as condições prévias de uma tarefa de construção (Figura 8) que impactam na produtividade, como discutido no item 3.5.1.

A primeira parte do questionário intitulado “Causas da variabilidade do tempo de execução dos processos” (Apêndice B) continha inicialmente 36 fatores, divididos em oito categorias, sendo sete baseadas em Koskela (2000) – pré-requisito do trabalho, detalhamento do projeto e método do trabalho, mão de obra, ferramentas e equipamentos, materiais e componentes, condições de trabalho e do local de trabalho e condições climáticas – e a oitava, proposta por Wambeke (2011), gestão e fluxo de informações.

Duas variáveis são apresentadas no questionário (intensidade e frequência do atraso), sendo a primeira relacionada à intensidade de horas de atraso que um determinado fator impacta no processo (Quadro 4) e a segunda à frequência de ocorrência deste atraso (Quadro 5).

provocado pelo fator analisado. Ambas as variáveis tinham um horizonte de análise de uma (1) semana de trabalho.

Quadro 4: Descrição da Variável Intensidade.

Conceitos	Valores escalares
Não Ocorre	0
Muito Baixo	1
Baixo	2
Médio	3
Alto	4
Muito Alto	5

Fonte: O autor (2017).

Quadro 5: Descrição da Variável Frequência.

Conceitos	Valores escalares
Não Ocorre	0
Raro	1
Pouco provável	2
Possível	3
Provável	4
Sempre	5

Fonte: O autor (2017).

A segunda parte do questionário trazia questionamentos finais relativos a percepção dos entrevistados quanto à intensidade de atraso, em que grau os mesmos ocorriam no início e durante a tarefa e o grau que a programação era afetada.

O questionário foi submetido a um processo de validação visando avaliar sua clareza, tempo de resposta e nível de complexidade. Inicialmente por especialistas da área (professores de engenharia civil), após ocorreu uma aplicação piloto em uma obra não participante da pesquisa, em que o mesmo foi submetido a um engenheiro, um mestre e um grupo de operários.

A partir das sugestões dos participantes, foram retiradas e reescritas algumas causas. A complexidade foi avaliada como adequada aos três níveis hierárquicos. Foi decidido que a aplicação se daria de forma presencial, sobretudo por conta da participação dos operários e mestres, que em certos casos necessitariam de maiores explicações sobre a abordagem do questionário, por conta do baixo grau de instrução de alguns indivíduos destes grupos.

Por fim, a versão final do questionário passou a conter 31 fatores, divididos em oito categorias.

- Observações diretas

A observação permite a coleta de dados de situações e envolve a percepção sensorial do observador, diferenciando-se, enquanto prática científica, da observação habitual diária (MARTINS; THEÓPHILO, 2009).

Gil (1999) afirma que um dos tipos de observação consiste na observação simples ou direta, nela o observador permanece alheio à comunidade, situação ou grupo que se pretende estudar, fazendo o papel mais de espectador do que de ator.

Conforme Martins e Theóphilo (2009), a observação é um exame minucioso, requerendo atenção na coleta e análise das informações, para isso, necessita ser precedida de um referencial teórico e para sua execução é recomendável um protocolo de observação.

A observação direta foi usada para identificar, nas obras participantes da pesquisa, boas práticas que contribuem para a diminuição da variabilidade nos processos. Para isto, foi elaborado um roteiro denominado “Identificação de boas práticas para a diminuição da variabilidade dos processos” (Apêndice C) para padronizar e registrar as informações observadas.

- Registros fotográficos

As observações diretas, ao decorrer do estudo de campo nas obras, serão acompanhadas pelo registro fotográfico.

7.2.3 Etapa 3 – Formação da base de dados

Com todas as ferramentas definidas, a formação da base de dados se consolidou a partir do desenvolvimento do estudo de campo nas obras objetos de pesquisa. Isto permitiu a análise das causas da variabilidade do tempo de execução dos processos.

Para cada obra visitada, foram formadas as seguintes bases de dados: relatório da obra; levantamento das variáveis relacionadas às causas da variabilidade com engenheiros, mestres e operários; listagem de identificação de boas práticas relacionadas à diminuição da variabilidade dos processos. Abaixo será descrito como ocorreram as visitas, seus principais passos e como foram levantados os dados necessários.

As visitas ocorreram no período entre os dias 22/08/2016 e 15/12/2016. Elas aconteceram em três blocos referentes ao sistema construtivo (PCML, AE e CAVA). Desta forma, visava-se facilitar a comparação entre as mesmas e organizar a coleta de dados dos serviços. Em média, tinham duração de um (1) dia por obra, com algumas estendendo este tempo. O Quadro 6 mostra o cronograma das visitas.

Quadro 6: Cronograma das visitas.

Empreendimento	Data	Turnos
PCML 1	22/08/2016	2
PCML 2	25/08/2016	2
PCML3	29/08/2016	2
AE 1	12/09/2016	2
AE 2	13/09/2016	2
AE 3	05/10/2016	2
CAVA 1	24/10/2016 e 12/12/2016	3
CAVA 2	24/11/2016	2
CAVA 3	15/12/2016	2

Fonte: O autor (2017).

- Procedimentos iniciais

Primeiramente, a visita era iniciada a partir da entrevista com o engenheiro da obra. Nela, eram esclarecidos os objetivos da pesquisa e realizado o cadastro do empreendimento utilizando o roteiro de entrevistas (Apêndice A). Havia também um diálogo visando identificar as peculiaridades da obra, aspectos positivos e negativos da gestão, do planejamento e controle, além de discutir sobre o tema da variabilidade. Este momento durava cerca de 20 minutos, podendo chegar a tempos maiores a depender do entrevistado.

Os relatórios das obras foram obtidos a partir das informações levantadas pelo roteiro de entrevista que forneceu os dados cadastrais do empreendimento e outros relevantes para a pesquisa.

- Aplicação do questionário com o engenheiro e mestre da obra

A amostra da aplicação do questionário com os engenheiros e mestres foi constituída por todos os indivíduos presentes no dia da coleta.

Após os procedimentos iniciais, era solicitado ao engenheiro que respondesse às duas partes do questionário (Apêndice B). Esta ferramenta visava analisar as causas que levam à ocorrência da variabilidade dos processos, sendo aplicada também com os mestres e operários das obras.

Quando havia mais de um engenheiro presente, pedia-se que cada um respondesse de forma individual. Alguns entrevistados, solicitavam que a leitura fosse acompanhada pelo entrevistador, solicitando explicações ao decorrer da resolução.

Finalizada a primeira parte, era iniciada a segunda, que apresentava alguns questionamentos finais voltados a percepção de tempo de atraso e seu modo de ocorrência.

O mesmo procedimento era tomado para a aplicação com o mestre da obra.

- Aplicação do questionário com os operários

A partir do levantamento dos serviços que estavam sendo executados na obra visitada, o entrevistador direcionava-se aos operários em campo de forma aleatória, solicitando a participação na pesquisa. É válido salientar que os participantes eram profissionais qualificados (oficiais) – não sendo entrevistados os ajudantes – e o questionário era respondido considerando o âmbito do seu serviço.

Os operários respondiam a primeira parte do questionário e somente os quatro primeiros questionamentos da segunda parte. Esta decisão foi tomada visando simplificar a entrevista, diminuindo assim a sua complexidade.

Já que o objetivo da pesquisa é a análise do sistema construtivo, e não da obra individualmente, priorizavam-se: primeiro, dar preferência aos serviços (processos) que ainda não tinham sido entrevistados durante às visitas anteriores das obras do mesmo sistema;

segundo, englobar todos os serviços da obra. Desta forma, pretendeu-se diversificar a amostra, englobando opiniões correspondentes ao máximo de serviços possível.

A amostra dos operários, devido ao tamanho da população e sua diversidade de subgrupos, foi do tipo estratificada e de tamanho restrito.

Gil (1999) define que uma amostra estratificada é caracterizada pela seleção de uma amostra de cada grupo da população considerada (ex.: serviço de alvenaria, estrutura, revestimento, etc.). Segundo o referido autor, deve-se selecionar do universo uma amostra aleatória proporcional à extensão de cada grupo, determinada por uma propriedade relevante.

Por exemplo, supondo-se que em uma obra serão analisados três grupos de operários – alvenaria (10 operários), estrutura (20 operários) e revestimento (30 operários) – que totalizam 60 indivíduos. A partir de um cálculo do tamanho da amostra, chegou-se à quantidade de 10%, ou seja, seis indivíduos. Porém, estes indivíduos não podem ser escolhidos de forma aleatória no universo, pois se podem levar a uma amostra que não contemple todos os grupos de forma proporcional. Então, deve-se selecionar para cada grupo, 10% de seus indivíduos, assegurando a representatividade em relação às propriedades adotadas.

Outro aspecto das entrevistas com os operários foi a linguagem a ser utilizada pelo entrevistador. A forma presencial da entrevista contribui para a diminuição das barreiras linguísticas e de entendimento. Alguns entrevistados solicitavam exemplos e, muitas vezes, era utilizada a realidade do seu serviço. Já outros, não necessitavam de maiores explicações, fazendo com que a entrevista ocorresse de forma direta.

- Observações diretas – Identificação das boas práticas

O canteiro de obras era percorrido, visando analisar as formas de transporte dos materiais, seu *layout* e demais características. Ao se dirigir aos operários para as entrevistas, era analisado o interior das torres e a execução dos serviços. Durante todo este passo, buscavam-se identificar as boas práticas que auxiliam na diminuição da variabilidade dos processos.

Esta listagem de identificação das boas práticas relacionadas à diminuição da variabilidade dos processos foi elaborada a partir das observações diretas e utilizando o auxílio do roteiro do Apêndice C, fazendo registros fotográficos dos pontos importantes. A revisão bibliográfica do trabalho deu suporte para a execução desta etapa.

7.2.4 Etapa 4 – Análise da base de dados

A partir da formação da base de dados, como descrito na etapa anterior, foi possível realizar as análises dos mesmos, a fim de atingir os objetivos da pesquisa. A seguir serão apresentadas as metodologias destas análises para a obtenção dos resultados esperados.

- Identificação das principais causas da variabilidade dos processos para cada sistema construtivo

Para estes resultados, a fonte de dados utilizada foi proveniente do questionário do Apêndice B, que levantou as variáveis – intensidade e frequência de atraso – para os três níveis hierárquicos.

Primeiramente, os dados de todas as obras foram inseridos em uma planilha eletrônica, sendo agrupados por sistemas construtivos. Foi criada uma tabela para cada um deles, em que eram mostradas as médias das respostas dos engenheiros, mestres e operários, além da média geral do sistema. Isto permitiu a identificação das principais causas de ocorrência da variabilidade dos processos.

Para a análise foram utilizadas as ferramentas: elaboração de gráficos; análises estatísticas; criação e cálculo do Fator de Atraso; elaboração de *rank* de causas.

Os gráficos foram elaborados a partir das variáveis intensidade (I) e frequência (F), que representavam os valores da média geral de cada sistema. Foram plotados os valores de I (eixo Y) e F (eixo X) das 31 causas.

O coeficiente de correlação linear das duas variáveis também foi calculado. Morettin e Bussab (2012) definem este coeficiente como uma medida do grau de associação entre duas variáveis e também da proximidade dos dados a uma reta. O coeficiente de correlação satisfaz (Equação 3):

$$-1 \leq \text{corr}(X, Y) \leq 1. \quad (3)$$

Neste sentido, a aproximação de zero indica a falta de associação, logo, quanto mais distantes deste valor, maior a correlação entre as variáveis, sendo que, para coeficientes positivos, a distribuição dos dados se aproxima de uma reta crescente, e para coeficientes negativos, de uma reta decrescente.

Já que o questionário aplicado levantou duas variáveis para interpretar cada uma das causas, foi criado um coeficiente denominado Fator de Atraso (FA), com um conceito proveniente da avaliação de risco (explicado no próximo tópico). Este número auxiliou na formação do *rank* de causas. Estes procedimentos possibilitaram as análises das principais causas para cada sistema construtivo, bem como a comparação entre eles.

O teste *t* de *Student* foi uma análise estatística utilizada para a comparação dos dados obtidos entre os sistemas construtivos, realizada a partir do programa *MS Excel®*. O nível de confiança adotado foi de 95%. Foram calculados os valores do *t crit* (*t* crítico), *t calc* (*t* calculado) e o *p-valor*, possibilitando os testes das hipóteses de forma bicaudal.

A seguir será explicado mais detalhadamente o Fator de Atraso e o processo da classificação em níveis de risco.

- Classificação das causas da variabilidade em níveis de risco

Segundo Russel (2013), toda atividade, seja ela da construção ou de outra finalidade, envolve algum risco (econômico, social, acidental, político, de saúde). Para o autor supracitado, embora estes riscos não possam ser totalmente evitados, eles podem ser avaliados e minimizados. Conforme Wheeler (2002), a avaliação de riscos envolve a identificação de riscos de uma determinada área, classificando-os através de uma atribuição de nível de risco adequado.

O risco tem duas componentes: uma probabilidade de ocorrência e uma consequência desta ocorrência. A probabilidade é definida como a frequência que o evento ocorrerá e a consequência pode ser definida como um impacto, seja ele no custo, na programação ou em um parâmetro de desempenho (WHEELER, 2002; RUSSEL, 2013).

Uma forma de se quantificar o valor do risco para comparação é apresentada por Russel (2013) como sendo o produto da probabilidade de ocorrência e da consequência desta ocorrência. Analogamente, para este trabalho, calcula-se o Fator de Atraso (FA), como sendo o produto das variáveis intensidade (I) e da frequência (F) conforme a Equação 4:

$$FA = I \times F. \quad (4)$$

Nesta pesquisa, as causas foram agrupadas em níveis de riscos, considerando as variáveis intensidade e frequência. Após a elaboração dos gráficos (I x F), foi feita uma análise para dividir os pontos dos gráficos em quatro níveis de risco, utilizando-se a ferramenta de

análise de *Clusters* (AC) com auxílio do programa de análise estatística *IBM SPSS Statistics*®. Russel et al. (2014) utilizaram uma metodologia semelhante para agrupar os fatores causadores de *buffers* de tempo em níveis de risco.

A análise de *Clusters* é uma técnica de análise multivariada que possibilita agrupar variáveis em grupos que apresentem características comuns. Estes *clusters* podem ser representados através de uma tabela ou graficamente pelo Dendograma (MAROCO, 2007). Este último, ilustra os agrupamentos efetuados e a distância entre os membros do *cluster*.

A partir destas análises, os 31 pontos de causas foram distribuídos em quatro níveis de risco, sendo eles: baixo, moderado, alto e extremamente alto. Em cada gráfico foram desenhadas quatro caixas para representar estes níveis.

- Comparação das visões dos níveis hierárquicos quanto às causas da variabilidade dos processos

Os dados foram agrupados em três grupos de análise: engenheiros; mestres e encarregados; operários. Isto foi feito para atender o objetivo específico de comparar as visões destes três níveis de funcionários envolvidas nas obras.

Para facilitar a visualização destas comparações foram obtidos gráficos ilustrativos dos resultados.

- Identificação de boas práticas que contribuem para a diminuição da variabilidade

A partir do estudo de campo, foi elaborado um quadro mostrando as principais boas práticas identificadas, bem como sugestões de melhorias.

8 RESULTADOS

Este capítulo inicia-se com a descrição das empresas e empreendimentos objetos de estudo. Após isto, são mostrados os resultados do tratamento de dados relativos à identificação das causas de variabilidade dos processos, de forma separada por sistemas construtivos, bem como a classificação em níveis de risco. A análise dos níveis hierárquicos quanto às causas da variabilidade é feita no tópico subsequente, que é seguido de uma visão geral sobre as principais causas. Por último, são mostrados os resultados da etapa de identificação de boas práticas para a diminuição da variabilidade.

8.1 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS E EMPREENDIMENTOS OBJETOS DE ESTUDO

Neste tópico são apresentadas as caracterizações das empresas participantes e, posteriormente, as descrições de cada um dos seus respectivos empreendimentos que foram objetos de estudo desta pesquisa. Estas descrições foram separadas por sistemas construtivos (CAVA, AE e PCML).

8.1.1 Descrição das empresas participantes

Todas as empresas construtoras pesquisadas são de origem sergipana. A construtora A tem 33 anos de atividade, inicialmente atuava em obras públicas, expandindo depois para o mercado imobiliário, tendo atualmente 4000 unidades residenciais entregues. Desde 2013, integra o *ranking* ITC (Inteligência Empresarial da Construção) das 100 maiores construtoras do país. É responsável pelos empreendimentos AE 2, PCML 1 e PCML 2, descritos posteriormente.

A construtora B tem 33 anos de atividades, iniciando em obras públicas e expandindo para a construção de casas e apartamentos. Além de Sergipe, atua também na Bahia, tendo cerca de 20000 unidades habitacionais entregues. Desde 2013, faz parte do *ranking* ITC das 100 maiores construtoras do país. É responsável pelos empreendimentos AE 1 e AE3.

A construtora C possui 29 anos de atividade no setor da construção imobiliária. Atua, além de Sergipe, na Bahia e em Pernambuco. Tem focado atualmente em construção de imóveis

para o programa Minha Casa Minha Vida. É responsável pelo empreendimento PCML 3, descrito adiante.

A construtora D, por sua vez, possui 26 anos de atividade, iniciou com foco na elaboração de projetos e consultorias, expandindo posteriormente para a construção imobiliária. Atua em Sergipe e no Tocantins. Possui a certificação ISO 9001/2008 e PBQP-H nível A. É responsável pelo empreendimento CAVA 1.

A construtora E tem 32 anos de atividade, iniciando sua atuação em obras públicas e expandindo para a construção imobiliária. Já entregou cerca de 2800 unidade habitacionais. Atualmente tem mudado seu foco, antes em habitações de interesse social, para empreendimentos de classe média. É responsável pelo empreendimento CAVA 2.

A construtora F é a empresa mais jovem do grupo pesquisado, com 16 anos de atividade, atuando na construção imobiliária de empreendimentos comerciais e residenciais, com obras já realizadas em outros seis estados. Possui 800 unidades residenciais entregues, além de construções diversas. É responsável pelo empreendimento CAVA 3.

Nas construtoras D e F, o planejamento e o controle eram realizados pelo próprio engenheiro da obra com o auxílio do escritório central da construtora, a partir de uma programação em Linha de Balanço. Não havia a aplicação integral do LPS, porém eram realizadas reuniões de planejamento para definição de metas – inclusive semanais – com a equipe técnica e escritório central. Além disto, era feito um controle básico de execução *versus* programação.

Nas construtoras A, B, C e E, o planejamento e o controle eram realizados por uma empresa especializada terceirizada. Havia Linha de Balanço e aplicação do LPS, sendo realizadas reuniões periódicas entre a empresa de planejamento e a equipe técnica da obra para acompanhamento do andamento a partir da Porcentagem de Plano Concluído (PPC), programação *lookahead* e definição de metas semanais.

8.1.2 Empreendimentos de Concreto Armado com Vedação em Alvenaria (CAVA)

- CAVA 1

Pertencente à empresa D, o empreendimento denominado CAVA 1, localizado em Aracaju, era composto por uma torre de 13 pavimentos-tipo com área de 800 m², tendo quatro

apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo alto, sendo voltado para classe A. Sua construção era financiada por linha de crédito de banco privado.

Durante as visitas, estava em fase de acabamento, sendo executados os serviços: elevação de alvenaria; reboco; estrutura (periferia); pintura; instalações elétricas e hidrossanitárias; esquadrias; revestimento cerâmico.

Contava com cerca de 100 colaboradores, sendo 60 profissionais (pedreiros, carpinteiros, pintores, eletricitistas) e 40 ajudantes. Sua equipe técnica era composta por um engenheiro de obra, um estagiário de engenharia, um mestre e três encarregados.

- CAVA 2

O empreendimento denominado CAVA 2 foi executado pela empresa E. Localizado em Aracaju, era composto por duas torres de 13 pavimentos-tipo com área de 350 m² e 500 m², tendo quatro e seis apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo médio, sendo voltado para classe B. Sua construção era financiada por linha de crédito de banco privado.

Durante as visitas, estava em fase intermediária, sendo executados os serviços: elevação de alvenaria; reboco; estrutura (periferia); instalações elétricas e hidrossanitárias; esquadrias; revestimento cerâmico.

Contava com 108 colaboradores, sendo 61 profissionais (pedreiros, carpinteiros, armadores, pintores, eletricitistas, encanadores) e 47 ajudantes. Sua equipe técnica era composta por um gerente de obra, cinco estagiários de engenharia, um mestre e um técnico em edificações.

- CAVA 3

O empreendimento denominado CAVA 3, executado pela empresa F, era localizado em Aracaju. Composto por duas torres conjugadas de 13 pavimentos-tipo com área de 800 m², tendo quatro apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo alto, sendo voltado para classe A. Sua construção era financiada pela própria construtora.

Durante as visitas, estava em fase de obra bruta, sendo executados os serviços: elevação de alvenaria; estrutura; instalações elétricas e hidrossanitárias.

Contava com cerca de 60 colaboradores, sendo 48 profissionais (pedreiros, carpinteiros, armadores, eletricitas, encanadores) e 13 ajudantes. Sua equipe técnica era composta por um engenheiro de obra, um auxiliar de engenharia, um mestre e três encarregados.

8.1.3 Empreendimentos de Alvenaria Estrutural (AE)

- AE 1

O empreendimento denominado AE 1 foi executado pela empresa B. Localizado em Aracaju, era composto por dez torres de quatro pavimentos-tipo com área de 300 m², tendo seis e quatro apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo baixo, sendo voltado para classe C. Sua construção fazia parte do programa Minha Casa Minha Vida.

Durante a visita, estava em fase mista – algumas torres em acabamento e outras finalizando a alvenaria – sendo executados os serviços: elevação de alvenaria; reboco; contrapiso; instalações elétricas e hidrossanitárias; esquadrias; revestimento cerâmico.

Contava com 60 colaboradores, sendo 38 profissionais (pedreiros, carpinteiros, eletricitas, encanadores) e 22 ajudantes. Sua equipe técnica era composta por um gerente de obra, dois estagiários de engenharia, um mestre, dois técnicos e dois encarregados.

- AE 2

O empreendimento denominado AE 2, executado pela empresa A, era localizado na cidade de Barra dos Coqueiros (Grande Aracaju). Composto por 11 torres de quatro pavimentos-tipo com área de 380 m², tendo oito apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo baixo, sendo voltado para classe C. Sua construção fazia parte do programa Minha Casa Minha Vida.

Durante a visita, estava em fase mista – primeira etapa em finalização e segunda etapa em fase intermediária – sendo executados os serviços: elevação de alvenaria; reboco; contrapiso; pintura; instalações elétricas e hidrossanitárias; esquadrias; revestimento cerâmico; infraestrutura da periferia.

Contava com 100 colaboradores, sendo 50 profissionais (pedreiros, carpinteiros, armadores, pintores, eletricitas, encanadores) e 50 ajudantes. Sua equipe técnica era composta

por um gerente de obra, um engenheiro de campo, dois estagiários de engenharia, um mestre e quatro técnicos em edificações.

- AE 3

O empreendimento denominado AE 3, executado pela empresa B, era localizado na cidade de São Cristóvão (Grande Aracaju). Composto por seis torres de sete pavimentos-tipo, tendo seis apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo baixo, sendo voltado para classe C. Sua construção fazia parte do programa Minha Casa Minha Vida.

Durante a visita, estava em fase de obra bruta, sendo executados os serviços: elevação de alvenaria; reboco; contrapiso; instalações elétricas e hidrossanitárias; revestimento cerâmico; esquadrias.

Contava com cerca de 110 colaboradores, sendo 47 profissionais (pedreiros, carpinteiros, armadores, eletricitas, encanadores) e 33 ajudantes. Sua equipe técnica era composta por um gerente de obra, um auxiliar de engenharia, um mestre e três encarregados.

8.1.4 Empreendimentos de Paredes de Concreto Moldadas no Local (PCML)

- PCML 1

Executado pela empresa A, o empreendimento denominado PCML 1 era localizado em São Cristóvão (Grande Aracaju). Composto por sete torres de oito pavimentos-tipo com área de 400 m², tendo oito apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo baixo, sendo voltado para classe C. Sua construção fazia parte do programa Minha Casa Minha Vida.

Durante a visita, estava em fase mista, com quase todos os serviços sendo executados de forma concomitante – característica inerente ao sistema construtivo – tais como: execução das paredes de concreto; contrapiso; instalações elétricas e hidrossanitárias; esquadrias; revestimento cerâmico; pintura.

Contava com 178 colaboradores, sendo 112 profissionais (pedreiros, eletricitas, encanadores, pintores) e 66 ajudantes (inclusa a equipe da estrutura). Sua equipe técnica era composta por um gerente de obra, dois engenheiros de campo, três assistentes de engenharia, quatro analistas de obra, dois estagiários de engenharia e um mestre.

- PCML 2

O empreendimento denominado PCML 2, executado pela empresa A, era localizado na cidade de São Cristóvão (Grande Aracaju). Composto por cinco torres de oito pavimentos-tipo com área de 430 m², tendo 11 apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo baixo, sendo voltado para classe C. Sua construção fazia parte do programa Minha Casa Minha Vida.

Durante a visita, estava em fase intermediária, sendo executados os serviços: execução das paredes de concreto; instalações elétricas e hidrossanitárias; revestimento cerâmico.

Contava com 100 colaboradores, sendo 50 profissionais (pedreiros, carpinteiros, armadores, pintores, eletricitas, encanadores) e 50 ajudantes. Sua equipe técnica era composta por um gerente de obra, um engenheiro de campo, um engenheiro de logística, cinco estagiários de engenharia, três técnicos em edificações.

- PCML 3

O empreendimento denominado PCML 3, executado pela empresa C, era localizado na cidade de Nossa Senhora do Socorro (Grande Aracaju). Composto por 44 torres de quatro pavimentos-tipo, tendo quatro apartamentos por andar. Tinha padrão construtivo baixo, sendo voltado para classe C. Sua construção fazia parte do programa Minha Casa Minha Vida.

Durante a visita, estava em fase de acabamento, sendo executados os serviços: contrapiso; revestimento cerâmico; instalações hidrossanitárias; pintura; esquadrias; infraestrutura da periferia.

Contava com 110 colaboradores, sendo 60 profissionais (pedreiros, carpinteiros, eletricitas, encanadores, pintores) e 40 ajudantes. Sua equipe técnica era composta por um gerente de obra, um engenheiro de campo, um assistente de engenharia, um mestre e dois encarregados.

8.2 IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DA VARIABILIDADE DOS PROCESSOS PARA CADA SISTEMA CONSTRUTIVO E CLASSIFICAÇÃO EM NÍVEIS DE RISCO

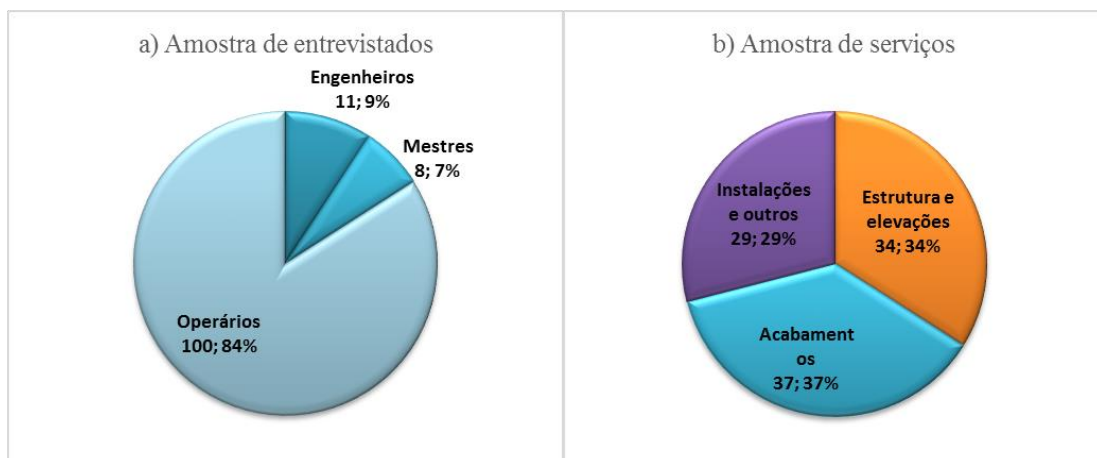
Neste subcapítulo são apresentados os resultados do tratamento de dados levantados pelo questionário do Apêndice B.

8.2.1 Dados gerais da aplicação do questionário

Durante as visitas aos nove empreendimentos participantes da pesquisa, ao todo, foram entrevistados 119 funcionários entre engenheiros, mestres e operários (Figura 21 a). A amostra de engenheiros correspondeu a uma parcela de 9% do total de entrevistados, assim como os mestres corresponderam a 7% e os operários a 84%.

Os serviços analisados foram agrupados em três (Figura 21 b): estrutura e elevações; acabamentos; instalações e outros serviços. O grupo de estruturas e elevações – 34% das entrevistas – era composto pelos serviços de armação e fôrma estrutural, além das elevações. O grupo de acabamentos – 37% das entrevistas – englobava reboco, cerâmica, contrapiso e pintura. Já o grupo de instalações e outros serviços – 29% das entrevistas – era composto por instalações diversas, esquadrias, arremates, etc.

Figura 21: Amostra global de entrevistados e serviços analisados na pesquisa.

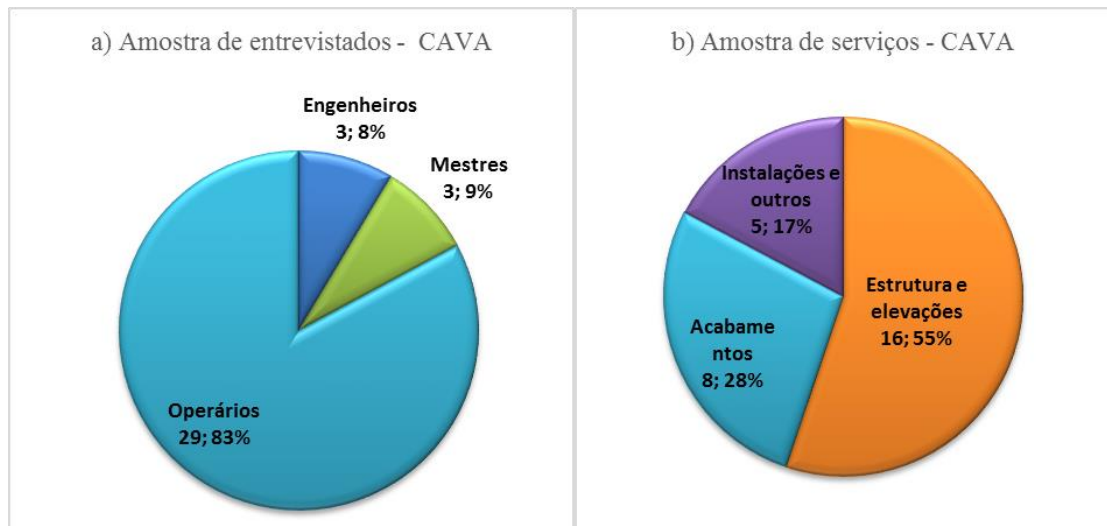


Fonte: O autor (2017).

8.2.2 Identificação das causas e análise em níveis de risco para o sistema CAVA

A Figura 22 detalha a amostra de entrevistados e serviços analisados deste sistema. Foram entrevistados três engenheiros, três mestres e 29 operários. Dentre estes operários, 16 eram dos serviços de estrutura e elevações, oito de acabamentos e cinco de instalações e outros serviços.

Figura 22: Amostra de entrevistados e serviços analisados - CAVA.



Fonte: O autor (2017).

O Quadro 7 mostra os resultados da aplicação da primeira parte do questionário nos empreendimentos do sistema CAVA. Nele, apresentam-se as médias das respostas dos entrevistados para as variáveis intensidade e frequência, além do Fator de Atraso, calculado através da fórmula $FA = I \times F$.

Quadro 7: Resultados da análise das causas do sistema CAVA.

Causa	Intensidade (I)	Frequência (F)	Fator de Atraso	Causa	Intensidade (I)	Frequência (F)	Fator de Atraso (FA)
1	0,91	0,97	0,88	17	0,67	0,56	0,37
2	1,41	1,00	1,41	18	1,54	1,65	2,55
3	3,06	2,79	8,54	19	0,33	0,33	0,11
4	3,34	2,90	9,68	20	0,66	0,55	0,36
5	0,28	0,25	0,07	21	1,72	1,46	2,51
6	0,90	0,79	0,71	22	3,00	2,34	7,02
7	1,67	1,67	2,78	23	1,33	1,44	1,93
8	2,84	2,25	6,40	24	1,11	1,00	1,11
9	0,28	0,12	0,03	25	1,62	1,70	2,76
10	0,62	0,33	0,20	26	0,89	0,67	0,60
11	0,00	0,00	0,00	27	1,22	1,56	1,90
12	2,09	2,87	6,00	28	1,67	1,44	2,41
13	0,61	0,59	0,36	29	0,11	0,11	0,01
14	0,22	0,33	0,07	30	0,22	0,44	0,10
15	2,05	1,88	3,85	31	0,64	0,33	0,21
16	1,33	1,44	1,93	Média	1,24	1,15	2,16
				Soma do Fator de Atraso (SFA)	66,85		

Fonte: O autor (2017).

A partir do Quadro 7, observa-se que a variável intensidade teve uma média de 1,24 e a variável frequência apresentou média de 1,15. Estes valores estão próximos à escala 1, que corresponde ao nível Muito Baixo para a intensidade (Quadro 4) e Raro para a frequência (Quadro 5).

Estes resultados podem levar a uma conclusão precipitada de que os problemas, quanto aos atrasos, têm pouca relevância, porém, é fato que, ao analisar as causas individualmente, encontra-se uma alta variação. Algumas causas apresentaram valores irrelevantes – 9 (complexidade do trabalho), 29 (comunicação entre engenheiro e mestre) e 11 (baixo grau de repetição) – e outras, valores consideráveis, como as causas 4 (baixa qualidade do trabalho anterior), 3 (retrabalho) e 22 (atraso no recebimento de materiais).

Para analisar de forma mais adequada a realidade do sistema, foi estabelecido um *ranking* de causas (Quadro 8) a partir dos valores do Fator de Atraso, trazendo ainda suas respectivas categorias. Este *ranking* considera as oito causas mais relevantes, correspondendo a 25% das 31 causas. Uma metodologia semelhante foi utilizada por Wambeke et al. (2011) e Russel et al. (2014).

Quadro 8: *Ranking* das principais causas do sistema CAVA.

Ranking	Causa	Descrição	Categoria	Intensi- dade (I)	Frequên- cia (F)	Fator de Atraso (FA)
1	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	3,34	2,90	9,68
2	3	Retrabalho devido qualidade anterior	1. Pré-requisito do trabalho	3,06	2,79	8,54
3	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	3,00	2,34	7,02
4	8	Requisitos de controle de qualidade	2. Detalhamento do projeto e método do trabalho	2,84	2,25	6,40
5	12	Socialização	3. Mão de obra	2,09	2,87	6,00
6	15	Baixa disposição/motivação	3. Mão de obra	2,05	1,88	3,85
7	7	Qualidade dos documentos	2. Detalhamento do projeto e método do trabalho	1,67	1,67	2,78
8	25	Forma de transporte do material	6. Condições de trabalho/local de trabalho	1,62	1,70	2,76
Média				2,46	2,30	5,88
Soma do Fator de Atraso (SFA)						47,02

Fonte: O autor (2017).

Pode-se confirmar a relevância das oito principais causas, comparando a soma do Fator de Atraso (SFA) das 31 causas (66,85) com a das oito causas (47,02). Juntas a SFA destas principais causas correspondem a cerca de 70% da SFA das 31 causas. Isto mostra que um grupo pequeno de causas responde pela maior parte do impacto da variabilidade no sistema CAVA.

Analisando a lista das principais causas, percebe-se que as três causas mais críticas – 4 (baixa qualidade anterior), 3 (retrabalho) e 22 (atraso no recebimento de materiais) – para este sistema são comumente conhecidas no ambiente da construção. Apesar dos avanços tecnológicos e melhorias no processo de gestão, elas ainda persistem.

Reis et al. (2016) indicam como as principais causas de atraso em obras o atraso na entrega de materiais e retrabalhos devido a erros durante a construção. De Filippi e Melhado (2015) também encontraram em sua pesquisa o retrabalho devido a erros na construção e atraso na entrega de materiais como, respectivamente, a sétima e nona causas mais frequentes de atrasos em obras.

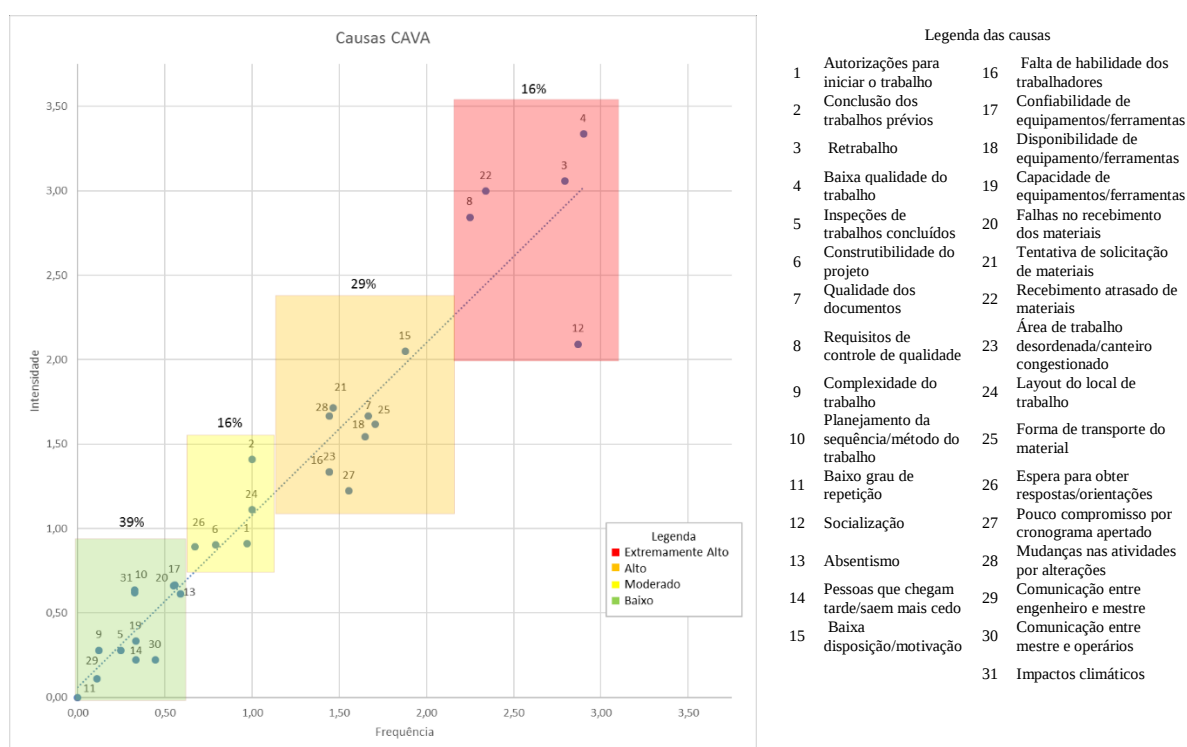
Outra situação interessante foi a quarta colocação da causa 8 (requisitos de controle de qualidade). Durante as entrevistas nos três sistemas construtivos, muitos operários relataram que a alta exigência de qualidade acabava diminuindo sua produtividade e atrasando o serviço,

já outros não reconheciam a causa como fator de atraso, já que a qualidade deveria ser algo inerente à execução do serviço. Talvez as condições suficientes para que se produza com qualidade não estivessem sendo oferecidas de maneira adequada nas obras de CAVA.

A causa 25 (forma de transporte dos materiais) destacou-se entre as principais, refletindo uma situação comum neste tipo de sistema construtivo. Apesar do tipo de movimentação de materiais destas obras ter uma parcela maior de verticalização, a ocorrência de atrasos e paradas por conta de falhas no sistema de transporte era uma constatação frequente. Isto foi observado, por exemplo, em uma das obras visitadas, que estava com um dos dois elevadores de transporte de material quebrado, não havendo outro equipamento de transporte além destes.

Na Figura 23 é mostrado o gráfico obtido a partir das variáveis intensidade e frequência. Nele, estão inseridos os quadros relativos aos quatro níveis de risco classificando as causas em risco baixo, moderado, alto e extremamente alto. Esta classificação foi obtida a partir do processo de análise de *Clusters*, conforme detalhado na metodologia do trabalho.

Figura 23: Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco – CAVA.



Fonte: O autor (2017).

Ao calcular a correlação entre as variáveis intensidade e frequência, encontrou-se o coeficiente de 0,95. Conforme Morettin e Bussab (2012), isto quer dizer que há uma forte associação entre as duas variáveis, mostrando uma tendência linear crescente, ou seja, quando se aumenta o valor de uma variável, aumenta-se também o valor da outra.

Do ponto de vista da gestão, isto não é um resultado adequado, pois significa que os atrasos mais frequentes são também aqueles que têm uma maior intensidade, impactando de forma mais enérgica no processo de produção. Esta situação é mais grave no trecho superior direito do gráfico, onde está localizada a região de risco extremamente alto.

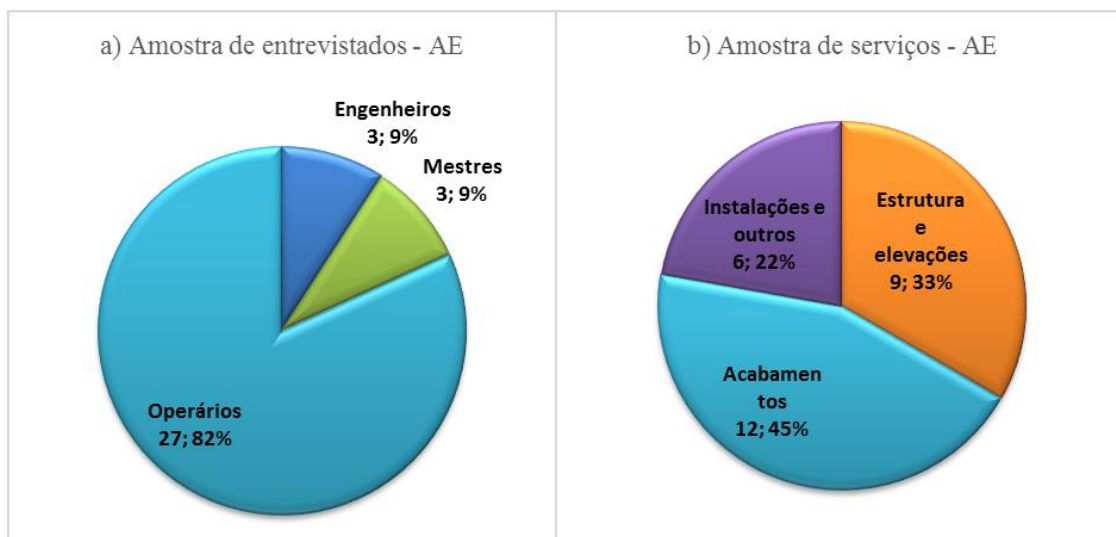
Observando o gráfico da Figura 23, pode-se analisar que cinco causas (16%) estão classificadas como de risco extremamente alto, nove causas (29%) como de risco alto, cinco (12%) como moderado e 12 causas (39%) como de risco baixo.

As cinco causas que apresentam risco extremamente alto (baixa qualidade do trabalho anterior; retrabalho devido a qualidade anterior, recebimento atrasado de materiais, requisito de controle de qualidade e socialização), estão inclusas nas cinco primeiras colocações do *ranking* das oito principais causas, confirmando a importância de analisá-las e de encontrar meios para evitá-las.

8.2.3 Identificação das causas e análise em níveis de risco para o sistema AE

Conforme mostrado na Figura 24, foram entrevistados três engenheiros, três mestres e 27 operários. Dentre estes, seis eram dos serviços de estrutura e elevações, 12 de acabamentos e seis de instalações e outros serviços.

Figura 24: Amostra de entrevistados e serviços analisados - AE.



Fonte: O autor (2017).

O Quadro 9 mostra os resultados da aplicação da primeira parte do questionário nos empreendimentos do sistema AE. Para a análise, foi seguida a mesma organização do Quadro 7, do subcapítulo anterior.

Quadro 9: Resultados da análise das causas do sistema AE.

Causa	Intensidade (I)	Frequência (F)	Fator de Atraso (FA)	Causa	Intensidade (I)	Frequência (F)	Fator de Atraso (FA)
1	1,20	1,15	1,38	17	1,17	0,60	0,71
2	2,24	1,37	3,08	18	0,97	1,19	1,15
3	1,43	1,36	1,95	19	0,00	0,00	0,00
4	1,56	1,65	2,58	20	0,79	0,57	0,45
5	0,44	0,56	0,24	21	1,18	2,01	2,37
6	1,01	1,33	1,35	22	3,27	3,19	10,41
7	1,91	0,84	1,61	23	0,38	0,37	0,14
8	1,40	1,60	2,24	24	0,11	0,11	0,01
9	0,68	0,20	0,13	25	1,52	1,31	1,99
10	1,50	1,12	1,68	26	0,35	0,57	0,20
11	0,00	0,00	0,00	27	0,00	0,00	0,00
12	2,26	3,51	7,92	28	0,33	0,44	0,15
13	2,02	1,90	3,83	29	0,11	0,22	0,02
14	0,11	0,22	0,02	30	0,04	0,01	0,00
15	2,18	2,54	5,55	31	3,24	0,88	2,84
16	1,41	1,78	2,50	Média	1,12	1,05	1,82
				Soma do Fator de Atraso			56,51

Fonte: O autor (2017).

Assim como no sistema CAVA, as variáveis intensidade e frequência, respectivamente, do sistema AE tiveram médias baixas (1,12; 1,05), contra (1,24; 1,15).

As médias dos dois sistemas foram analisadas a partir do teste t de *Student* na forma bicaudal, com hipótese nula de médias iguais para as duas amostras e nível de confiança de 95%. Foram obtidos os resultados de T_{calc} (T calculado), T_{crit} (T crítico) e o p -valor, respectivamente (0,65; 2,01; 0,51). Já que o $T_{calc} < T_{crit}$, não se pode rejeitar a hipótese. Ou seja, não há diferença substancial entre as médias.

O *ranking* de causas para o sistema AE, pode ser observado no Quadro 10, que mostra as oito principais causas deste sistema, ordenadas a partir do Fator de Atraso.

Quadro 10: Ranking das principais causas do sistema AE.

<i>Ran- king</i>	<i>Cau- sa</i>	Descrição	Categoria	Intensi- dade (I)	Frequên- cia (F)	Fator de Atraso (FA)
1	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	3,27	3,19	10,41
2	12	Socialização	3. Mão de obra	2,26	3,51	7,92
3	15	Baixa disposição/motivação	3. Mão de obra	2,18	2,54	5,55
4	13	Absentismo	3. Mão de obra	2,02	1,90	3,83
5	2	Conclusão dos trabalhos prévios	2. Pré-requisito do trabalho	2,24	1,37	3,08
6	31	Impactos climáticos	8. Clima	3,24	0,88	2,84
7	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	1,56	1,65	2,58
8	16	Falta de habilidade dos trabalhadores	3. Mão de obra	1,41	1,78	2,50
Média				2,27	2,10	4,84
Soma do Fator de Atraso (SFA)						38,71

Fonte: O autor (2017).

A soma do Fator de Atraso das oito principais causas (38,71) responde por 68% da SFA total do sistema AE (56,51), um resultado próximo ao obtido no sistema CAVA (70%). Isto mostra a relevância destas 8 causas.

Ao ser aplicado o teste t de *Student*, entre as médias do Fator de Atraso das oito causas do sistema CAVA com a do AE, com os mesmos parâmetros utilizados anteriormente, foram obtidos os resultados de *T calc* (T calculado), *T crit* (T crítico) e o *p-valor*, respectivamente (0,75; 2,14; 0,46). Isto indica que não se pode rejeitar a hipótese de que elas sejam iguais.

A causa mais grave do sistema AE foi a 22 (recebimento atrasado dos materiais), corroborando com o discutido anteriormente, é uma das principais queixas negativas no ambiente da construção.

Um dos fatores que pode ter influenciado o resultado da causa 22 é a horizontalidade dos canteiros, típica destas obras, que geralmente possuem muitas torres espalhadas em um terreno de grandes dimensões. Isto exige meios mais eficientes de movimentação de materiais tanto na horizontal, quanto na vertical. Caso não haja um planejamento e mecanismos eficientes, pode levar a problemas na logística de entrega de materiais.

Isto foi evidenciado durante as observações destas obras, que tinham canteiros grandes e, muitas vezes, não dispunham de equipamentos adequados para realizar a movimentação. Em

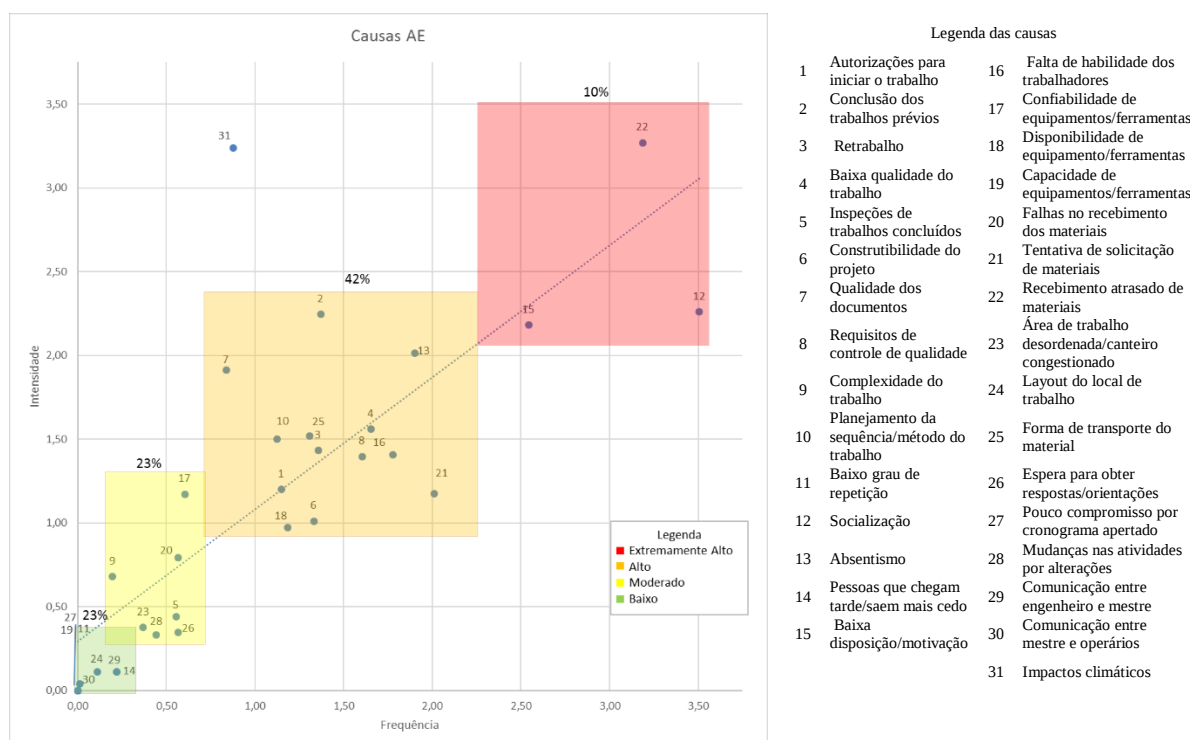
algumas delas, por exemplo, havia tratores e caminhões para fazer a movimentação horizontal dos materiais. Apesar de ser uma alternativa, não é a mais correta, pois não apresenta mobilidade adequada no canteiro nem adaptação para a devida função.

Outro aspecto interessante quanto às principais causas do *ranking*, foram as quatro pertencentes à categoria mão de obra: 12 (socialização), 15 (baixa disposição), 13 (absenteísmo) e 16 (falta de habilidade dos trabalhadores). Isto pode indicar uma baixa disposição da mão de obra com o trabalho, acarretando na diminuição da produtividade. Resultados semelhantes foram discutidos em outras pesquisas do gênero.

Wambeke et al. (2011) encontraram em sua pesquisa a socialização como o quarto fator de atraso de atividades. Reis et al. (2016) indicam como uma das principais causas de atraso em obras o baixo compromisso da mão de obra e o baixo nível de produtividade. De Filippi e Melhado (2015) indicam o baixo nível de produtividade da mão de obra como a quinta causa mais relevante de atraso em obras.

As causas 2 (conclusão dos trabalhos prévios) e 4 (baixa qualidade do trabalho anterior), da categoria pré-requisito do trabalho, também foram apontadas por Wambeke et al. (2011) como uma das principais causas de atraso.

A seguir, é mostrado o gráfico da Figura 25 obtido a partir das variáveis intensidade e frequência, com os quadros relativos aos quatro níveis de risco classificando as causas em risco baixo, moderado, alto e extremamente alto.

Figura 25: Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco – AE.

Fonte: O autor (2017).

Ao analisar a correlação entre as variáveis intensidade e frequência, foi encontrado o coeficiente de 0,78. Com isto, é possível afirmar que há uma associação considerável entre as duas variáveis, mostrando uma tendência linear crescente. Porém, a correlação apresentada para este sistema foi inferior à do sistema CAVA (0,95).

Apenas três causas estão classificadas no nível de risco extremamente alto, sendo elas: 22 (recebimento atrasado de materiais), 12 (socialização) e 15 (falta de disposição). Elas representam cerca de 10% das causas. Outras 13 causas (42%) estão inclusas no nível de risco alto, sete causas (23%) como de risco moderado e sete causas (23%) como de baixo risco.

Mesmo que a pouca quantidade de causas classificadas como de risco extremamente alto seja um fator importante, deve-se considerar que 42% das causas estejam dispostas na classificação de alto risco, sendo um número relevante.

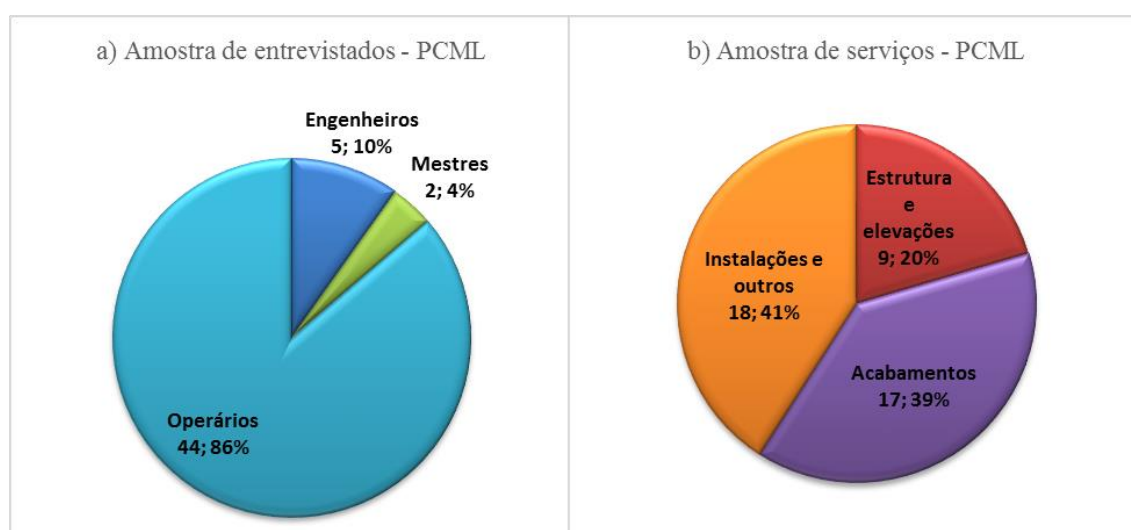
Outra situação observada no gráfico da Figura 25 é a causa 31 (impactos climáticos), este ponto se comportou como um *outlier*, não sendo possível enquadrá-lo em um dos níveis de risco. O mesmo não respeita a correlação entre as variáveis, mostrando uma intensidade alta para uma frequência relativamente baixa. Russel et al. (2014), em seu trabalho, tratam da dificuldade encontrada em classificar estes fatores que apresentam baixa frequência e alta intensidade. Os autores citam também a teoria do Cisne Negro de Taleb, que retrata os impactos

deste tipo de situação no processo da construção. Segundo esta teoria, os planejadores têm dificuldades em minorar os efeitos dos raros, porém graves, efeitos das incertezas.

8.2.4 Identificação das causas e análise em níveis de risco para o sistema PCML

Conforme mostrado na Figura 26, foram entrevistados três engenheiros, dois mestres e 44 operários. Dentre estes, nove eram dos serviços de estrutura e elevações, 17 de acabamentos e 18 de instalações e outros serviços.

Figura 26: Amostra de entrevistados e serviços analisados - PCML.



Fonte: O autor (2017).

O Quadro 11 traz os resultados da aplicação da primeira parte do questionário nos empreendimentos do sistema PCML, seguindo a mesma organização das discussões anteriores dos outros sistemas.

Quadro 11: Resultados da análise das causas do sistema PCML.

Causa	Intensidade (I)	Frequência (F)	Fator de Atraso (FA)	Causa	Intensidade (I)	Frequência (F)	Fator de Atraso (FA)
1	1,78	1,90	3,38	17	2,36	1,76	4,17
2	2,01	1,79	3,58	18	1,88	1,65	3,11
3	2,01	1,92	3,86	19	1,30	0,93	1,21
4	2,07	1,84	3,82	20	1,49	1,29	1,92
5	1,36	1,24	1,69	21	1,99	1,75	3,48
6	0,85	0,57	0,48	22	2,12	1,78	3,77
7	0,95	0,73	0,69	23	0,75	0,65	0,48
8	1,42	1,38	1,95	24	0,52	0,39	0,20
9	1,58	1,28	2,02	25	0,83	0,82	0,68
10	1,36	1,26	1,72	26	1,62	1,13	1,83
11	0,11	0,29	0,03	27	0,08	0,13	0,01
12	1,40	1,33	1,86	28	0,81	0,30	0,24
13	2,17	1,48	3,21	29	1,24	1,08	1,34
14	0,53	0,64	0,34	30	0,99	0,97	0,97
15	1,63	1,33	2,16	31	1,59	0,98	1,57
16	0,44	0,47	0,21	Média	1,33	1,13	1,81
				Soma do Fator de Atraso			55,99

Fonte: O autor (2017).

O sistema PCML apresentou as médias das variáveis intensidade e frequência mais altas, respectivamente (1,13; 1,81), comparando-se com os anteriores. Porém, estas médias ainda podem ser consideradas pequenas e próximas da escala 1, que indica níveis Muito baixo (intensidade) e Raro (frequência).

Ao ser aplicado o teste t de *Student*, entre as médias do Fator de Atraso do sistema CAVA com a do PCML, com os mesmos parâmetros utilizados anteriormente, foram obtidos os resultados de *T calc* (T calculado), *T crit* (T crítico) e o *p-valor*, respectivamente (0,65; 2,01; 0,51). Isto indica que não se pode rejeitar a hipótese de que elas sejam iguais.

Já os resultados da comparação entre os sistemas AE e o PCML, foram *T calc* (T calculado), *T crit* (T crítico) e o *p-valor*, respectivamente (0,033; 2,01; 0,97). Isto indica que também não se pode rejeitar a hipótese de que elas sejam iguais.

No quadro 12, é mostrado o *ranking* de causas para o sistema PCML.

Quadro 12: Ranking das principais causas do sistema PCML.

Ranking	Causa	Descrição	Categoria	Intensi- dade (I)	Frequên- cia (F)	Fator de Atraso (FA)
1	17	Confiabilidade de equipamentos	4. Ferramentas e equipamentos	2,36	1,76	4,17
2	3	Retrabalho devido qualidade anterior	1. Pré-requisito do trabalho	2,01	1,92	3,86
3	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	2,07	1,84	3,82
4	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	2,12	1,78	3,77
5	2	Conclusão dos trabalhos prévios	2. Pré-requisito do trabalho	2,01	1,79	3,58
6	21	Tentativa de solicitação de materiais	5. Materiais e componentes	1,99	1,75	3,48
7	1	Obtenção de autorização para iniciar o trabalho	1. Pré-requisito do trabalho	1,78	1,90	3,38
8	13	Absentismo	3. Mão de obra	2,17	1,48	3,21
Média				2,06	1,78	3,66
Soma do Fator de Atraso						29,28

Fonte: O autor (2017).

A soma do Fator de Atraso das oito principais causas (29,28) responde por 52% da SFA total do sistema PCML (55,99), um percentual considerável, porém inferior aos obtidos pelos outros sistemas que estavam próximos a 70%.

Os resultados do teste t de *Student* para as médias do Fator de Atraso das oito causas do sistema CAVA com a do PCML foram (2,41; 2,36; 0,04), respectivamente *T calc*, *T crit* e o *p-valor*. Isto indica que a hipótese de que as médias sejam iguais pode ser rejeitada, já que $T_{calc} > T_{crit}$. Com isto, pode-se sugerir uma diferença entre as médias do sistema CAVA e PCML. Isto pode indicar que a variabilidade esteja impactando menos este sistema do que o CAVA.

Já os resultados da comparação entre os sistemas AE e PCML, foram *T calc* (*T* calculado), *T crit* (*T* crítico) e o *p-valor*, respectivamente (1,13; 2,36; 0,29). Isto indica que, já nesta situação, não se pode rejeitar a hipótese de que elas sejam iguais, sugerindo que os dois sistemas apresentam semelhanças.

A causa mais grave deste sistema foi a 17 (confiabilidade de equipamentos/ferramentas), algo peculiar em relação aos demais observados anteriormente. Este resultado pode ser consequência da mecanização presente nas obras deste sistema construtivo, aumentando a dependência com as falhas de equipamentos e ferramentas. Durante as visitas, foi observado que a industrialização deste sistema vai além da forma prática e ágil que são executadas as paredes de concreto; por conta desta rapidez, esta exigência estende-se para outros serviços, solicitando uma maior mecanização do processo.

Metade das oito causas estão ligadas à categoria de pré-requisito do trabalho: 3 (retrabalho devido a qualidade anterior), 4 (baixa qualidade do trabalho anterior), 2 (conclusão dos trabalhos prévios) e 1 (autorização para iniciar o trabalho).

O retrabalho, como já discutido anteriormente, foi uma das principais causas para o sistema CAVA, tendo este posto confirmado por outros autores. A baixa qualidade do trabalho anterior também é uma situação preocupante, sobretudo em um sistema construtivo que apresenta ciclos de execução curtos.

Um exemplo que ilustra esta situação foi visto em todas as obras visitadas deste sistema. Um serviço – informalmente chamado de “rala-rala” – (Figura 27) que não estava inicialmente incluso no planejamento da obra, era executado de forma frequente nestas obras. A finalidade deste serviço era de corrigir as falhas causadas durante a concretagem das paredes. Os encontros das placas das fôrmas, quando mal fechados, criavam fugas de nata de concreto devido à falta de estanqueidade. Já que se esperava que as paredes de concreto estivessem aptas a receber o emassamento para pintura, dispensando o reboco, estas imperfeições deviam ser corrigidas.

Figura 27: Exemplo de problemas nas paredes de concreto: falta de estanqueidade das fôrmas .



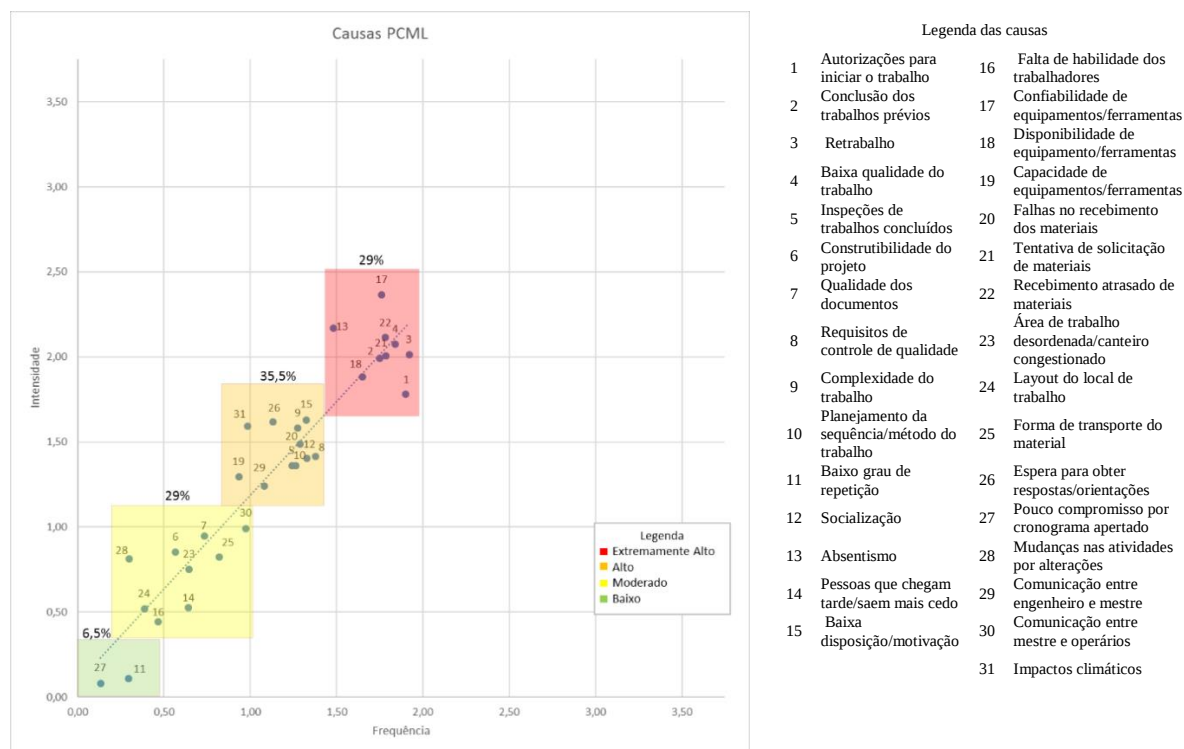
Fonte: O autor (2017).

Falhas no travamento das fôrmas (ligadas a projetos e/ou execução) causavam desvios nos esquadros das paredes, necessitando de correção com reboco de gesso. Um serviço que também não estava previsto no planejamento.

As causas 2 (conclusão dos trabalhos prévios) e 4 (baixa qualidade do trabalho anterior), da categoria pré-requisito do trabalho, também foram apontadas por Wambeke et al. (2011) como uma das principais causas de atraso.

O gráfico da Figura 28, obtido a partir das variáveis intensidade e frequência, com os quadros relativos aos quatro níveis de risco, é mostrado a seguir.

Figura 28: Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco – PCML.



Fonte: O autor (2017).

Ao analisar a correlação entre as variáveis intensidade e frequência, foi encontrado o coeficiente de 0,94. Com isto, é possível afirmar que há uma alta associação entre as duas variáveis, mostrando uma tendência linear crescente. Assim como discutido anteriormente, do ponto de vista da gestão de obra, esta tendência mostra que atrasos frequentes são aqueles que também apresentam maiores intensidades, sendo críticos, os pontos da região superior direita do gráfico.

Nove causas estão classificadas no nível de risco extremamente alto, representando 29% do total. Elas coincidem com as oito causas do *ranking*, adicionada a causa 18 (disponibilidade de equipamentos/ferramentas). Outras 11 causas (35%) estão inclusas no nível de risco alto, nove causas (29%) como de risco moderado e duas causas (6%) como de baixo risco.

Este sistema é o que apresenta mais causas classificadas como de risco extremamente alto. Esta discussão será mais aprofundada no próximo subcapítulo.

Porém, deve-se considerar outros fatores: as médias da intensidade e frequência das oito principais causas são as menores comparando-se com os outros dois sistemas, isto mostra que

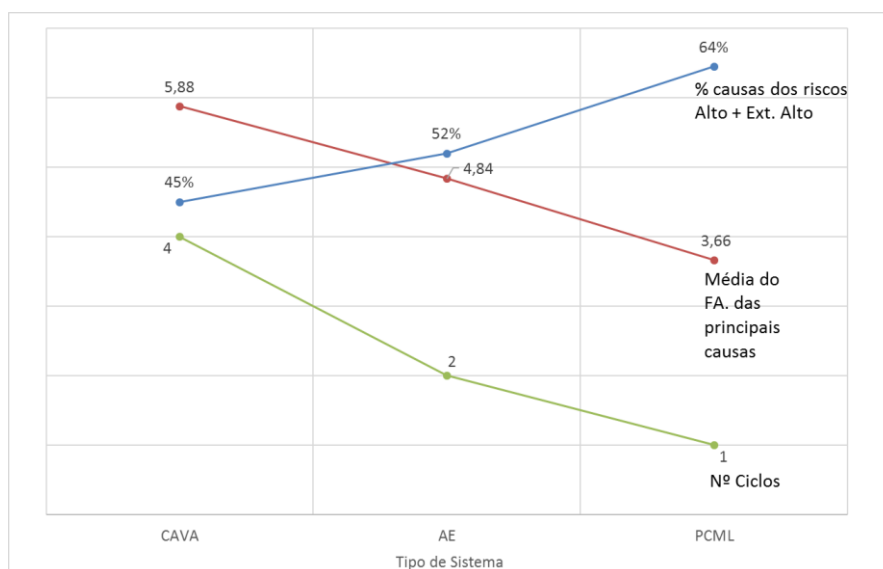
estas causas têm um impacto menor na variabilidade. A soma do Fator de Atraso das oito principais causas também segue a mesma tendência. O resultado do teste t de *Student* indica diferença nas médias da SFA deste sistema com o CAVA, reforçando esta evidência.

8.2.5 Considerações finais sobre a variabilidade dos processos nos sistemas construtivos

Após traçar o contexto dos impactos da variabilidade no tempo de execução dos processos para os três sistemas construtivos analisados, constata-se que os mesmos se comportam de forma diferente. A análise do Fator de Atraso mostrou uma tendência de que o sistema PCML sofra menos estes impactos. Por outro lado, para sistemas construtivos mais racionalizados, foi observada uma maior quantidade de causas classificadas nos níveis de risco alto e extremamente alto.

O gráfico da Figura 29 traz uma comparação dos sistemas construtivos através das suas médias do Fator de Atraso (FA) das principais causas (linha vermelha), da organização dos ciclos principais (FIGURA 16) (linha verde) e da porcentagem das causas classificadas nos níveis de risco alto e extremamente alto.

Figura 29: Comparação dos sistemas construtivos a partir do Fator de Atraso, número de ciclos e risco das causas.



Fonte: O autor (2017).

A partir da análise do gráfico da Figura 29, pôde-se levantar uma hipótese de que com a diminuição do número de ciclos (característica de sistemas mais industrializados), há a

diminuição do impacto da variabilidade. Porém, de forma contrária, houve o aumento da exposição do sistema a causas que apresentam riscos mais elevados.

Esta análise é importante, pois mostra que o sistema PCML é mais suscetível a ocorrências de variabilidades no processo. Isto acontece porque esse sistema construtivo, mais industrializado, possui tarefas com curtos tempo de ciclo (*lead time*), que trabalham em série, como se fossem atividades paralelas sem folgas. Logo, se uma dessas tarefas atrasar provocará um efeito cascata nas seguintes, imprimindo variabilidade na duração do trabalho.

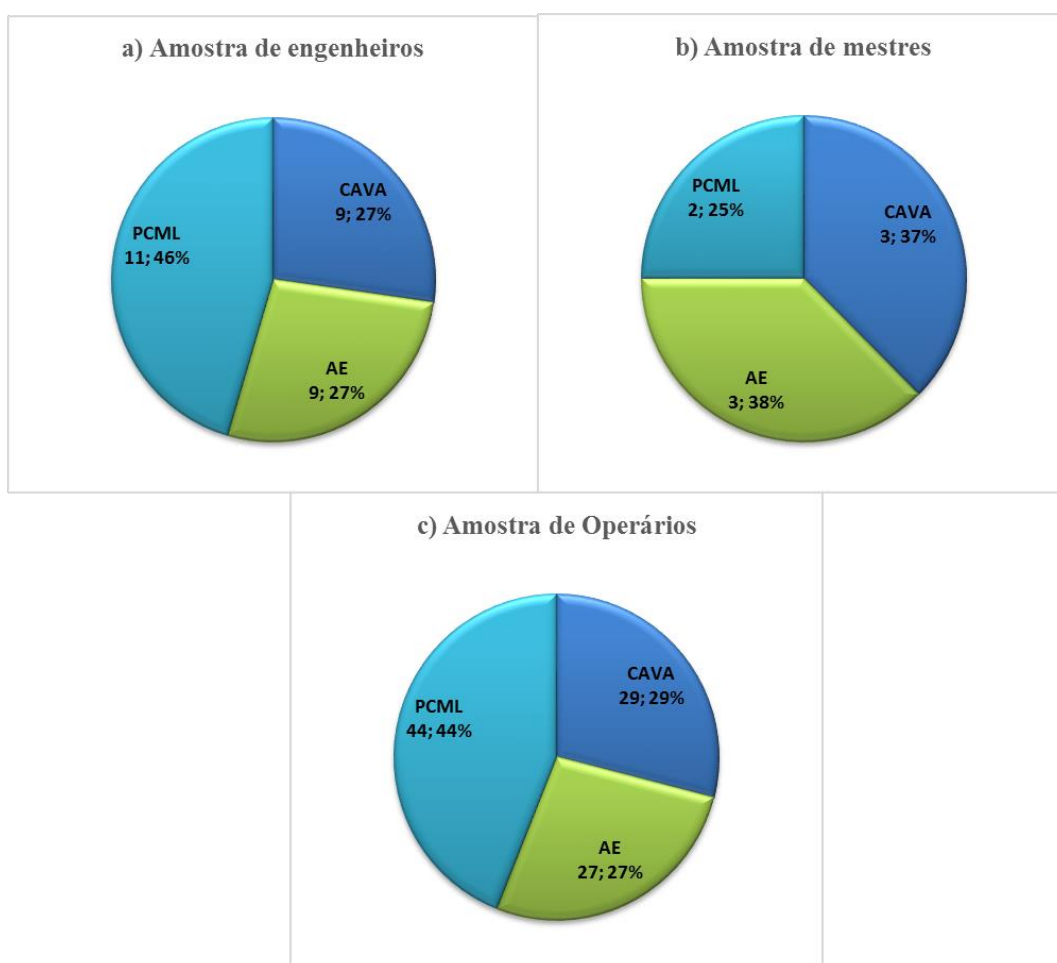
8.3 COMPARAÇÃO DAS VISÕES DOS NÍVEIS HIERÁRQUICOS QUANTO ÀS CAUSAS DA VARIABILIDADE DOS PROCESSOS

Neste subcapítulo são comparadas as visões dos níveis hierárquicos quanto às causas da variabilidade dos processos, a partir dos dados levantados pelo questionário do Apêndice B. Estes dados foram tratados seguindo a mesma metodologia do subcapítulo anterior. Foi elaborado um *ranking* de causas para cada nível (engenheiros, mestres e operários), identificando as oito principais causas. Além disto, foram obtidos os gráficos (I x F), apresentando a classificação das causas em níveis de risco.

8.3.1 Dados gerais da aplicação do questionário

Conforme a Figura 21 (a), a amostra de engenheiros correspondeu a uma parcela de 9% do total de entrevistados, assim como os mestres corresponderam a 7% e os operários a 84%. A Figura 30 detalha a amostra dos entrevistados para cada um dos sistemas construtivos.

Figura 30: Amostra de entrevistados e serviços analisados - Níveis hierárquicos.



Fonte: O autor (2017).

8.3.2 Análise comparativa através do Fator de Atraso

O Quadro 13 traz o *ranking* das principais causas para cada um dos níveis a partir dos valores do Fator de Atraso.

Quadro 13: *Ranking* das principais causas por nível hierárquico.

	Engenheiros			Mestres			Operários		
Ranking	Causa	Descrição	Fator de Atraso (FA)	Causa	Descrição	Fator de Atraso (FA)	Causa	Descrição	Fator de Atraso (FA)
1	22	Recebimento atrasado dos materiais	9,36	22	Recebimento atrasado dos materiais	9,74	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	4,14
2	3	Retrabalho devido qualidade anterior	7,84	12	Socialização	6,98	22	Recebimento atrasado dos materiais	2,62
3	12	Socialização	6,88	13	Absentismo	6,37	12	Socialização	1,74
4	15	Baixa disposição /motivação	6,64	18	Disponibilidade de equipamentos	5,86	8	Requisitos de controle de qualidade	1,69
5	21	Tentativa de solicitação de materiais	5,90	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	5,57	2	Conclusão dos trabalhos prévios	1,38
6	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	5,11	8	Requisitos de controle de qualidade	5,47	15	Baixa disposição /motivação	1,34
7	25	Forma de transporte do material	3,84	3	Retrabalho devido qualidade anterior	5,40	3	Retrabalho devido qualidade anterior	1,31
8	16	Falta de habilidade dos trabalhadores	3,58	7	Qualidade dos documentos	4,21	21	Tentativa de solicitação de materiais	0,46
	Média (Fator de Atraso)		6,14	Média (Fator de Atraso)		6,2	Média (Fator de Atraso)		1,84
	Soma (Fator de Atraso)		49,15	Soma (Fator de Atraso)		49,59	Soma (Fator de Atraso)		14,69

Fonte: O autor (2017).

O teste t de *Student* foi aplicado para a comparação dos dados de Fator de Atraso entre os engenheiros, mestres e operários.

A comparação dos dados, entre engenheiros e mestres, trouxe como resultados do T_{calc} , T_{crit} e o p -valor: (0,13; 2,00; 0,89) considerando as 31 causas; (-0,06; 2,14; 0,95) considerando as oito principais causas. Isto indica que não há diferenças entre os dados dos engenheiros e mestres.

Já os resultados entre a comparação dos dados dos engenheiros e operários, indicam que há diferenças, pois, o $T_{calc} > T_{crit}$. Foram encontrados para T_{calc} , T_{crit} e o p -valor: (5,03; 2,02; 0,000015) considerando as 31 causas; (5,40; 2,20; 0,00022) considerando as oito principais causas.

Quanto à comparação entre mestres e operários, o teste t também constatou diferença entre os dados de Fator de Atraso. Como resultados, foram obtidos para T_{calc} , T_{crit} e o p -valor: (4,70; 2,02; 0,000032) considerando as 31 causas; (6,24; 2,18; 0,000043) considerando as oito principais causas.

No quadro 13, observa-se que as causas estão marcadas em três cores, cada uma representa uma situação específica quanto à sua inclusão nos *rankings* dos três níveis: pretas

(aquelas que aparecem nos três níveis); vermelhas (contidas em dois níveis) e azuis (presentes somente em um dos níveis).

As causas 22 (recebimento atrasado dos materiais), 3 (retrabalho devido à qualidade anterior), 12 (socialização) e 4 (baixa qualidade do trabalho anterior) foram unânimes a todos os níveis hierárquicos como algumas das principais causas de variabilidade, porém, foram ordenadas de formas diferentes para cada um dos níveis.

O atraso no recebimento de materiais, de fato, teve seu posto de liderança estabelecido, sendo classificado na primeira posição para os engenheiros e mestres e na segunda para os operários. Esta causa já foi discutida anteriormente como um problema crônico da construção. Esta situação mostra que, de fato, esta visão é reconhecida para todos os níveis hierárquicos.

Ainda analisando a questão relacionada aos materiais, os engenheiros classificaram a causa 21 (tentativa de solicitação de materiais) e 25 (forma de transporte dos materiais) que, apesar desta pertencer à categoria das condições de trabalho, está diretamente ligada com a logística e as atividades de fluxo de materiais no canteiro. O fato dos engenheiros apontarem estas causas pode indicar o reconhecimento destes de que há uma falha da gestão quanto à logística dos materiais nas obras. Na outra ponta, os operários corroboram, ao classificar a tentativa de solicitação de materiais na oitava posição, reconhecendo as dificuldades deste quesito.

As causas 3 (retrabalho devido à qualidade anterior) e 4 (baixa qualidade do trabalho anterior) estão classificadas de maneiras diferentes. Os engenheiros reconhecem um maior impacto da variabilidade causado pelo retrabalho, classificando-a na segunda colocação, diferente dos mestres e operários que a classificam, ambos, na sétima posição. Já a baixa qualidade do trabalho anterior tem um reconhecimento ameno pelos engenheiros e mestres, contrário aos operários, que a classificaram como a primeira posição.

Estas diferenças mostram que os operários sentem mais os impactos da baixa qualidade do trabalho, pois o ritmo da sua atividade possivelmente é reduzido. Por outro lado, os engenheiros passam a se preocupar com a questão da qualidade quando se chega a um nível de retrabalho, pois possivelmente, a variabilidade ocasionada afeta de maneira mais drástica a programação dos serviços.

A causa 12 (socialização) também teve classificações estáveis entre os três níveis, enquadrando-se na terceira colocação para os engenheiros e operários e na segunda colocação para os mestres.

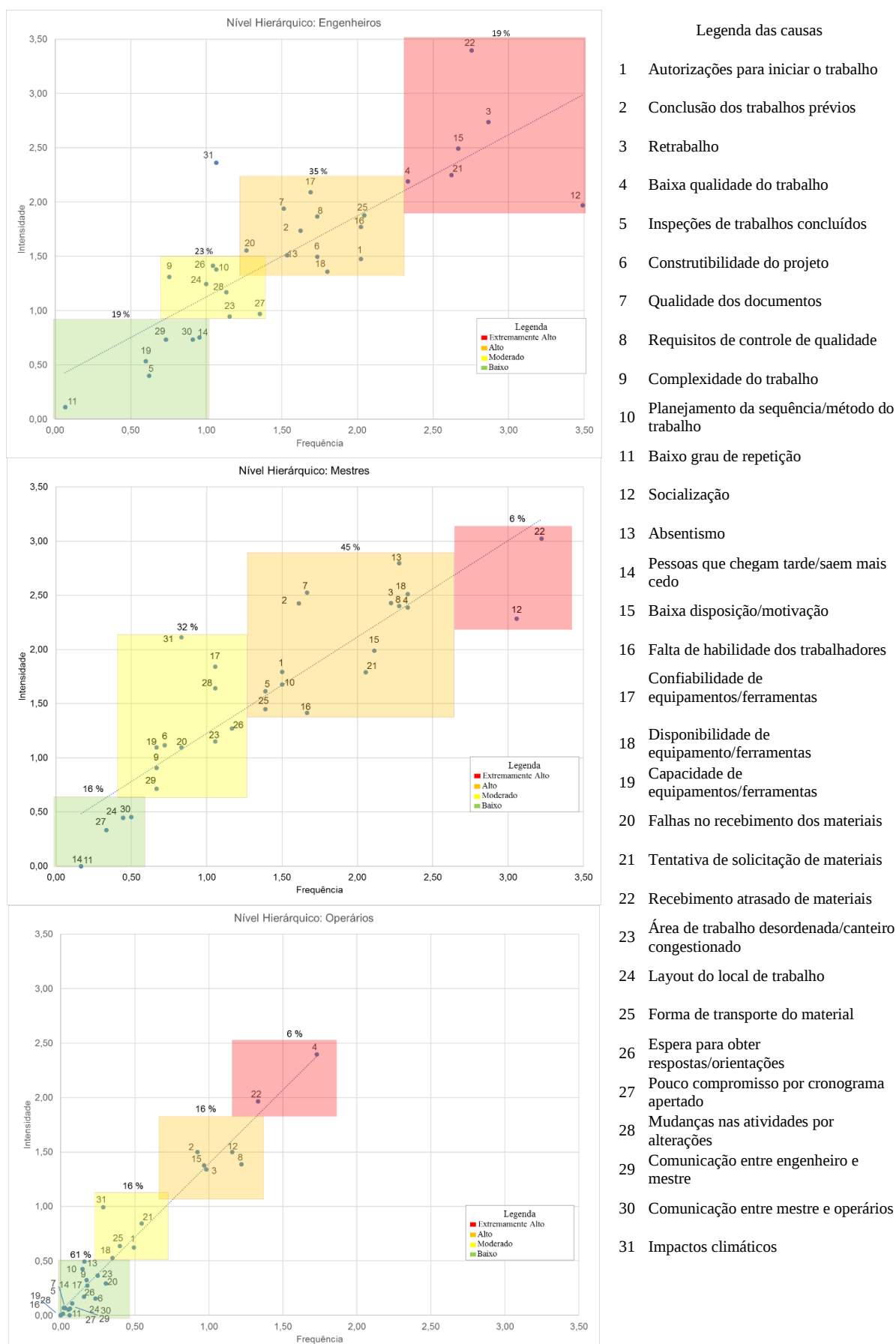
A causa 15 (baixa motivação) foi classificada somente pelos engenheiros e operários, em posições intermediárias. Já a causa 16 (falta de habilidade da mão de obra), classificada somente pelos engenheiros, pode indicar um dos fatores responsáveis pela baixa qualidade nos serviços. Os engenheiros reconhecem, então, que os problemas relacionados à mão de obra contribuem para a ocorrência de variabilidade.

Os mestres classificam o absenteísmo (causa 13) na terceira posição, afirmando os problemas relacionados com o comprometimento da mão de obra.

Este pouco envolvimento com o trabalho é confirmado pelos operários, de acordo com as suas classificações destas causas. Porém, todos estes aspectos estão ligados indiretamente à gestão, já que podem e devem ser revertidos a partir da motivação, qualificação e treinamento dos profissionais.

8.3.3 Análise comparativa através dos níveis de risco

Na Figura 31 são mostrados os três gráficos obtidos a partir das variáveis intensidade e frequência, seguindo os mesmos parâmetros formativos utilizados no subcapítulo anterior. São observados os quadros relativos aos quatro níveis de risco, classificando as causas em risco baixo, moderado, alto e extremamente alto.

Figura 31: Gráficos da (Fxl) com divisão das causas em níveis de risco para cada nível hierárquico

Fonte: O autor (2017).

Foram encontrados coeficientes de correlação das variáveis com valores elevados para os três níveis hierárquicos (0,81; 0,88; 0,97), respectivamente, dos engenheiros, mestres e operários. Isto indica, assim como nas análises anteriores, forte associação entre as variáveis frequência e intensidade, mostrando uma tendência linear crescente.

A causa 31 (impactos climáticos) foi considerada um *outlier* para a classificação dos níveis de risco dos engenheiros. A análise desta situação já foi realizada anteriormente.

A causa 22 (atraso no recebimento de materiais) foi classificada nos três níveis hierárquicos, como de risco extremamente alto. A causa 12 (socialização), também foi classificada com este risco, somente para os engenheiros e mestres. Assim como a causa 4 (baixa qualidade do trabalho anterior), classificada somente pelos engenheiros e operários.

A partir da Figura 31, observa-se que há uma tendência de diminuir a percepção do risco das causas da variabilidade à medida que se diminui o nível hierárquico. Ao analisar a distribuição das causas pelos quatro níveis de risco, percebe-se que ela é mais uniforme para o gráfico dos engenheiros. Esta distribuição tende a se concentrar em níveis de risco intermediários (moderado e alto) para o gráfico dos mestres. Há uma forte tendência de concentração no nível de risco baixo ao se analisar o gráfico dos operários. O Quadro 14 auxilia no entendimento destas diferenças.

Quadro 14: Formação dos níveis de risco.

Grupo	Níveis de Risco			
	Baixo (B)	Moderado (M)	Alto (A)	Extremamente Alto (EA)
Engenheiros	6 (19%)	7 (23%)	11 (35%)	6 (19%)
	$A + EA = 17 (54\%)$			
Mestres	5 (16%)	10 (32%)	14 (45%)	2 (6%)
	$M + A = 24 (77\%)$			
Operários	19 (61%)	5 (16%)	5 (16%)	2 (6%)
	$B + M = 24 (77\%)$			

Fonte: O autor (2017).

De fato, isto foi um resultado esperado, confirmando a hipótese de que à medida que se aumenta o nível hierárquico, aumenta-se também o reconhecimento quanto aos impactos destas causas na variabilidade do tempo de execução dos processos.

Os operários têm um horizonte de análise menor, estando atentos para aquelas causas que talvez afetem diretamente seu serviço. Já os mestres e engenheiros, por terem uma visão

global, principalmente das interações entre os processos, mostram uma percepção maior dos riscos e impactos destas causas. Uma das ferramentas que auxiliaram na análise da visão dos três níveis hierárquicos, quanto à variabilidade, foi o teste t de *student*. Ele mostrou que há diferenças significativas entre engenheiros e operários, assim como, entre mestres e operários.

8.3.4 Análise dos questionamentos complementares sobre o modo de ocorrência da variabilidade no processo

Como explicado na metodologia, após responderem a primeira parte do questionário, os entrevistados respondiam a segunda parte. Os operários não eram perguntados sobre a questão referente à programação, por não caber a este nível.

O Quadro 15, traz estes questionamentos, bem como a média das respostas para cada um dos níveis, além da média geral.

Quadro 15: Visão de ocorrência da variabilidade.

Questionamentos sobre as causas da variabilidade	Engenheiros	Mestres	Operários	Média
<i>Grau em que ocorrem no início do serviço (0 – 5)</i>	2,91	1,89	2,17	2,32
<i>Grau em que ocorrem durante o serviço (0 – 5)</i>	1,67	1,89	1,76	1,77
<i>Grau em que afetam a programação (0 – 5)</i>	1,89	2,17	NA	2,03

NA: não avaliado

Escala: 0 (não ocorre/afeta); 1 (raro/muito baixo); 5 (sempre/ muito alto)

Fonte: O autor (2017).

Os dois primeiros questionamentos indagam em que grau as causas da variabilidade ocorrem no início e durante os serviços.

Para os engenheiros, estas causas ocorrem no início dos serviços em uma escala próxima a 3 (possível), ocorrem durante os serviços em uma escala próxima a 2 (pouco possível). Para os mestres, os dois tipos de ocorrências estão próximos à escala 2 (pouco possível). Para os operários, ambos resultados estão também próximos à escala 2.

O último questionamento trata sobre o grau em que a variabilidade afeta a programação. Tanto para os engenheiros (1,89) quanto para os mestres (2,17) os valores obtidos foram próximos à escala 2 (baixo). Isto sugere que, apesar de ocorrer variabilidade nos processos, não há consequências maiores na programação dos trabalhos. Outra hipótese mais preocupante é a de que os gestores possam não reconhecer – erroneamente – que esta variabilidade esteja afetando a programação dos trabalhos.

Para Russel (2013), são utilizados vários artifícios na construção para absorver a variação causada pela sua própria complexidade, um deles seriam os *buffers* de tempo que são adicionados às durações das tarefas para amortecer as variações. O autor supracitado ressalva que o uso excessivo de *buffers* mascara, justamente, as variações, não sendo a forma mais adequada de tratá-las.

8.4 VISÃO GERAL DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE NO TEMPO DE EXECUÇÃO DOS PROCESSOS

Ao longo das discussões deste capítulo, foram analisadas as causas da variabilidade a partir de diversas vertentes, fossem elas relacionadas aos sistemas construtivos ou aos níveis hierárquicos. Além das divergências, foram encontradas também algumas semelhanças, cabendo fazer uma análise geral das principais causas da variabilidade. Isto possibilita a disponibilização de dados e análises para que possam ser comparados com outras realidades.

8.4.1 Identificação das causas e análise através do Fator de Atraso

O Quadro 16 mostra os resultados da aplicação da primeira parte do questionário nos nove empreendimentos visitados. Estes valores foram obtidos através das médias das respostas dos três níveis pesquisados (engenheiros, mestres e operários), independentemente do tipo de sistema ao qual eles pertenciam.

Quadro 16: Resultados gerais da análise das causas da variabilidade.

Causa	Intensidade (I)	Frequência (F)	Fator de Atraso (FA)	Causa	Intensidade (I)	Frequência (F)	Fator de Atraso (FA)
1	1,30	1,34	1,74	17	1,40	0,97	1,37
2	1,89	1,39	2,61	18	1,47	1,49	2,19
3	2,17	2,02	4,39	19	0,54	0,42	0,23
4	2,32	2,13	4,95	20	0,98	0,80	0,79
5	0,69	0,68	0,47	21	1,63	1,74	2,84
6	0,92	0,90	0,83	22	2,79	2,44	6,81
7	1,51	1,08	1,63	23	0,82	0,82	0,67
8	1,89	1,74	3,29	24	0,58	0,50	0,29
9	0,85	0,53	0,45	25	1,32	1,28	1,69
10	1,16	0,90	1,05	26	0,95	0,79	0,75
11	0,04	0,10	0,00	27	0,43	0,56	0,24
12	1,92	2,57	4,93	28	0,94	0,73	0,68
13	1,60	1,32	2,12	29	0,49	0,47	0,23
14	0,29	0,40	0,11	30	0,42	0,48	0,20
15	1,95	1,92	3,74	31	1,82	0,73	1,33
16	1,06	1,23	1,31	Média	1,23	1,11	1,74
				Soma do Fator de Atraso (SFA)	53,92		

Fonte: O autor (2017).

As variáveis apresentaram médias baixas (1,23; 1,11), sugerindo que estas causas têm classificações próximas à escala 1, tanto para frequência (rara), quanto para a intensidade (muito baixa).

O *ranking* das oito principais causas é apresentado no Quadro 17, sendo ordenado a partir do Fator de Atraso. Um quadro comparativo é mostrado, trazendo levantamentos de trabalhos de outros autores (WAMBEKE, 2011; RUSSEL, 2013; DE FILIPPI; MELHADO, 2015; REIS et al., 2016).

Wambeke (2011) levantou as causas de variações nos EUA. Russel (2013) analisou os fatores mais graves e frequentes que causam a adição de *buffer* de tempo na construção nos EUA. De Filippi e Melhado (2015) pesquisaram as causas de atrasos em obras na Grande São Paulo. Reis et al. (2016) levantaram as causas de atrasos em obras na Região Metropolitana de Belém.

Quadro 17: *Ranking* das principais causas da variabilidade e comparação com outros trabalhos.

Ranking das causas					Comparação com outros trabalhos			
Ranking	Causa	Descrição	Categoria	Fator de Atraso	Wambeke (2011)	Russel (2013)	De Filippi e Melhado (2015)	Reis et. al (2016)
1	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	6,81	NE	12 ^a	9 ^a	1 ^a
2	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	4,95	NE	11 ^a	NE	NE
3	12	Socialização	3. Mão de obra	4,93	3 ^a	NE	NE	NE
4	3	Retrabalho devido qualidade anterior	1. Pré-requisito do trabalho	4,39	6 ^a	3 ^a	7 ^{aE}	2 ^a
5	15	Baixa disposição/motivação	3. Mão de obra	3,74	NE	NE	5 ^a *	5 ^a *
6	8	Requisitos de controle de qualidade	2. Detalhamento do projeto/ método do trabalho	3,29	NE	10 ^a	NE	NE
7	21	Tentativa de solicitação de materiais	5. Materiais e componentes	2,84	NE	NE	NE	NE
8	2	Conclusão dos trabalhos prévios	2. Pré-requisito do trabalho	2,61	2 ^a	2 ^a	NE	NE
Média				4,19	NE: Não existe			
Soma do Fator de Atraso (SFA)				33,55	* Considerada como baixa produtividade da mão de obra.			

Fonte: O autor (2017).

A soma do Fator de Atraso das oito principais causas (33,55) responde por 56% da SFA total (59,52). Este é um resultado considerável, já que 25% das causas explicam 56% da SFA total, mostrando a relevância destas oito causas.

Observa-se no Quadro 17, que muitas das causas classificadas no *ranking* foram identificadas em trabalhos de outros autores, com posições distintas.

A causa 22 (atraso no recebimento dos materiais) foi a mais grave do *ranking* desta pesquisa. Isto foi apontado como uma tendência ao longo das análises anteriores, além da indicação em três dos quatro trabalhos comparados.

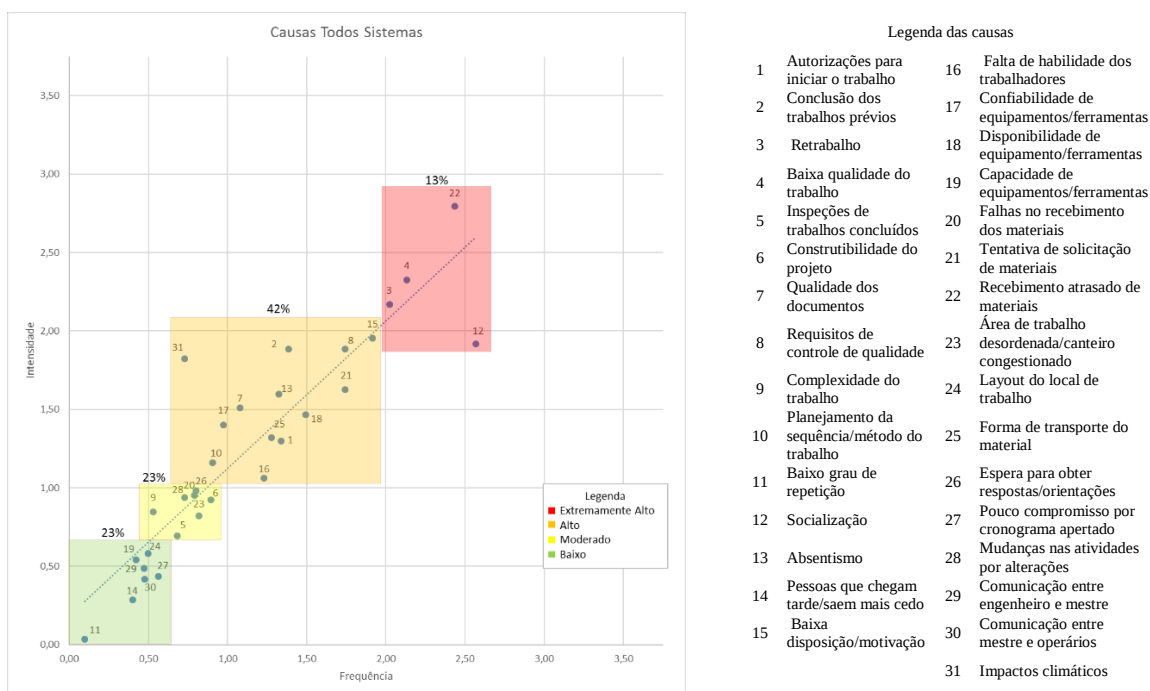
A única causa identificada em todos os outros trabalhos comparados foi a 3 (retrabalho), mostrando a relevância desta situação para o ambiente da construção.

A causa 21 (tentativa de solicitação dos materiais) não foi classificada em outros trabalhos, porém nas análises anteriores desta pesquisa, mostrou-se comum em alguns casos.

8.4.2 Análise das causas através dos níveis de risco

A Figura 32 traz o gráfico obtido a partir das variáveis intensidade e frequência, com os quadros relativos aos quatro níveis de risco, classificando as causas em risco baixo, moderado, alto e extremamente alto.

Figura 32: Gráfico da Frequência x Intensidade com divisão das causas em níveis de risco.



Fonte: O autor (2017).

Ao analisar a correlação entre as variáveis intensidade e frequência, foi encontrado o coeficiente de 0,90. Isto confirma as análises anteriores, mostrando uma tendência linear crescente entre as variáveis intensidade e frequência.

Quatro causas – 22 (recebimento atrasado de materiais), 12 (socialização), 4 (baixa qualidade do trabalho) e 3 (retrabalho) – são classificadas no nível de risco extremamente alto representando cerca de 13% das causas. Outras 13 causas (42%) estão inclusas no nível de risco alto, sete causas (23%) como de risco moderado e sete causas (23%) como de baixo risco. Apesar de somente quatro causas estarem classificadas como risco extremamente alto, uma porcentagem relevante está na zona de alto risco (42%).

As causas classificadas no nível de risco extremamente alto, coincidem com as quatro primeiras causas do *ranking*, além disto, foram bastante recorrentes nas análises anteriores, confirmando sua gravidade.

A causa 31 (impactos climáticos), apesar de ter sido classificada na zona de risco alto, se comporta como um *outlier*, assim como em outras análises anteriores. Isto confirma sua tendência de inclusão na teoria do Cisne Negro de Taleb, já discutida anteriormente.

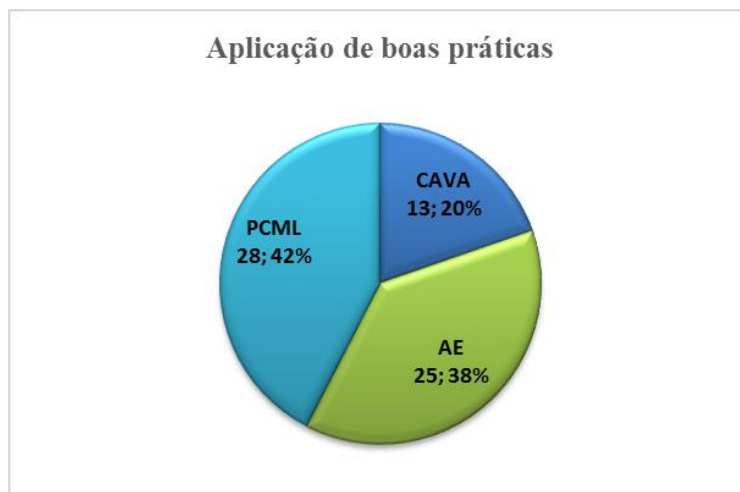
8.5 IDENTIFICAÇÃO DE BOAS PRÁTICAS QUE CONTRIBUEM PARA A DIMINUIÇÃO DA VARIABILIDADE DOS PROCESSOS

A seguir, são descritos os resultados da identificação e análise, a comparação com outros resultados obtidos na pesquisa, a sugestão de melhorias e imagens das boas práticas registradas durante as observações.

8.5.1 Identificação e análise das boas práticas

Foram identificados 21 tipos de boas práticas, que podem contribuir para a redução da variabilidade, entre os nove empreendimentos visitados. Foram levantadas 66 aplicações referentes a estes tipos. A Figura 33, mostra a quantidade de aplicações de boas práticas por sistema construtivo.

Figura 33: Quantidade de aplicação de boas práticas por sistema construtivo.



Fonte: O autor (2017).

O sistema construtivo onde mais foram identificadas aplicações de boas práticas foi o PCML (42%), seguido do AE (38%) e na terceira colocação está o sistema CAVA (20%). Este resultado aponta que obras com sistemas construtivos mais industrializados tendem a aplicar boas práticas em maior quantidade.

Apesar do sistema CAVA ser um dos sistemas mais utilizados e de aplicação já consolidada no ambiente da construção, os resultados sugerem uma deficiência quanto à presença de tecnologias e outros meios que levem à melhoria dos processos.

O Quadro 18, traz a descrição das boas práticas observadas, o local de aplicação, as vantagens, o nível hierárquico responsável, os serviços impactados, as causas de variabilidade evitadas, possibilidades de melhorias, além das obras em que foram encontradas sua aplicação.

Quadro 18: Identificação das boas práticas que auxiliam na redução da variabilidade dos processos.

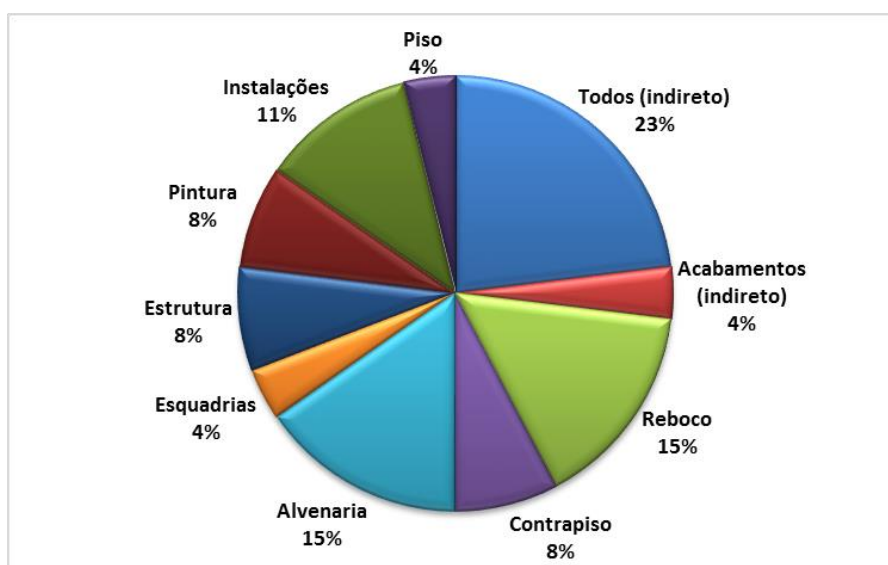
Item	Atividade	Local de Aplicação	Vantagens	Serviços Impactados	Nível Hierárquico	Causas/Categorias evitadas	Melhorias	Local de observação
1	Utilização de palheta para aplicação de argamassa de assentamento	Torres	Aumenta a eficiência da operação de assentamento de alvenaria; Reduz perda de material (argamassa)	Alvenaria	Operacional	9 (2); 19 (4)		AE 3
2	Uso de tubulações hidráulicas flexíveis	Torres	Facilita a execução do serviço, diminui o número de conexões	Instalações Hidráulicas	Operacional	6 (2) ; 9 (2)		PCML 1; PCML 3
3	Uso de <i>shafts</i> em <i>Drywall</i>	Torres	Facilita a montagem dos <i>shafts</i> ; contribui com a construtibilidade	Instalações; Acabamentos	Tático	6 (2) ; 9 (2)		PCML 1; PCML 2; PCML 3
4	Paredes dos banheiros em <i>Drywall</i>	Torres	Facilita a montagem das instalações	Instalações	Operacional	6 (2) ; 9 (2)		PCML 1; PCML 2
5	Preparação de <i>Kits</i> de materiais para um serviço	Campo	Diminui a falta de material durante o serviço; Facilita o controle dos materiais	Todos	Tático	20 (5) ; 21 (5)	SIM	PCML 1; PCML 2
6	Utilização de manipulador telescópico para transporte dos materiais	Campo	Aumenta a eficiência do transporte de materiais	Todos	Tático	22 (5) ; 25 (6)	SIM	PCML 1; PCML 2; AE 2; AE 3
7	Utilização de grua para transporte dos materiais	Campo	Aumenta a eficiência do transporte de materiais	Todos	Tático	22 (5) ; 25 (6)		PCML1
8	Utilização de mini-carregadeira para transporte horizontal de materiais	Campo	Aumenta a eficiência do transporte de materiais	Todos	Tático	22 (5) ; 25 (5)	SIM	PCML 1; AE 3; CAVA 2
9	Utilização de manipulador telescópico para pintura da fachada	Torres	Aumenta a eficiência do serviço de pintura ; Melhora a mobilidade do trabalhador	Pintura Externa	Operacional	9 (2) ; 19 (4)		PCML 1; AE 3
10	Aplicação de argamassa de revestimento mineral decorativa para fachada	Torres	Simplifica o número de passos para o acabamento da fachada	Pintura Externa	Tático	9 (2)		PCML 1; PCML 2; AE 2
11	Contrapiso autonivelante	Torres	Reduz o tempo de ciclo do serviço contrapiso ; Aumenta a qualidade do produto	Contrapiso ; piso	Tático	3 (1) ; 4 (1) ; 10 (2)	SIM	PCML 1; PCML 2; AE 1; AE 2; AE 3; CAVA 1; CAVA 2
12	Utilização de " <i>bits</i> " para auxílio da montagem das janelas	Torres	Facilita a instalação das janelas ; Aumenta a qualidade do serviço, prevenindo retrabalhos	Acabamentos	Operacional	3 (1) ; 4 (1) ; 6 (2) ; 9 (2)		PCML 3
13	Utilização de <i>kits</i> de portas prontas	Torres	Simplifica o número de passos ; Facilita a instalação das portas	Esquadrias	Operacional	3 (1) ; 4 (1) ; 9 (2)		Todas PCML; Todas AE; CAVA 1; CAVA 2
14	Utilização de argamassa usinada	Torres	Eliminação de etapas de preparação no canteiro ; Melhoria da logística ; Diminuição de atividades de fluxo	Alvenaria ; Reboco	Tático	3 (1) ; 4 (1) ; 22 (5)		AE 1; AE 3
15	Utilização de caminhão <i>munk</i> para transporte dos materiais	Campo	Aumenta a eficiência do transporte de materiais	Todos	Tático	22 (5) ; 25 (6)	SIM	AE 1
16	Betomeira com carregador de agregados	Campo	Facilita a operação do preparo de argamassas; Reduz atividades de fluxo	Elevação ; Reboco	Operacional	19 (4) ; 22 (5) ; 25 (6)		AE 2; AE 3; CAVA 2
17	Argamassadeira nos pavimentos	Torres	Diminui a movimentação do material no canteiro	Elevação ; Reboco ; Contrapiso	Tático	18 (4) ; 19 (4) ; 21 (5) ; 22 (5) ; 24 (6) ; 25 (6)		AE 2; CAVA 2
18	Argamassa projetada	Torres	Aumenta a produtividade do serviço	Reboco	Operacional	9 (2) ; 19 (4)		AE 2
19	Disponibilização de projetos no local de realização dos serviços	Torres	Aumenta a transparência das informações; Diminui os problemas de comunicação; Evita erros de execução	Todos	Tático	10 (2) ; 26 (7) ; 29 (7) ; 30 (7)		CAVA 1
20	Escoramento metálico com regulagem de nível	Torres	Melhora a qualidade da execução da estrutura; Aumenta a facilidade para nivelamento das fôrmas	Estrutura	Operacional	3 (1) ; 4 (1) ; 9 (2) ; 19 (4);		Todas
21	Utilização de nível a <i>laser</i> para nivelamento das fôrmas	Torres	Melhora a qualidade da execução da estrutura; Aumenta a facilidade para nivelamento das fôrmas	Estrutura	Operacional	3 (1) ; 4 (1) ; 9 (2) ; 19 (4);		Todas

Fonte: O autor (2017).

Dentre as boas práticas mais aplicadas estão a 21 (utilização de nível a *laser*), 20 (escoramento metálico), 13 (*kits* de portas prontas) e 11 (contrapiso autonivelante). A boa prática 3 (uso de *shafts* em *dry wall*) foi vista em apenas um dos sistemas construtivos (PCML).

Outra análise importante é quanto aos serviços impactados pelas boas práticas. Das 21 levantadas, foram identificados oito serviços que podem ser impactados diretamente, além de outros que podem ser impactados indiretamente, como os acabamentos ou, até mesmo, todos os serviços. A Figura 34 detalha a porcentagem de boas práticas que podem impactar cada serviço.

Figura 34: Porcentagem de boas práticas relacionadas aos serviços.



Fonte: O autor (2017).

Observando as descrições do Quadro 18, percebe-se que nem todas as 31 causas tiveram boas práticas de redução de variabilidade associadas. Para uma análise mais detalhada das causas que apresentaram estas boas práticas e suas respectivas quantidades, foi elaborado o Quadro 19, que trata desses dados.

Quadro 19: Quantidade de boas práticas associadas por causas.

Causa / Categoria	Descrição	Qtd. Boas práticas
9 (2)	Complexidade do trabalho	11
19 (4)	Capacidade de equipamentos/ ferramentas	7
22 (5)	Recebimento atrasado de materiais	7
3 (1)	Retrabalho devido à qualidade anterior	6
4 (1)	Baixa qualidade do trabalho anterior	6
25 (6)	Forma de transporte do material	6
6 (2)	Construtibilidade do projeto	4
10 (2)	Planejamento da sequência/ método do trabalho	2
21 (5)	Tentativa de solicitação de materiais	2
18 (4)	Disponibilidade de equipamento/ ferramentas	1
20 (5)	Falhas no recebimento dos materiais	1
24 (6)	<i>Layout</i> do local de trabalho	1
26 (7)	Espera para obter respostas/ orientações	1
29 (7)	Comunicação entre engenheiro da obra e mestre	1
30 (7)	Comunicação entre mestre/e operários	1

Fonte: O autor (2017).

Analisando o Quadro 19, 15 causas apresentaram boas práticas associadas, correspondendo a 48% do total.

As causas da categoria 2 (Detalhamento do projeto e método do trabalho) foram as que mais apresentaram boas práticas, seguida das causas da categoria 1 (Pré-requisito do trabalho) e 5 (Materiais e componentes). Isto mostra a preocupação dos gestores das obras para a diminuição dos impactos da variabilidade dos processos.

As categorias que não apresentaram nenhuma boa prática foram a 3 (Mão de obra) e 1 (Condições climáticas). Uma situação preocupante é justamente a ausência de boas práticas para a categoria mão de obra. Esta, tem algumas causas inclusas no *ranking* das principais e consideradas de risco extremamente alto.

8.5.2 Correlações entre as boas práticas identificadas e a classificação das causas da variabilidade dos processos

Para realizar uma análise mais detalhada se as principais causas, classificadas no *ranking* do Quadro 16, possuem boas práticas relacionadas, foi elaborado o Quadro 20, que cruza estas informações.

Quadro 20: Principais causas x Boas práticas.

Ranking	Causa	Descrição	Categoria	Qtd. de Boas práticas
1	22	Recebimento atrasado dos materiais	5. Materiais e componentes	7
2	4	Baixa qualidade do trabalho anterior	1. Pré-requisito do trabalho	6
3	12	Socialização	3. Mão de obra	0
4	3	Retrabalho devido qualidade anterior	1. Pré-requisito do trabalho	6
5	15	Baixa disposição/motivação	3. Mão de obra	0
6	8	Requisitos de controle de qualidade	2. Detalhamento do projeto/ método do trabalho	0
7	21	Tentativa de solicitação de materiais	5. Materiais e componentes	0
8	2	Conclusão dos trabalhos prévios	2. Pré-requisito do trabalho	0

Fonte: O autor (2017).

Somente três, das oito principais causas, possuem boas práticas associadas. Isto não exige que as demais causas não tenham atividades ou meios de tratamento para evitá-las, porém, durante as observações não foram identificadas boas práticas claras sobre as mesmas.

Um ponto positivo foi que, dentre as causas mais críticas – 22 (recebimento atrasado de materiais), 4 (baixa qualidade do trabalho) e 3 (retrabalho) –, foram identificadas quantidades elevadas de boas práticas. Isto quer dizer que os gestores estão atentos a reduzir estes impactos, porém, sugere-se que estas ações ainda não estão sendo suficientes, já que estas causas estão apontadas no *ranking*.

8.5.3 Sugestões de melhorias das boas práticas

No Quadro 18, foram apontadas cinco sugestões de melhorias (boas práticas de número 5, 6, 8, 11 e 15). A seguir, são descritas estas sugestões.

- 5 - Preparação de *kits* de materiais para os serviços

A boa prática 5 (preparação de *kits* de materiais para os serviços), observada na Figura 35 b), teve como sugestão de melhoria a implantação de *kanban* para o auxílio de fluxo de materiais. Isto se deu, pois, nas duas obras em que foram identificadas esta ação, não havia a

utilização da ferramenta *kanban* durante as visitas, apesar de haver toda a estrutura necessária para a mesma, inclusive o quadro (Figura 35 (a)).

A utilização desta ferramenta enxuta auxilia na gestão do fluxo de materiais na obra, evitando erros como o envio dos *kits* para o local, na quantidade ou no momento errado. Isto é proporcionado pela transparência da informação que a mesma possibilita ao processo.

Figura 35: Painei Kanban e exemplo da preparação de kits de materiais.



Fonte: O autor (2017).

- 6 – Utilização de manipulador telescópico para transporte de materiais

A utilização deste equipamento (Figura 36) traz um grande auxílio para o fluxo de materiais no canteiro. Ele é um dos mais adaptados para o ambiente da construção pela sua versatilidade e múltiplas funções. Porém, é um equipamento que geralmente é locado e tem um alto custo, sendo subaproveitado em muitas obras por conta do não planejamento dos caminhos e viagens a serem executados.

Esta falha foi apontada em todas as obras que possuíam este equipamento. Logo, a sugestão de melhoria apresentada é o estudo dos caminhos e racionalização das viagens para reduzir movimentações desnecessárias, melhorando assim a logística interna dos canteiros de obras.

Figura 36: Utilização do manipulador telescópico para transporte de materiais.



Fonte: O autor (2017).

- 8 – Utilização de mini-carregadeira para transporte de materiais

A mini-carregadeira (Figura 37) é um equipamento de transporte horizontal de pequeno porte e versátil, que auxilia na movimentação de agregados, entulhos e outros materiais na obra. Pelos mesmos problemas do manipulador telescópico, acaba sendo um equipamento subaproveitado por conta da falta do planejamento dos caminhos e viagens.

Cabe a mesma sugestão dada no item anterior: o estudo dos caminhos e racionalização das viagens para reduzir movimentações desnecessárias.

Figura 37: Utilização da mini-carregadeira para transporte de materiais.



Fonte: O autor (2017).

- 11 – Contrapiso autonivelante

Esta metodologia executiva de contrapiso foi identificada em quase todas as obras. De fato, reduz o tempo de ciclo em relação ao contrapiso tradicional e melhora a qualidade do produto final, atendendo às necessidades dos processos sucessores.

Porém, foram identificadas patologias em algumas obras observadas (Figura 38), que estavam ocasionando retrabalhos e pondo em risco a eficiência inerente ao processo. Não eram sabidos os motivos desta patologia, sendo sugerido por alguns engenheiros das obras que fosse por conta de problemas na execução.

Por conta disto, a sugestão de melhoria seria diminuir os retrabalhos por conta de patologias, através de um melhor preparo antes da execução (isolamento do entorno, limpeza da superfície para eliminar o pó, disposição das juntas), bem como da execução em si, com relação aos passos necessários e tempos de cura.

Figura 38: Retrabalho por conta de patologias no contrapiso autonivelante.



Fonte: O autor (2017).

- 15 – Utilização de caminhão *munck* para transporte dos materiais

Em uma das obras, foi identificada a utilização deste equipamento para o auxílio na movimentação dos materiais. Pelo canteiro ser extenso, este tipo de caminhão circulava na obra distribuindo e movimentando alguns recursos.

Foi identificado como boa prática, pois contribuía para o aumento da eficiência do transporte no canteiro, porém, deve-se salientar que isto é uma medida paliativa, já que existem equipamentos mais adequados para esta função, possibilitando uma maior eficiência.

Logo, foram sugeridas duas melhorias: a primeira, está relacionada com o estudo dos caminhos e racionalização das viagens para reduzir movimentações desnecessárias, assim como apontada em outras boas práticas de movimentação de materiais; a segunda, refere-se à possibilidade de substituição por veículos mais adequados.

8.5.4 Outros exemplos boas práticas

Dentre os exemplos de boas práticas observados nas obras, alguns são mostrados nas Figuras 39 a 41. A prática da Figura 39 foi observada em dois canteiros de obras de AE, que utilizavam argamassa de revestimento usinada com retardador de pega, podendo permanecer disponível por todo dia de trabalho. Em termos gerenciais, isso libera a produção da dependência do pedido do material com antecedência ao desenvolvimento do trabalho.

Figura 39: Utilização de argamassa usinada com aditivo retardador de pega.



Fonte: O autor (2017).

Por sua vez, a Figura 40 apresenta um equipamento de transporte vertical (plataforma elevada), que contribui para a produtividade do processo de pintura externa, sua utilização foi observada em algumas obras do sistema PCML e AE. Para isto, seu uso precisa ser programado de acordo com a quantidade de superfícies liberadas para a execução do serviço.

Figura 40: Utilização de manipulador para a pintura e aplicação de argamassa mineral na fachada.



Fonte: O autor (2017).

Em algumas obras, pôde ser observado o uso de betoneiras com carregador de agregados, reduzindo atividades que não agregam valor durante o preparo da mistura. Outra solução foi a elevação da betoneira, sendo instalada em plataforma de madeira, para que o material produzido fosse vertido diretamente no balde de concretagem. Neste último caso, além de eliminar atividades que não agregam valor ao produto, aumentando a produtividade do serviço, contribui para reduzir o resíduo gerado durante o processo de produção.

Figura 41: Betoneira com carregador de agregados.



Fonte: O autor (2017).

9 CONCLUSÕES

9.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese inicial da pesquisa era de que os sistemas construtivos influenciavam na forma como a variabilidade se comportava nos processos e, conseqüentemente, nas suas causas geradoras. Além disto, de que os níveis hierárquicos tinham visões diferenciadas quanto ao reconhecimento do impacto da variabilidade dos processos.

A metodologia aplicada mostrou-se adequada à investigação destas hipóteses. O estudo de campo, aliado às demais ferramentas empregadas, permitiu coletar os principais dados, além de possibilitar o contato com a realidade dos diversos sistemas construtivos e levantar a opinião dos diferentes níveis hierárquicos que compunham o processo.

A identificação das principais causas para cada um dos sistemas construtivos possibilitou a criação de um *ranking* de oito causas para cada um deles, que responderam pela maior parte do impacto da variabilidade dos processos. A análise de *Clusters* possibilitou o agrupamento das causas em níveis de riscos, que foram apresentados juntamente com os gráficos para cada um dos sistemas.

Para o sistema CAVA, as cinco causas que foram classificadas como de risco extremamente alto coincidiram com as causas das primeiras colocações do *ranking*, confirmando as suas relevâncias no impacto da variabilidade do processo. As causas foram: baixa qualidade do trabalho; retrabalho; atraso dos materiais; requisitos de qualidade; socialização.

Quanto ao sistema AE, destacam-se as quatro causas da categoria mão de obra que foram indicadas entre as oito do *ranking*, assemelhando-se com os resultados de pesquisas de outros autores. Isto pode indicar que haja pouco alinhamento entre os objetivos dos trabalhadores com os de suas obras, acarretando na diminuição da produtividade e da qualidade dos trabalhos. Apesar de ter somente três causas classificadas no nível de risco extremamente alto, este sistema apresentou um número relevante de 42% das causas no nível de risco alto.

O sistema PCML apresentou diferença significativa do sistema CAVA, através da análise dos dados pelo teste t de *Student*, sugerindo que a variabilidade impacta menos este sistema. Porém, foi aquele que mais apresentou causas classificadas nos níveis alto e extremamente alto, sugerindo que ele é mais suscetível a ocorrências de variabilidades no

processo. Isto pode ser explicado pela sua agilidade, que o fragiliza em relação aos impactos da variabilidade no tempo de execução dos processos.

A análise dos coeficientes de correlação entre as variáveis frequência e intensidade, indica uma forte tendência linear crescente entre as duas. Isto não seria um resultado adequado do ponto de vista da gestão de obras, já que retrata que os atrasos mais frequentes são também os que têm uma maior intensidade.

As visões dos engenheiros, mestres e operários, participantes da pesquisa, mostraram unanimidade em classificar o atraso de materiais, retrabalho, socialização e baixa qualidade de forma semelhante em cada um de seus *rankings*. A comparação entre a classificação de riscos confirmou a hipótese de que à medida que se aumenta o nível hierárquico, aumenta-se também o reconhecimento destas causas na geração da variabilidade. O teste t de *Student* indicou diferenças significativas na comparação entre engenheiros e operários e entre mestres e operários.

Apesar disto, os resultados das entrevistas com os engenheiros e mestres demonstraram que, para eles, a variabilidade afeta a programação em uma intensidade baixa, levantando-se a hipótese de que os gestores possam não reconhecer o impacto da variabilidade nos processos.

A partir da análise geral da variabilidade dos processos, foi identificado que sete das oito principais causas levantadas foram também classificadas em outros trabalhos, confirmando os resultados encontrados.

A identificação das boas práticas durante as observações em campo permitiu pontuar 21 tipos distintos, que representavam 66 aplicações nas obras visitadas. Dentre os sistemas construtivos analisados, o PCML apresentou mais aplicações, sendo apontada uma possível deficiência no sistema CAVA quanto à presença de meios que levem à melhoria dos processos. As boas práticas impactaram oito serviços de forma direta, e em alguns casos, todos os serviços de forma indireta. Observou-se também que estas foram responsáveis por combater 48% das 31 causas de variabilidade; apesar disto, somente três das oito principais causas apresentaram boas práticas associadas.

Conclui-se que a variabilidade do tempo de execução dos processos é um tema complexo e ainda pouco explorado. De fato, os sistemas construtivos podem influenciar no impacto desta variabilidade. A partir do momento que estes se industrializam, eles tornam-se mais suscetíveis à ocorrência de variabilidade e aos seus riscos, porém, constatou-se neste

trabalho que o impacto ocorre de forma mais amena em relação a sistemas com menor grau de industrialização.

9.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste item são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros a serem realizados:

- a) Propor a aplicação da metodologia utilizada neste trabalho em uma amostra maior, sobretudo quanto aos engenheiros e mestres;
- b) Propor aplicação da metodologia utilizada neste trabalho em outras regiões, verificando se os aspectos locais interferem nos resultados, sobretudo quanto às principais causas levantadas;
- c) Analisar mais profundamente as correlações entre a variabilidade dos processos e a industrialização dos sistemas construtivos;
- d) Propor o levantamento mais detalhado de boas práticas que diminuam a variabilidade dos processos;
- e) Analisar a efetividade das boas práticas para a diminuição das causas da variabilidade dos processos;
- f) Analisar se a percepção da variabilidade dos processos por parte dos engenheiros, mestres e operários varia em função do sistema construtivo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-1:** Alvenaria estrutural — Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos. 2010. Rio de Janeiro. 2010a. 41 p.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-2:** Alvenaria estrutural — Blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras. 2010. Rio de Janeiro. 2010b. 28 p.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1:** Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 1: Projeto. 2011. Rio de Janeiro. 2011a. 42 p.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-2:** Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras. 2011. Rio de Janeiro. 2011b. 35 p.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055:** Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro. 2012. 35 p.
- ALLEN, E.; IANO, J. **Fundamentos da engenharia de edificações:** Materiais e métodos. 5ª ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013. 1006 p.
- ALVES, T. C. L. **Diretrizes para a Gestão dos Fluxos Físicos em Canteiros de Obras:** Proposta Baseada em Estudo de Caso. 2000. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.
- ARÊAS, D. M. **Descrição do Processo Construtivo de Parede de Concreto para Obra de Baixo Padrão.** 2013. Projeto de Graduação – Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2013.
- BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control.** 2000. Thesis (Doctor) – School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham. Birmingham. 2000.
- BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas da construção.** 2001. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.
- BONI, A. C.; PALIARI, J. C.; SERRA, S. M. B. Sistema Puxado de Planejamento e Controle da Produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, 2014.
- BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil:** uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta. 2009, 339p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Taxa de Variação** – Setores e Construção Civil. 2016. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil> . Acesso em: 10/01/2017

COELHO, C. B. T. **Antecipações gerenciais para a inserção de atividades facilitadoras na execução de alvenaria de tijolos cerâmicos: análise dos relatos de agentes do processo.** 2009, 119p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Área de Gerenciamento. Universidade Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2009.

CORSINI, R. Paredes normatizadas. **Revista Técnica**, 183 ed., Dez. 2011, PINI, São Paulo.

DAMIÃO, M. T.; NASCIMENTO, T. G. O.; SOUZA, U. E. L.; KATO, C. S. Variação da produtividade da mão-de-obra em função da tipologia adotada para a estrutura de concreto armado. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2016.

DE FILIPPI, G. A.; MELHADO, S. B. Um estudo sobre as causas de atrasos de obras de empreendimentos imobiliários na região Metropolitana de São Paulo. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 161-173, jul./set. 2015.

FIREMAN, M. C. T. **Proposta de método de controle integrado produção e qualidade, com ênfase na medição de perdas por *making-do* e retrabalho.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FORMOSO, C. T. *Lean Construction: princípios básicos e exemplos.* In: **Construção Mercado: custos, suprimentos, planejamento e controle de obras.** Porto Alegre, v. 15, p. 50-58, 2002.

FORMOSO, C. T.; (M.ASCE), S. L.; DE CESARE, C.; ISATTO, E.L. Material waste in building industry: Main causes and prevention. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, v.128 n.4, pp.316-325, 2002.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente *just-in-time*,** Caxias do Sul: Ed. Universidade Caxias do Sul, 1996, 175p.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 5ª ed. São Paulo: Atlas, 1999. 206p.

HAJIFATHALIAN, K. **Effects of working strategy and duration variance on productivity and work in process: A simulation-based investigation and Oops Game: Cost-benefits tradeoff analysis of reliable planning for construction activities.** 2011. 106p. Dissertação (Master of Science of Civil Engineering), Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 2011.

HAMZEH, F.R.; ARIDI, O. Z. Modeling the Last Planner System metrics: a case study of an AEC company. In: ANNUAL CONFERENCE ON THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21th, Fortaleza, Brasil. 2013. **Proceedings...** Fortaleza, Brasil. 2013. pp. 599-608.

HAMZEH, F. R.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. Improving construction workflow-the connective role of lookahead planning. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 16, Manchester, UK, 2008. **Proceedings...** Manchester, 2008, 12p.

HEINECK, L., F., H. et al. **Coletânea Edificar Lean: Construindo com Lean Management**, v.1. Fortaleza: Expressão gráfica Editora, 2009.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M.L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. Boston: Irwin Mc Graw-Hill, 1996. 668p.

HOWELL, G. A.; BALLARD, G. Implementing Lean Construction: Reducing inflow variation. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 2, Santiago, Ch, 1994. **Proceedings...** Chile, 1994.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; DE CESARE, C. M.; HIROTA, E. H.; ALVES, T. C. L. **Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre, SEBRAE/RS, 2000. Série SEBRAE Construção Civil, Vol. 5.

ISATTO, E. L.; ZUCHETTI, M. Aplicação do mecanismo da função produção ao planejamento da produção seriada na construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, 2014.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. **Technical Report nº. 72**. Center for Integrated Facility Engineering. Stanford University, 1992, 87p.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 296p. Thesis (Doctor). Espoo, Finlândia: VTT. 2000.

KOSKELA, L. Making-do: the eight category of waste. In: ANNUAL CONFERENCE ON THE INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, 12th, Elsinore, Denmark. 2004. **Proceedings...** Denmark, 2004, 10p.

MACHADO, R. L. **A Sistematização de antecipações gerenciais no planejamento da produção de sistemas da construção civil**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MANZIONE, L. **Projeto e execução de alvenaria estrutural**. 2 ed. São Paulo, SP: O Nome da Rosa, 2007. 116 p.

MAROCO, J. **Análise estatística: Com utilização do SPSS**. 3 ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2007. 822 p.

MARTINS, G. A.; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 250p.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo, SP: Editora Pini, 2010. 420 p.

MELO, R.; TORRES, T.; COSTA, D.; FERNANDES, L. Produtividade da mão de obra na execução de estrutura em paredes de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014, Maceió. **Anais...** Maceió, 2014.

MENDES JÚNIOR, R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

MICHAELIS. **Dicionário prático**: língua portuguesa. Editora Melhoramentos. 2011.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Como construir paredes de concreto. **Revista Técnica**, 147 ed., Jun. 2009, PINI, São Paulo.

MONTEIRO, J. M. F.; CRUZ, A. C. de M.; MOREIRA, K. M. de V.; CRUZ, L. T. G.; MORORÓ, M. S. de M.; HEINECK; L. F. M. Identificação gráfica de elementos da construção enxuta no planejamento de obras com linha de balanço. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 2011, Belém. **Anais...** Belém, 2011.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 7 ed. São Paulo: Livraria Saraiva, 2012. 540 p.

MOURA, R. S. L. M.; HEINECK, L. F. M. Linha de Balanço – Síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras? In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014, Maceió. **Anais...** Maceió, 2014.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre, RS: Bookman, 1997. 149 p.

PEDREIRA DE FREITAS. **Concreto armado**. Disponível em: <http://www.pedreira.eng.br/index.php/concreto-armado>. Acesso em: 18/05/2016

PICCHI, F. A.; *Lean thinking* (mentalidade enxuta): avaliação sistemática do potencial de aplicação no setor de construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, 2001.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003, 174p.

REIS, C. J. L.; SEIXAS, R. M.; SILVA, G. B.; MAUÉS, L. M.; DUARTE, A. A. A. M. Identificação das causas de atrasos de obras: um estudo de caso na região metropolitana de Belém. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, 2016.

RONEN, B. The complete kit concept. **International Journal of Production Research**, London, v. 30, n. 10, p. 2457-2466, Oct. 1992.

RUSSEL, M. M. **Allocation of Time Buffer to Construction Project Task Durations**. 2013. 180p. Dissertation (Doctor of Philosophy), Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, NC, 2013.

RUSSEL, M. M.; HOWELL, G.; HSIANG, S. M.; LIU, M. Application of time buffers to construction project task durations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 10, 2014.

SABBATINI, F. G. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989. 321 p.

SANTOS, A. dos, FORMOSO, C. T., TOOKEY, F. E. Expanding the meaning of standardization with in construction processes. **The TQM Magazine**, v. 14, n. 1, 2002, p.25-33.

SANTOS, D. de G. **Modelo de gestão de processos na construção civil para identificação de atividades facilitadoras**. 2004, 219p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 291p.

SILVA, F. B. Paredes de concreto armado moldadas in loco. **Revista Técnica**, 167 ed., Fev. 2011, PINI, São Paulo.

SOMMER, L. **Contribuições para um método de identificação de perdas por improvisação em canteiros de obras**. 2010. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2010, 171p.

TOMMELEIN, I.; RILEY, D. R.; HOWELL, G. A.; Parade Game: Impact of work flow variability on trade performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 5, p. 304-310, 1999.

WAMBEKE, B. W. **Identifying, Prioritizing, and Reducing Variation of Construction Related Tasks**. 2011. 162p. Dissertation (Doctor of Philosophy), Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, NC, 2011.

WAMBEKE, B. W.; HSIANG, S. M.; LIU, M. Causes of variation in construction project task starting times and duration. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 9, p. 663-677, 2011.

WHEELER, M. A. **The evolution and application of technical risk management within the United States Naval**. 2002. 174p. Thesis (Master of Science in Product Development), Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 2002.

WOMACK, J. P; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel. 10ª edição. Rio de Janeiro: Editora Campus LTDA, 1992.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10ª ed. São Paulo, SP: Editora Pini, 2009. 769 p.

Apêndice B –Questionário: Causas da variabilidade do tempo de execução dos processos.

Construtora:		Obra:	Cód. Obra:	Entrevistado:	
Grupo	Fator		Atraso (escala 0-5)	Frequência (escala 0-5)	
1. Pré Requisito do trabalho	1	Obtenção de autorizações para iniciar o trabalho			
	2	Conclusão dos trabalhos prévios (trabalho anterior que ainda não foi realizado)			
	3	Retrabalho exigido devido à qualidade do trabalho anterior			
	4	Baixa qualidade do trabalho anterior (nível que ainda não requer retrabalho)			
	5	Inspeções de trabalhos previamente concluídos			
2. Detalhamento do projeto e método de trabalho	6	Construtibilidade do projeto			
	7	Qualidade dos documentos (erros no projeto e/ou desenhos)			
	8	Requisitos de controle de qualidade			
	9	Complexidade do trabalho			
	10	Planejamento da sequência ou método do trabalho			
	11	Baixo grau de repetição (incapacidade de desenvolver um sistema eficiente devido a atividades em constante mudança)			
3. Mão de obra	12	Socialização (conversas com colegas de trabalho)			
	13	Absentismo (faltas)			
	14	Pessoas que chegam tarde e/ou saem mais cedo por causa de doença, acidente ou motivo pessoal			
	15	Baixa disposição e/ou falta de motivação			
	16	Falta de habilidade dos trabalhadores/equipes na execução de tarefas que foram pedidas a eles			
4. Ferramentas e Equipamentos	17	Confiabilidade de equipamentos ou ferramentas			
	18	Disponibilidade de equipamento ou ferramentas			
	19	Capacidade (produtividade) de equipamentos e ferramentas			
5. Materiais e Componentes	20	Falhas no recebimento dos materiais (quantidade ou tipo incorreto)			
	21	Tentativa de solicitação de materiais para serem utilizados			
	22	Recebimento de materiais para a atividade mais tarde do que o programado/esperado			

6. Condições de trabalho e do local de trabalho	23	Área de trabalho superlotada ou desordenada / canteiro de obras congestionado		
	24	Layout do local de trabalho: distância excessiva entre o local de armazenamento do material e o local de sua utilização		
	25	Forma de transporte do material do local de armazenamento até o local de utilização		

7. Gestão, supervisão e fluxo de informações	26	Espera para obter respostas sobre perguntas ou orientações sobre o projeto		
	27	Pouco compromisso por causa de um cronograma de trabalho apertado		
	28	Mudanças nas atividades causadas por alterações (do cliente, dono da obra)		
	29	Comunicação entre engenheiro da obra e mestre/encarregado		
	30	Comunicação entre mestre/encarregado e operários		

8. Condições climáticas	31	Impactos climáticos (calor excessivo, frio, vento, chuva)		
-------------------------	----	---	--	--

Questionamentos finais

Perguntas		Resposta
1	Em uma escala de 1 a 5 de horas de atraso, sendo 1 (muito baixa) e 5 (muito alta), a escala 1 corresponderia a quantas horas?	
2	Em uma escala de 1 a 5 de horas de atraso, sendo 1 (muito baixa) e 5 (muito alta), a escala 5 corresponderia a quantas horas?	
3	Em que grau estes desvios ocorrem no início das tarefas, atrasando seu começo? 1 (Muito Baixo) a 5 (Muito Alto)	
4	Em que grau estes desvios ocorrem durante as tarefas, prolongando sua duração? 1 (Muito Baixo) a 5 (Muito Alto)	
5	Em que grau estes desvios afetam a programação dos serviços? 1 (Muito Baixo) a 5 (Muito Alto)	

Apêndice C – Roteiro de observação.

Roteiro de Observação

Obra:

Construtora:

Data: / / .

Item	Atividade	Local de Aplicação	Vantagens	Serviços Impactados	Nível Hierárquico	Fatores/Categorias de causas evitadas	Propostas de Melhorias	Local de Observação
1								
2								
3								
4								
5								

