

PEDRO SALGUEIRO JAHARA

**PLANO DE AÇÃO PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE CICLO DE
ALVENARIA ESTRUTURAL EM UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção.

**São Paulo
2009**

PEDRO SALGUEIRO JAHARA

**PLANO DE AÇÃO PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE CICLO DE
ALVENARIA ESTRUTURAL EM UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção.

Orientador:

Prof. Paulino Graciano Francischini

**São Paulo
2009**

*À minha família,
que me deu condições de sonhar*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me ajudaram na elaboração deste trabalho, tão importante em minha vida acadêmica e meu futuro profissional.

Primeiramente ao professor Paulino Graciano Francischini por sua disposição em me orientar apesar de já possuir tantos outros orientandos, e mesmo assim conseguir manter-se extremamente solícito durante todo o processo.

Ao eng. Antonio Sérgio Itri Conte por me abrir as portas da Logical Systems e de todo o seu conhecimento sobre o Lean Construction.

Aos colegas da Logical Systems, Rodrigo e Andrey, pela paciência em explicar conceitos básicos de engenharia civil para um candidato à engenheiro de produção.

Aos meus pais, Carlos e Maria Inês, por sempre me apoiarem e principalmente por me suportarem e compreenderem minha tensão devido à importância deste trabalho em minha vida.

Ao meu irmão, Caio, por estar sempre ao meu lado.

E aos meus colegas de POLI, Geninho, Wilsão e Boituva, integrantes do lendário grupo de trabalho destes últimos anos de faculdade que certamente entra para a história, e Portinho, Fenômeno, Egídio e todos os demais que garantiram risadas e bons momentos sempre.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de plano de ação, baseado nos conceitos da construção enxuta, com o objetivo de reduzir desperdícios e acelerar o tempo de ciclo do processo de alvenaria estrutural de um prédio. Primeiramente é elaborada uma discussão sobre algumas teorias aprendidas durante o curso de engenharia de produção (Seis Sigma, Teoria das Restrições e o Pensamento Enxuto) com o objetivo de identificar aquela que melhor se aplica aos objetivos aqui propostos. Posteriormente é apresentada uma completa descrição da situação atual da obra em estudo, e é feita uma análise dos desperdícios, baseada na teoria dos 7 desperdícios do Ohno. Com a definição dos principais desperdícios faz-se uso dos cinco porquês, com o intuito de identificar as causas-raiz que serão atacadas pelo plano de ação proposto, o qual procura elaborar um planejamento de produção factível para reduzir a variabilidade da velocidade de produção do processo. Para tal é produzido um desenho do processo de produção detalhado, indicando uma nova seqüência de produção das paredes, baseada em restrições definidas com auxílio dos envolvidos no processo. Através deste desenho do processo é possível elaborar uma previsão de demanda dos insumos, e conseqüentemente elaborar a programação das entregas destes. Por fim é apresentada uma implantação deste plano e algumas conclusões.

PALAVRAS-CHAVE: Construção enxuta, desenho do processo de produção, eliminação de desperdícios, redução de tempo de ciclo

ABSTRACT

This paper presents an action plan based on Lean Construction, and its main objectives are to reduce waste and masonry's cycle time on a residential building. The paper begins with a discussion involving some theories learned during the Industrial Engineering course, such as Six Sigma, Theory of Constraints and Lean Thinking, to choose which is the most appropriate to achieve the objectives here placed. Afterwards the enterprise's situation is thoroughly described, and a seven wastes analysis is made to determine its main waste sources. Using Ohno's five whys it's possible to determine the root causes of these wastes, which will be attacked with the action plan prepared, that uses a feasible production plan to reduce production speed variability. A detailed production plan is prepared, creating a new construction order to the walls based on restrictions made with the help of the people involved on the process, through which it's possible to make an input demand forecast and plan its delivery. Finally, a deployment of this plan is presented and some conclusions are made.

KEYWORDS: Lean construction. Last Planner. Waste elimination. Cycle time reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Participação do PIB da construção civil no PIB brasileiro.....	12
Figura 1.2 – Crescimento do PIB da construção civil comparado ao mesmo período em 2007.....	13
Figura 1.3 – Curva ABC dos custos envolvidos.....	25
Figura 2.1 – Processo de capacidade 6 σ	29
Figura 2.2 – Processos 4 σ vs. 6 σ	30
Figura 2.3 – Representação do gerenciamento de restrições	32
Figura 2.4 – Os 5 princípios Lean de James Womack.....	37
Figura 2.5 – <i>Shift the burden</i>	38
Figura 2.6 - Relações entre as particularidades da construção	41
Figura 2.7 – Práticas Tradicionais de Gestão.....	44
Figura 2.8 - Controle orientado para resultado	45
Figura 2.9 – Cinco princípios Lean na ótica da Logical Systems	46
Figura 2.10 - Conceito do funil de soluções	47
Figura 3.1 – Construção em X.....	52
Figura 3.2 – equipe de cobertura aguardando o término da alvenaria estrutural	52
Figura 3.3 – Causas do elevado tempo de ciclo da alvenaria.....	54
Figura 3.4 – Causas do elevado tempo de ciclo da alvenaria atualizada	56
Figura 3.5 – Aplicação dos cinco porquês no excesso de inspeção	60
Figura 3.6 – Causa raiz do excesso de inspeção.....	60
Figura 3.7 – Aplicação dos cinco porquês na espera por massa.....	61
Figura 3.8 – Causa raiz da espera por massa	62
Figura 3.9 – Aplicação dos cinco porquês na espera por tijolos	63
Figura 3.10 – Causas raiz da espera por tijolos	63
Figura 3.11 - Aplicação dos cinco porquês na espera pela grade de proteção.....	64
Figura 3.12 – Causa raiz da espera pela grade de proteção	65
Figura 3.13 – Causas raiz do elevado tempo de ciclo da alvenaria	66
Figura 3.14 – Lógica de ataque do plano de ação	67
Figura 3.15 – Planta do lado B da obra	71
Figura 3.16 – Estrutura de uma parede de alvenaria estrutural.....	72
Figura 3.17 – Paredes que recebem grade de proteção	75
Figura 3.18 – Estoque interno de insumos e fluxo de construção das paredes.....	76
Figura 3.19 – Paredes candidatas a serem erguidas por último	77
Figura 3.20 – Primeira proposta de divisão de paredes entre operários.....	79
Figura 3.21 – Tabela utilizada para moldar soluções	80
Figura 3.22 – Proposta de paredes que terão seu início postergado	83
Figura 3.23 – Divisão final das paredes entre os pedreiros	89
Figura 3.24 – Paredes com início postergado	90
Figura 3.25 – Colocação da junta horizontal no bloco de alvenaria estrutural	97
Figura 3.26 – Colocação da junta vertical no bloco de alvenaria estrutural.....	97
Figura 3.27 - Posicionamento do guincho.....	104
Figura 3.28 - Causas-raiz encontradas	105
Figura 3.29 - Lógica de ataque do plano de ação (2)	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Observação inicial do tempo de ciclo da alvenaria	22
Tabela 1.2 – Estrutura de custos	24
Tabela 1.3 – Análise de sensibilidade dos custos totais.....	26
Tabela 2.1 – Teoria TFV	43
Tabela 2.2 – Mediana das perdas	49
Tabela 3.1 – Cronometragem dos desperdícios na alvenaria estrutural (observação de 4hs).....	57
Tabela 3.2 – Desperdícios diários apresentados em porcentagem	58
Tabela 3.3 – Resumo dos desperdícios no serviço de alvenaria	59
Tabela 3.4 – Velocidade média de construção dos pedreiros	74
Tabela 3.5 – Resumo da primeira proposta de divisão das paredes	80
Tabela 3.6 – Primeira iteração da proposta de divisão de trabalho	82
Tabela 3.7 – Segunda iteração	84
Tabela 3.8 – Terceira proposta de divisão das paredes	85
Tabela 3.9 – Terceira iteração da solução (Dia 1)	86
Tabela 3.10 – Terceira iteração da solução (Dia 2)	86
Tabela 3.11 – Terceira iteração da solução (Dia 3)	87
Tabela 3.12 – Solução final (Dia 1)	91
Tabela 3.13 – Solução final (Dia 2)	92
Tabela 3.14 – Solução final (Dia 3)	92
Tabela 3.15 – Necessidades de tijolos.....	95
Tabela 3.16 – Programação da entrega de tijolos.....	96
Tabela 3.17 – Consumo diário de massa por tipo de tijolo em cm ³	98
Tabela 3.18 – Consumo diário de massa em litros/hora	98
Tabela 3.19 – Consumo diário de massa em caçambas/hora.....	99
Tabela 3.20 - Resumo dos benefícios.....	100
Tabela 3.21 - Resultados da implantação	107
Tabela 4.1 - Benefícios esperados do plano de ação propostos	109

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.1.1. CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	12
1.1.2. TIPO DE EMPREENDIMENTO A SER ABORDADO	14
1.2. OBJETIVO	14
1.2.1. DEFINIÇÃO DO TEMA	14
1.2.2. OBJETIVO DO PROJETO	16
1.3. A EMPRESA:	17
1.4. METODOLOGIA UTILIZADA	18
1.5. O CASO ESTUDADO	20
1.5.1. ALVENARIA ESTRUTURAL	21
1.5.2. ANÁLISE PRELIMINAR	22
1.5.3. ESTRUTURA DE CUSTOS	23
1.5.4. RELEVÂNCIA PARA A EMPRESA	25
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1. SEIS SIGMA	28
2.2. TEORIA DAS RESTRIÇÕES	31
2.3. LEAN PRODUCTION	33
2.3.1. PILARES DO LEAN PRODUCTION	34
2.3.2. OS SETE DESPERDÍCIOS DE OHNO	36
2.3.3. OS PRINCÍPIOS DO LEAN PRODUCTION	36
2.3.4. OS CINCO PORQUÊS	37
2.4. LEAN CONSTRUCTION	39
2.4.1. PARTICULARIDADES DA CONSTRUÇÃO CIVIL	40
2.4.2. PRINCÍPIOS DO LEAN CONSTRUCTION	41
2.4.3. TRANSFORMAÇÃO, FLUXO E VALOR	42
2.5. ABORDAGEM LOGICAL SYSTEMS	43
2.5.1. CONTROLE ORIENTADO PARA RESULTADO	43
2.5.2. FIRST RUN STUDIES	46
2.6. SELEÇÃO DA TEORIA MAIS ADEQUADA	48

3. RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	51
3.1. CONSTRUÇÃO EM X	51
3.2. SITUAÇÃO ATUAL	53
3.2.1. OS SETE DESPERDÍCIOS DE OHNO	53
3.2.2. DEFINIÇÃO DAS CAUSAS RAIZ	59
3.3. PLANO DE AÇÃO	66
3.3.1. AVALIAÇÃO DO EXCESSO DE INSPEÇÃO	67
3.3.2. DETALHAMENTO DO PROCESSO	70
3.3.3. DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES	72
3.3.4. DESENHO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO	77
3.3.5. PLANEJAMENTO DAS ENTREGAS DE INSUMOS	93
3.3.6. ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS	99
3.4. IMPLANTAÇÃO	100
3.4.1. IMPLANTAÇÃO NA OBRA EM ESTUDO	100
3.4.2. IMPLANTAÇÃO DAS SOLUÇÕES ENCONTRADAS	102
3.4.3. PARALELO ENTRE AS OBRAS	107
4. CONCLUSÃO	108
LISTA DE REFERÊNCIAS	111
APÊNDICE A – PRIMEIRA ITERAÇÃO DA SOLUÇÃO	113
APÊNDICE B – SEGUNDA ITERAÇÃO DA SOLUÇÃO	114
APÊNDICE C – TERCEIRA ITERAÇÃO DA SOLUÇÃO	115
APÊNDICE D – SOLUÇÃO FINAL	116
APÊNDICE E – SOLUÇÃO CONSERVADORA	117
APÊNDICE F – NECESSIDADES DE TIJOLOS POR PAREDE	118

1. Introdução

O primeiro capítulo do presente trabalho procura introduzir o leitor ao tema que será abordado pelo mesmo. Primeiramente é apresentada uma contextualização, que mostra um panorama da construção civil no Brasil e apresenta o tipo de empreendimento abordado. Posteriormente são apresentados os objetivos, a empresa e o estudo de caso do presente trabalho, junto com a metodologia utilizada no mesmo.

1.1.Contextualização

Este item procura contextualizar o leitor com o tema discutido pelo trabalho, que envolve o setor da construção civil no Brasil, porém com um enfoque em prédios de alvenaria estrutural voltados para a classe baixa.

1.1.1. Construção Civil no Brasil

O setor da engenharia civil é um dos mais importantes setores para a economia brasileira, com participação de 5,1 % do PIB nacional em 2008. Através da avaliação da figura 1.1 pode-se perceber que esta participação do PIB da construção no PIB nacional está estabilizada próxima aos 5%, porém a partir de 2006 apresentou um crescimento, recuperando as perdas que obteve entre 2004 e 2006.

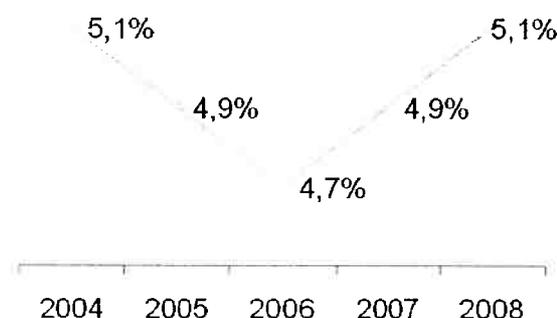


Figura 1.1 – Participação do PIB da construção civil no PIB brasileiro

Fonte: IBGE

Este é também um mercado em franca expansão principalmente pelo momento de crescimento que o Brasil passa nos últimos anos, no qual se fazem necessários muitos investimentos em infra-estrutura. Além disto, observou-se o franco crescimento das classes C e D, as quais agora procuram melhorar sua qualidade de vida, e com um maior poder aquisitivo, começam a comprar suas primeiras moradias.

Uma análise da figura 1.2 nos mostra que no ano de 2008 o PIB da construção civil apresentou um acelerado crescimento, de 8,9% no primeiro trimestre do ano se comparado ao mesmo período de 2007, porém no quarto trimestre, quando o setor já começava a sentir os efeitos da crise, o crescimento foi de apenas 2,1% quando comparado com o quarto trimestre de 2007.

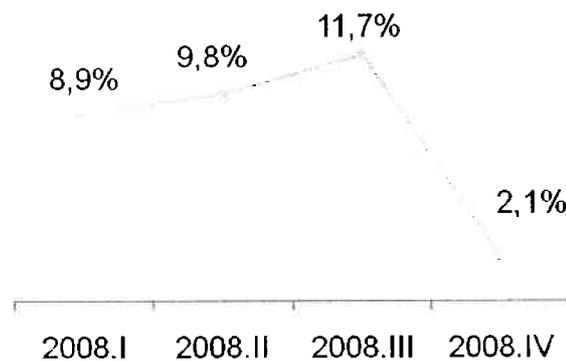


Figura 1.2 – Crescimento do PIB da construção civil comparado ao mesmo período em 2007

Fonte: IBGE

Era de se esperar de um setor que possui tamanha importância para o Brasil, que possuísse uma estrutura de processos bastante detalhada, buscando a otimização dos mesmos, tentando alcançar uma evolução constante, assim como ocorre com a indústria automotiva. Porém uma análise breve dos processos produtivos que envolvem o setor nos permite perceber que este ainda é bastante atrasado no que se refere ao gerenciamento e controle dos processos produtivos.

Vahan Agopyan (1999) mostrou que o setor apresenta uma baixa produtividade e elevado grau de desperdício médio, que fica entre 20% e 25%. No estudo envolvendo 16 universidades pelo Brasil todo, analisou-se não apenas o material que vai para o lixo, mas também o material utilizado em excesso, como por exemplo, uma camada de gesso mais

grossa que o necessário. Este grau de desperdício representa um gasto equivalente de aproximadamente 5% dos custos da obra, também de acordo com este estudo.

1.1.2. Tipo de empreendimento a ser abordado

Cabe agora determinar o tipo de empreendimento abordado pelo presente trabalho. A análise será focada em prédios residenciais que utilizam alvenaria estrutural para a construção da estrutura.

Este tipo de obra foi selecionado, pois prédios residenciais são lançados em grande número todos os anos no Brasil, portanto existe grande probabilidade de replicação deste estudo em outras obras. Isto ocorre principalmente pelo grande problema do déficit habitacional brasileiro, o que garante que nos próximos anos este tipo de empreendimento mantenha-se como de grande foco para as grandes construtoras brasileiras.

A alvenaria estrutural está diretamente atrelada à escolha do tipo de mercado que o empreendimento está direcionado, visto que no caso de prédios residenciais para classes baixas, este é o método estrutural mais utilizado pelo mercado devido à facilidade, rapidez e redução de custos com baixa perda da qualidade percebida pelo cliente.

1.2. Objetivo

Cabe agora apresentar o objetivo deste trabalho, primeiramente apresentando o tema tratado dentro do contexto da engenharia civil, que irá envolver redução de desperdícios e redução de tempo de ciclo. Posteriormente será mostrado o enfoque dado a estes temas apresentando também os objetivos que o presente projeto pretende alcançar.

1.2.1. Definição do tema

O tema deste trabalho é a redução de custos do empreendimento. Vale ressaltar que grande parte dos terrenos utilizados pelos empreendimentos já foram comprados, e o material utilizado pelos mesmos é negociado diretamente pelos setores de comercialização das

empresas, o que não permite aos empreendimentos renegociarem os custos individualmente buscando redução dos mesmos.

Visto que todos os custos variáveis são negociados antecipadamente, nos restam duas alternativas para solucionar este problema:

1. Reduzir o consumo dos materiais, através da redução dos desperdícios que representam 5% dos custos totais (Agopyan, 1999).
2. Reduzir os custos fixos da obra, como aluguel de equipamentos e gastos administrativos, que representam em média 20% dos custos totais (baseado em uma média entre diversas obras do mesmo porte avaliadas, as quais não podem ser citadas no presente trabalho devido a termos de confidencialidade).

Dentre as duas alternativas apresentadas, aquela que se mostra mais benéfica para a obra é a redução dos custos fixos visto que estes representam um valor aproximadamente quatro vezes maior que os gastos com desperdícios. Isto implica que uma redução dos custos fixos deve resultar em um impacto maior nos custos totais da obra, aumentando a rentabilidade da mesma.

Estes custos fixos estão diretamente atrelados ao porte e tempo de execução da obra, dado que englobam gastos de aluguel de equipamentos e administrativos. Como o porte de um empreendimento é fixo, a grande causa dos custos fixos serem tão representativos dentro dos custos totais das obras, é o elevado tempo de execução das mesmas.

Para que se possa identificar a causa deste tempo de ciclo elevado, é necessária uma maior compreensão da estrutura de custos de uma obra. Toda obra é dividida em itens (ex.: fundação, estrutura, alvenaria e cobertura), os quais são divididos em atividades (ex.: marcação, assentamento de blocos) que necessitam de insumos.

São insumos das atividades tanto a matéria prima, como por exemplo, blocos e concreto, quanto a mão de obra necessária para a execução das mesmas. Para a composição final dos custos de uma obra considera-se a soma de todos os custos dos insumos, de cada uma das atividades pertencentes a cada um dos itens.

Com estes conceitos melhor compreendidos, uma série de entrevistas foi conduzida com pessoas envolvidas no planejamento de obras (mestre de obra, engenheiro responsável, consultores, etc.) para que fosse possível definir dentre todos os itens envolvidos em uma obra, qual destes é o mais relevante para o tempo total de execução.

Aquele que apresentou maior relevância foi o item de alvenaria, dado que o mesmo dita o ritmo de toda a obra, sendo uma espécie de gargalo do processo, ou seja, nenhum item pode ser realizado antes que a alvenaria do andar esteja concluída.

Isto implica que uma melhoria no processo de alvenaria, resultando em uma redução do ciclo da mesma, permitiria uma redução no tempo de ciclo dos demais itens, o que poderia significar um menor tempo de execução total da obra. Visto sobre outra ótica, é impossível que qualquer outra atividade seja realizada no andar antes que a alvenaria seja terminada.

1.2.2. Objetivo do projeto

Neste item será definido o objetivo deste projeto, um detalhamento do mesmo e suas restrições. Define-se o objetivo como:

1. Realizar uma análise de um empreendimento de construção civil a fim de identificar e solucionar grandes focos de desperdício, no item de alvenaria estrutural.
2. Aplicar uma série de ferramentas baseadas no *Lean Construction* para elaborar um plano de ação buscando a redução do tempo de ciclo do processo de alvenaria estrutural e eliminação dos desperdícios identificados.

A análise dos desperdícios será baseada nas ferramentas do *Lean Production* (Ohno, 1988), primeiramente aplicando a análise dos sete desperdícios no processo da alvenaria estrutural junto com uma cronometragem, para identificar os desperdícios mais relevantes do processo.

Posteriormente será feita a análise dos cinco porquês, para identificar as causas raiz dos efeitos observados, as quais serão atacadas pelo plano de ação que será elaborado, envolvendo um planejamento completo do processo produtivo da obra, desde entrega de insumos até divisão de responsabilidades e ordem das paredes.

Para tal, o autor, em parceria com a Logical Systems, selecionou uma obra para servir como estudo de caso para o presente trabalho, a qual será descrita no próximo item.

1.3.A Empresa:

Fundada pelo engenheiro Antonio Sergio Itri Conte em Fevereiro/1987, com o objetivo de desenvolver modelos de gestão baseados nos princípios da melhoria da Produtividade e Qualidade em organizações voltadas para o setor da Construção Civil. Este é engenheiro civil formado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com Pós-Graduação em Administração de Empresas pela Fundação Getúlio Vargas.

Em 1994, participou da fundação do IGLC – *International Group for Lean Constuction*, grupo de pesquisadores internacionais dedicado à implementação do modelo de gestão da produção baseado nos princípios e técnicas definidos pelo Pensamento Enxuto (*Lean Thinking*), o qual foi estruturado no pós-guerra do Japão, mais especificamente na indústria automobilística Toyota.

A partir desse instante, a Logical Systems se dedicou inteiramente à difusão dos conceitos da *Lean Construction* no Brasil sendo pioneira no Brasil na obtenção de resultados em canteiros de obra. Sua atuação é definida pela elaboração do Planejamento Executivo do Empreendimento, que é constituído por um conjunto de relatórios composto pelo plano de ataque a cada etapa da produção, desenho dos processos de produção, focando a garantia do ritmo planejado para os trabalhos e o desenho dos canais de logística interna e externa das operações, os quais viabilizam novos patamares de relacionamento com suas cadeias de fornecedores, compostas por projetistas e fornecedores de materiais, mão de obra e serviços.

Seus clientes são caracterizados por incorporadoras e empresas de construção que buscam a melhoria de seus patamares de desempenho operacional através da redução sistemática do desperdício de Valor em suas operações. O resultado prático dessa postura é a execução de seus empreendimentos em menores prazos, com menores custos e maior qualidade final, sob o ponto de vista de seus clientes.

A Logical Systems busca diferenciar o nível de serviço oferecido aos seus clientes, atuando não somente na administração do cronograma físico de cada obra contratada, mas também desenvolvendo junto aos setores de Engenharia de seus clientes, estudos sobre o plano de ataque a ser seguido, dimensionamento de equipes de produção (independentemente do fato de serem compostas por mão de obra própria ou empreitada), diretrizes de compra de materiais / equipamentos e contratação de serviços, e arranjo físico no canteiro de obras.

Durante a seqüência dos trabalhos no canteiro de obras, realiza visitas semanais, as quais representam papel de destaque, pois tão importante quanto planejar uma obra, é adotar um modelo de gestão que seja flexível o suficiente para que a cada instante sejam identificados gargalos de produção que possam comprometer tanto o prazo quanto o custo da obra. A consequência dessa abordagem é a relação direta com as equipes de produção e logística no canteiro de obras, atuando sempre preventivamente em relação a eventuais problemas de percurso.

A empresa acredita que sua intervenção nos empreendimentos ora contratados possa contribuir tanto para a redução do prazo de entrega da obra, como também para a redução do custo global de produção, seja ela através da redução do custo direto fixo em função da redução do prazo de produção e da simplificação nas rotinas de acompanhamento e controle da obra, ou mesmo pela oportunidade de redução de custo através da adoção de melhores estratégias de contratação de fornecedores de materiais e serviços, negociadas em função do plano de ataque definido durante as reuniões de trabalho.

É neste contexto que se insere o estágio do presente autor, o qual foi alocado pela Logical Systems para realizar o acompanhamento semanal da obra que será estudada a seguir. Suas atividades envolviam etapas de controle e acompanhamento do planejamento da obra, porém, também devido ao presente trabalho, focou-se durante grande parte do tempo em avaliar o processo de alvenaria estrutural de tal obra, procurando avaliar a situação atual detalhadamente, identificar problemas e possíveis oportunidades de melhoria.

Posteriormente procurou, com o devido apoio do engenheiro Antonio Sérgio Itri Conte, criar alternativas de solução, sempre se baseando nos conceitos aplicados pela empresa, mas também procurando questionar os mesmos através de comparações com outras teorias existentes (por exemplo o Seis Sigma). Foi também responsável por elaborar um embasamento teórico aprofundado, detalhando um processo produtivo completo envolvido num empreendimento, neste caso o de alvenaria estrutural.

1.4. Metodologia utilizada

Paralelamente à evolução no setor da construção, uma revolução vinha ocorrendo, a revolução dos processos produtivos na indústria automobilística. Esta indústria, devido ao elevado grau de competitividade, observou uma evolução constante que se iniciou quando

Henry Ford, no início do século XX, utilizou o conceito de linhas de montagem em sua fábrica em Highland Park para produzir o Ford modelo T.

O grande problema da teoria de Ford era também o seu maior trunfo, a falta de variedade em seus produtos, o que gerou uma frase no mínimo caricata - “o consumidor pode escolher qualquer carro desde que seja um Ford modelo T, preto” (Ford). Foi então, por volta da metade deste mesmo século, que Taiichi Ohno e seus colegas na Toyota aprimoraram a teoria de Ford, criando um sistema produtivo que, além de trabalhar em condições de grande variedade de produtos e demanda variável, ainda buscava eliminar os desperdícios de valor gerados durante o processo.

O processo da Toyota surgiu por uma necessidade criada devida a situação pela qual o Japão passava, onde não havia espaço ou dinheiro para armazenar grandes estoques, e a produção era dedicada para um pequeno mercado consumidor que demandava uma grande variedade de veículos (Ohno, 1988). Assim foi criada uma escola de produção que busca, além de diversos outros pontos, eliminar os desperdícios dos processos, o *Lean Production* (ou produção enxuta).

Portanto pode-se perceber a utilidade que a teoria criada pela Toyota teria se aplicada em um mercado onde não existem processos definidos, onde a qualidade é pouco monitorada, e principalmente, um mercado que apresenta uma elevada taxa de desperdício. Foi buscando a aplicação da teoria do *Lean Production* no mercado da construção civil que surgiu o *Lean Construction*.

Esta metodologia surgiu em 1992 com o trabalho do pesquisador finlandês Lauri Koskela (*Application of the New Production Philosophy to Construction - CIFE*), que procurou desafiar os profissionais da construção civil a adaptar as técnicas e ferramentas desenvolvidas no Sistema Toyota de Produção. E foi esta adaptação dos conceitos presentes no *Lean Production* (conceitos de fluxo e geração de valor) à construção civil, que foi chamada de *Lean Construction* (construção enxuta).

Koskela (1992) define o *Lean Construction* como uma área de estudos e pesquisas baseada na adoção de modelos otimizados de organização dos processos produtivos na construção civil, buscando principalmente:

- Menores prazos de execução
- Ambientes operacionais estabilizados

- Menores estoques de matéria-prima
- Menores perdas devido à má alocação de recursos humanos (próprios e contratados)
- Melhores níveis de controle do processo, favorecendo melhorias de Produtividade e Qualidade

Foi baseado no *Lean Construction* e sua aplicação no dia a dia do canteiro de obras que o Eng. Antonio Sérgio Itri Conte criou a metodologia que será aplicada no decorrer deste projeto.

1.5.O caso estudado

Para a realização deste estudo foi selecionado um empreendimento de uma empresa cliente da Logical Systems, a qual neste trabalho será chamada de “Empresa X”. Esta empresa é uma das maiores construtoras do Brasil, e bem como as demais deste setor, está passando por um momento de dificuldades devido à crise gerada pela alta demanda de insumos nas obras em execução, aliada à crise financeira no final de 2008, colocando o mercado em estado de alerta, definindo-se como prioridade o investimento em modelos de gestão da produção e custo, de modo a diminuir o risco dos investidores.

Tal empreendimento está localizado na cidade de São Paulo e possui todas as características definidas como importantes durante a introdução deste trabalho, ou seja, é um prédio domiciliar, focado na classe baixa, de alvenaria estrutural de 12 andares.

A alvenaria começou a ser erguida poucas semanas antes do início deste trabalho e está apresentando um tempo de ciclo elevado para empreendimentos do mesmo estilo, o que permite esperar uma análise não apenas relevante, mas que pode trazer benefícios práticos para a “Empresa X”.

Tal empreendimento possui como mercado alvo famílias da classe “C” ou então casais jovens procurando morar juntos. Ou seja, o foco está em pessoas de baixo poder aquisitivo que estão procurando melhores condições de vida adquirindo seu primeiro domicílio próprio.

Este último ponto é importante ser ressaltado, pois traz algumas conseqüências relevantes para a análise. A primeira delas é que, por estar focado em um mercado de baixo

poder aquisitivo, os apartamentos são relativamente pequenos e possuem 2 ou 3 dormitórios, com ou sem suíte, apresentando cômodos pequenos e corredores estreitos.

Uma maior quantidade de detalhes sobre o empreendimento não pode ser fornecida devido a um acordo de confidencialidade travado entre a empresa responsável pelo mesmo e a Logical Systems.

Além do fato dos apartamentos serem pequenos, os fatores de decisão para compra neste mercado envolvem diretamente preço e condições de parcelamento. Como os empréstimos não estão sob a responsabilidade da “Empresa X”, o que a mesma pode fazer para obter sucesso neste mercado é conseguir o melhor custo benefício para seus clientes, possibilitando assim a construção de um produto de qualidade bastante inferior à apresentada em empreendimentos de luxo, não apenas no que tange materiais como também processos, como por exemplo, nos cuidados com a perfeição de paredes e acabamento.

1.5.1. Alvenaria estrutural

Neste ponto cabe fazer uma descrição mais detalhada do tipo de construção que será analisada por este projeto, focando no serviço em questão que é o de alvenaria estrutural. A alvenaria já vem sendo utilizada como estrutura há muito tempo, sendo também a forma mais utilizada no início deste século, também sendo o único aceito na estruturação de edificações de grande porte. Vale citar que o Teatro Municipal de São Paulo foi totalmente estruturado utilizando-se de paredes de alvenaria resistente.

Apenas na década de 70 foram introduzidos em São Paulo os Processos Construtivos de Alvenaria Estrutural (PCE), que foi conhecido em sua forma simplificada por alvenaria estrutural. A qual foi adaptada e consolidada através de normalização oficial da ABNT na década de 80.

Para melhor entender estes conceitos vale citar as definições apresentadas por Sabbatini (2002, p.8):

Alvenaria – componente complexo, conformado em obra, constituído por tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso.

Alvenaria Estrutural – alvenaria utilizada como estrutura suporte de edifícios e dimensionada a partir de um cálculo racional. O uso da alvenaria estrutural pressupõe:

- Segurança pré-definida (idêntica a de outras tipologias estruturais).
- Construção e projeto com responsabilidade precisamente definidas e conduzidas por profissionais habilitados.
- Construção fundamentada em projetos específicos (estrutural-constructivo), elaborado por engenheiros especializados.

Processos Construtivos de Alvenaria Estrutural (PCAE) – São específicos modos de se construir edifícios que se caracterizam por:

- Empregar como estrutura suporte paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras.
- Serem dimensionados segundo métodos de cálculo racionais e de confiabilidade determinável.
- Ter um alto nível de organização de produção de modo a possibilitar projetos e construção racionais

Bloco – componente (unidade de alvenaria) de fabricação industrial com dimensões que superam as do tijolo:

- **Blocos vazados** – blocos com células contínuas (vazados) perpendiculares a sua seção transversal (são assentados com os vazados na direção vertical) nos quais a área total dos vazados em qualquer seção transversal é de 25% a 60% da área bruta da seção.
- **Blocos maciços** – blocos cuja área de vazios em qualquer seção transversal é inferior a 25% da área bruta da seção.

1.5.2. Análise preliminar

Para melhor definição dos objetivos e nível de ambição do projeto é necessária uma análise preliminar da situação apresentada pelo serviço de alvenaria estrutural do empreendimento. Para tal foi realizada uma observação inicial, com a duração de cinco ciclos, com o objetivo de calcular o tempo de ciclo médio deste serviço e observar serviços adjacentes a este, que apresentem alguma dependência ou que precisem ser realizados antes da alvenaria estrutural. A tabela 1.1 apresenta os resultados desta observação inicial.

Tabela 1.1 – Observação inicial do tempo de ciclo da alvenaria

Andar	Tempo do ciclo de alvenaria (dias)
1 – A	6
1 – B	5
2 – A	7
2 – B	5
3 – A	5

Fonte: Elaborado pelo autor

Durante esta observação o processo de alvenaria apresentou um ciclo médio de 5,4 dias por andar, dado o que o maior tempo foi de 7 dias e o menor de 5 dias. Percebe-se que o

processo apresenta uma grande variação no tempo de ciclo, sem apresentar uma estabilidade, que normalmente está associada a um controle do processo.

Isto, pois dentro de um processo que dura em média 5,4 dias, a diferença entre o maior e o menor tempo de ciclo é de 2 dias, ou aproximadamente 37% do tempo de ciclo total médio. A velocidade média de construção dos pedreiros varia muito, o que acaba dificultando a previsão de necessidades por insumo do processo.

1.5.3. Estrutura de custos

Cabe neste ponto apresentar a estrutura de custos da obra analisada para que dessa forma possamos comprovar as premissas de elevados custos fixos, e grande relevância, também em relação aos custos, do item de alvenaria.

Esta estrutura será apresentada em valores percentuais, devido a termos de confidencialidade. A tabela 1.2 evidencia esta estrutura.

Tabela 1.2 – Estrutura de custos

Item	% dos custos totais
Serviços Preliminares	2,00
Administração e despesas (fixo)	20,18
Fundações	8,89
Estrutura	6,14
Regularização de piso	0,14
Alvenaria e escadas	11,73
Laje	7,32
Instalações elétricas, hidráulicas, telefonia e incêndio	5,88
Janelas	3,40
Massa interna	1,04
Gesso corrido	2,82
Massa externa	1,93
Azulejos	1,34
Pisos internos	3,13
Pisos Hall/Escada	0,33
Telhado	0,36
Portas e fechaduras	2,02
Pintura interna	2,91
Pintura externa	1,15
Complementos hidráulicos	2,83
Forro de gesso	1,62
Pavimentação externa	1,49
Complemento de obra	7,80
Limpeza	0,26
Serviços finais	1,83
Movimento de terra	1,43
Outros	0,03
TOTAL	100,00

Fonte: Empresa X

Para uma melhor avaliação da relevância de cada custo é apresentada na figura 1.3 uma avaliação ABC dos mesmos.

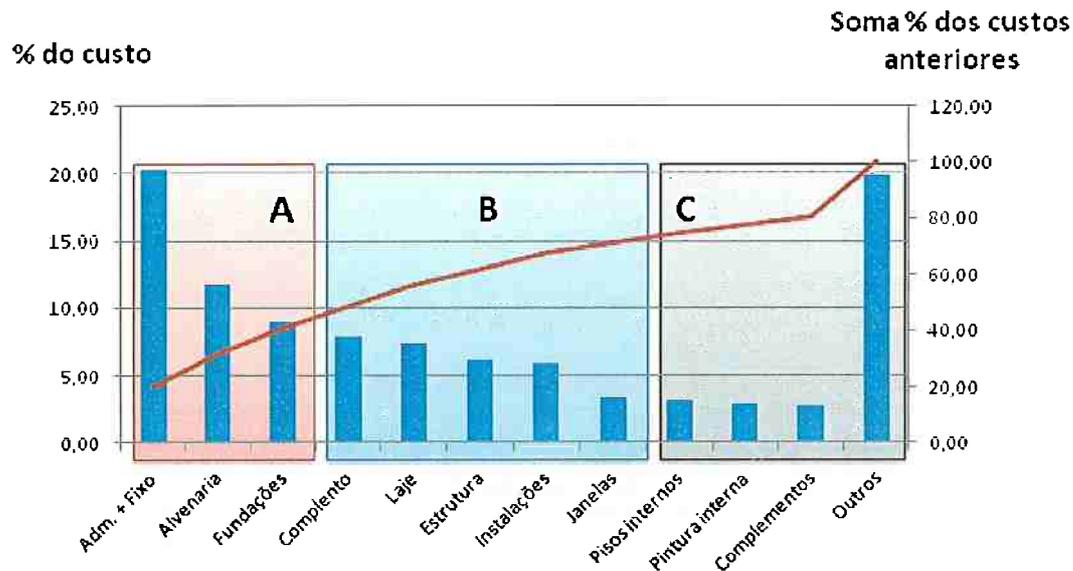


Figura 1.3 – Curva ABC dos custos envolvidos

Fonte: Empresa X

Pode-se perceber que realmente os custos fixos são os mais relevantes dentro da obra, totalizando 20,18%, valor bastante próximo da média apresentada anteriormente que era de 20%. Outro custo caracterizado como A para o projeto é a alvenaria, comprovando novamente a relevância deste item dentro da obra e assim avigorando a argumentação da escolha do mesmo para análise no presente trabalho.

1.5.4. Relevância para a empresa

Para melhor evidenciar a relevância deste trabalho para a obra analisada foi realizada uma análise de sensibilidade, a qual busca mostrar os impactos nos custos totais gerados pela redução do tempo de ciclo. Para tal considerou-se que os custos fixos são diretamente proporcionais ao tempo de ciclo, e, para obter uma análise mais conservadora, considerou-se que a redução do ciclo total apenas geraria redução dos Custos Fixos.

Vale observar que o tempo de ciclo da alvenaria é responsável por 25% do tempo de ciclo total da obra, portanto a redução daquele impacta diretamente 25% dos custos fixos totais. Os resultados desta análise são apresentados na tabela 1.3.

Tabela 1.3 – Análise de sensibilidade dos custos totais

Redução de Ciclo Alvenaria	Impacto nos Custos Fixos	Impacto nos custos totais
4%	-1%	-0,2%
8%	-2%	-0,4%
12%	-3%	-0,6%
16%	-4%	-0,8%
20%	-5%	-1,0%
24%	-6%	-1,2%
28%	-7%	-1,4%
32%	-8%	-1,6%
36%	-9%	-1,8%
40%	-10%	-2,0%
44%	-11%	-2,2%
48%	-12%	-2,4%

Fonte: Elaborado pelo autor

Por experiência da Logical Systems, sabe-se que o tempo de ciclo médio apresentado pela alvenaria estrutural de empreendimentos deste tipo pode chegar a 3 dias. Porém, novamente para garantir uma avaliação preliminar conservadora, considerando-se um novo tempo de ciclo de 4 dias, o que significaria uma redução de 28% do mesmo, o impacto nos custos totais seria de 1,4%, um valor já significativo, visto que este é um empreendimento de grande quantidade de capital investida.

O que nos leva a concluir que, mesmo que este trabalho apresente um resultado conservador, já apresentará grandes benefícios para a “Empresa X”, que podem ser ainda maiores, levando em consideração outros impactos como antecipação de receita por exemplo.

1.6. Estrutura do trabalho

Segue uma estrutura macro do trabalho apresentando uma breve descrição dos capítulos que subsequentes, possibilitando um melhor entendimento da totalidade do projeto por parte do leitor.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica

Este apresenta uma revisão da literatura de algumas teorias apresentadas durante o curso de engenharia de produção, com o intuito de realizar uma discussão das mesmas e selecionar aquela que é mais adequada para atender as particularidades deste projeto. As

teorias selecionadas para comparação foram Seis Sigma, *Lean Production* e *Lean Construction*, esta última uma teoria derivada do *Lean Production* para ser aplicada no setor de construção civil.

Capítulo 3 – Resolução do Problema

Neste capítulo é realizada uma avaliação completa da situação atual do empreendimento com o objetivo de entender efeitos indesejados e suas causas, para que assim possa-se utilizar a teoria selecionada no capítulo 2 para criar um plano de ação buscando solucionar tais efeitos e atingir os objetivos propostos na introdução deste trabalho.

Capítulo 4 – Conclusão

Este capítulo procura apresentar um resumo do trabalho, mostrando os principais resultados obtidos pelo mesmo e suas conseqüências para a empresa estudada e também para o setor da construção.

2. Revisão bibliográfica

Neste capítulo serão discutidas algumas teorias estudadas durante o curso de engenharia de produção que podem guiar este trabalho na busca pelas possíveis soluções dos problemas anteriormente descritos.

A primeira a ser discutida será a teoria do Seis Sigma, a qual procura incrementar a qualidade da produção através da contínua evolução dos processos envolvidos na mesma. Focada na eliminação dos gargalos, a Teoria das Restrições será a segunda teoria discutida neste projeto.

Posteriormente será descrita a teoria do *Lean Production* como uma forma de introduzir a discussão sobre o *Lean Construction*, o qual, como já explicitado, deriva-se da aplicação da teoria de produção enxuta no campo da engenharia civil.

Finalmente será discutida a metodologia aplicada pela Logical Systems para resolver os problemas por ela enfrentados no dia-a-dia das obras para as quais a mesma presta consultoria. Tal metodologia está baseada no *Lean Construction* e em *papers* escritos por Howell e Ballard.

A partir da compreensão de cada teoria, será possível selecionar a mais adequada para este trabalho, que será utilizada para gerar soluções adequadas aos objetivos propostos inicialmente.

2.1. Seis Sigma

Smith (1986) criou o seis sigma enquanto trabalhava na Motorola, buscando reduzir custos, e melhorar os processos, aumentando assim os lucros da empresa. A Motorola estima que, em pouco mais de 10 anos, tenha economizado mais de US\$ 11 bilhões com o uso do Seis Sigma.

A abordagem utilizada busca alcançar uma produção livre de falhas, através da contínua evolução dos processos envolvidos. Outro ponto que vale ser ressaltado é que este modelo modificou a visão de defeitos, definindo os mesmos como qualquer ponto que possa

criar insatisfação por parte do cliente. Ou seja, esta teoria concentra-se tanto no produto quanto no cliente (Rotondaro, 2002).

O termo Sigma procura medir a quantidade de defeitos apresentado pelo processo, através da representação do número de desvios padrão do processo entre os limites especificados e o valor nominal do processo. Desta forma consegue avaliar a capacidade do processo operar sem falhas. Um processo Seis Sigma opera com uma taxa de 3,4 falhas por milhão, ou 99,99966% de processos sem defeito (Rotondaro, 2002).

Esta busca pela perfeição pode ser explicada por o que afirmou Rotondaro (2002, p.21) “As variações de um processo levam a um aumento de defeitos, custos e tempo de ciclo”, portanto ao estabilizar o processo também, no limite, consegue-se aumentar os lucros gerados pelo processo.

A figura 2.1 apresenta um processo de capacidade 6σ .

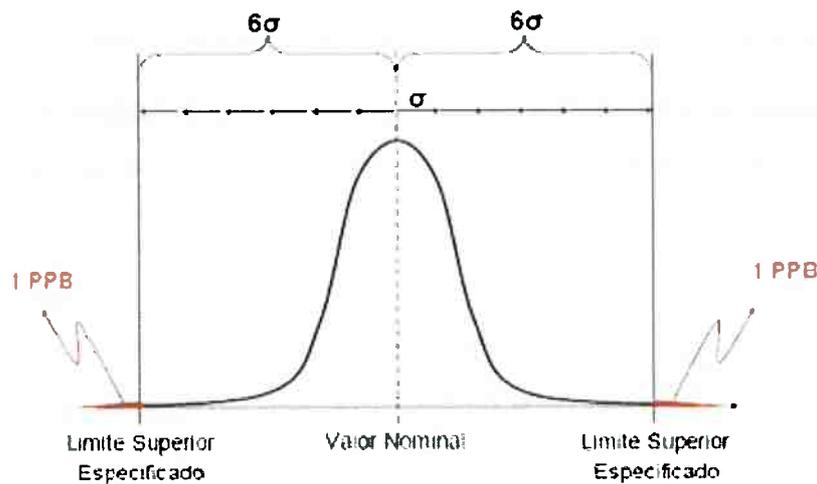


Figura 2.1 – Processo de capacidade 6σ

Fonte: Ouchi, 2002

Para melhor explicitar o que realmente significa alcançar um processo de capacidade seis sigma, a figura 2.2 compara processos envolvidos no nosso dia-a-dia de capacidade 4σ (99,38% de acertos) e 6σ (99,99966% de acertos).

4 σ	6 σ
7 horas de falta de energia elétrica / mês	1 hora de falta de energia elétrica / 34 anos
5000 operações cirúrgicas incorretas / semana	1,7 operações cirúrgicas incorretas / semana
15 minutos de fornecimento de água não potável/dia	1 minuto de fornecimento de água não potável / 7 meses
1 aterrissagem de emergência no aeroporto de Guarulhos / dia	1 aterrissagem de emergência em todos os aeroportos do Brasil / 5 anos

Figura 2.2 – Processos 4 σ vs. 6 σ

Fonte: Werkema, 2002

Pode-se perceber que, apesar de inicialmente parecer uma diferença irrelevante de menos de 1%, esta se mostra extremamente relevante e, em certos casos, faz com que um processo 4 σ seja totalmente inviável, gerando defeitos que jamais seriam aceitos pelos clientes, como por exemplo no caso de operações cirúrgicas incorretas. Ou seja, alcançar um processo de capacidade 6 σ pode decidir a sobrevivência ou não de certa empresa em seu mercado.

A metodologia Seis Sigma deriva-se das demais metodologias estatísticas anteriores que se utilizavam de ferramentas básicas da qualidade. Rotondaro (2002) observa que todos estes processos são baseados no método científico que segue as seguintes etapas: Observar, Medir, Analisar, Sintetizar.

Com isto Deming (1950) introduziu o ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar, Agir) que foi utilizado pela Motorola para a criação do modelo MAIC, posteriormente utilizado pela GE como DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar). Este que é a base utilizada pela metodologia Seis Sigma.

Rotondaro (2002, p.24) elabora tal metodologia nos seguintes passos:

- **Seleção de projetos:** definir claramente qual o “efeito” indesejável do processo, que deve ser eliminado ou melhorado.
- **Desempenho do processo atual:** desenho do processo estudado e medição das variáveis principais.
- **Análise das causas:** uso de ferramentas da qualidade e estatísticas para análise dos dados coletados. Ex.: FMEA, teste de hipóteses, análise de variância, etc.

- **Melhoria do processo:** tradução dos dados estatísticos em dados do processo, para que se possa atuar nas causas raízes.
- **Manter o processo sobre controle:** estabelecimento de um sistema de medição para garantir que o processo mantenha-se dentro das especificações determinadas.

2.2. Teoria das restrições

Goldratt (1984) introduziu a teoria das restrições em seu livro *A Meta*, uma espécie de novela que tenta passar um lema definido posteriormente pelo próprio Goldratt (1997, p.18):

“Os ótimos locais não se somam para formar um ótimo sistema como um todo. A chave para saber o que fazer localmente é perceber o papel que desempenham as restrições do sistema.”

Este lema surgiu a partir de constatações de que os métodos de gerenciamento tradicionais, quando exerciam monitoramento e controle dos processos, consideravam cada um deste como uma atividade independente, sem corretamente compreender o papel de cada um dentro da totalidade.

O gerenciamento de restrições é uma abordagem que planeja e controla a produção e venda de produtos e serviços, reconhecendo o poderoso papel que a restrição (o recurso limitante) desempenha na determinação da saída do sistema de produção como um todo (Cox; Spencer, 2003).

A teoria das restrições pode ser compreendida como 3 áreas inter-relacionadas, dentro das quais definem-se ferramentas e metodologias de aplicação independentes (Cox; Blackstone, 2008, p. 12, tradução nossa).

1. **"Logística:** programação Tambor-Pulmão-Corda, gerenciamento de pulmões e análise V-A-T (utilizadas para projetar e analisar linhas de produção assim como sistemas de distribuição)".
2. **"Indicadores de desempenho:** ganho, inventário e despesas operacionais, e cinco etapas de focalização".
3. **"Pensamento lógico:** identificação do problema raiz (árvore da realidade atual), identificação e criação de soluções ganha-ganha (diagrama de dispersão de nuvens e árvore da realidade futura), desenvolvimento de planos de implementação (árvore de pré-requisitos e árvore de transição) (Cox; Blackstone, 2008, p. 12, tradução nossa).

Entende-se por restrição qualquer elemento ou fator que impede que um sistema conquiste um nível melhor de desempenho no que diz respeito a sua meta. As restrições podem ser físicas, como por exemplo um equipamento, ou a falta de material, mas elas podem

ser também de ordem gerencial, como procedimentos, políticas e normas (Cox; Blackstone, 2008).

Cox e Spencer (2003) apresentam uma figura bastante didática que facilita a compreensão dos temas principais da teoria das restrições, a qual é apresentada na figura 2.3.

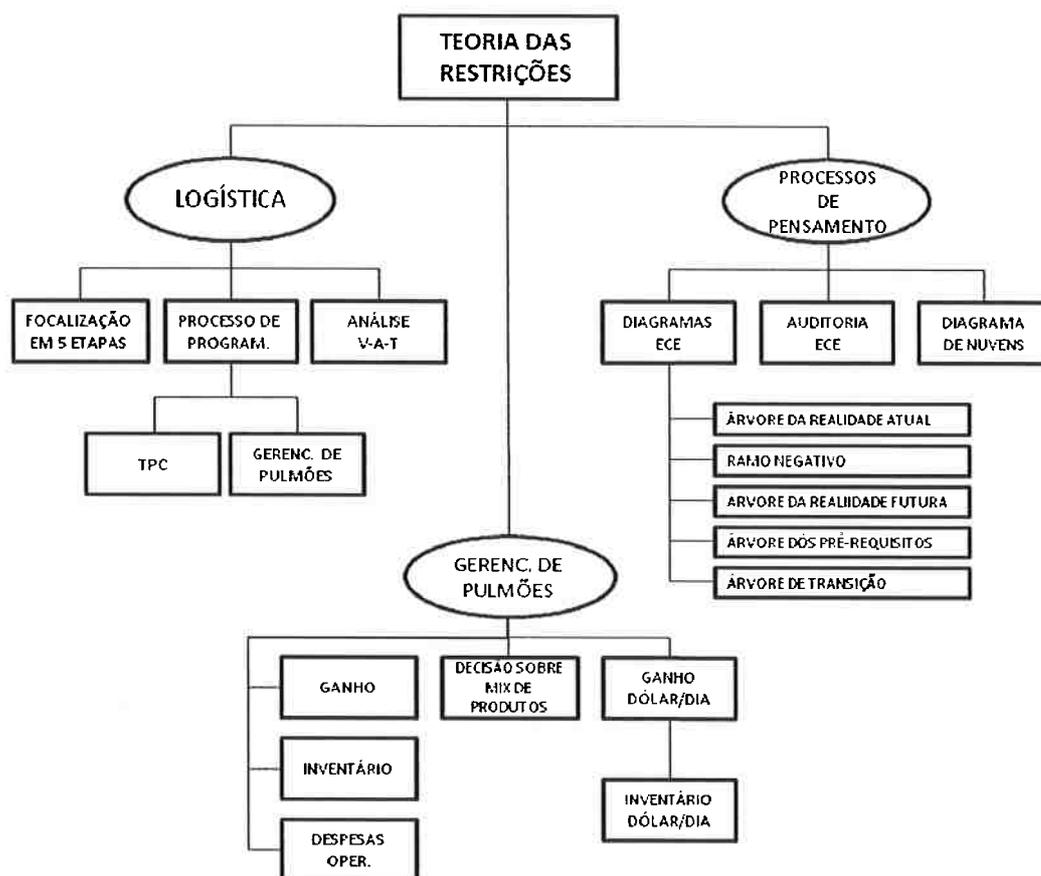


Figura 2.3 – Representação do gerenciamento de restrições

Fonte: Cox; Spencer, 2003

A seguir são apresentadas as definições para cada uma das ferramentas e metodologias apresentadas anteriormente, com o objetivo de aprofundar o conhecimento destas (Cox; Blackstone, 2008, p.15, tradução nossa).

"Tambor-Pulmão-Corda: é a técnica genérica utilizada para gerenciar os recursos a fim de maximizar o ganho. O tambor marca o ritmo de produção determinado pela restrição do sistema. Os pulmões estabelecem a proteção contra incertezas para que o sistema possa maximizar o ganho. A corda é o processo de comunicação entre o processo de restrição e o processo final que controla ou limita o material liberado no sistema para sustentar a restrição".

"Análise V-A-T: é um método de gerenciamento de restrições para determinar o fluxo geral dos componentes e produtos desde a matéria-prima até os produtos acabados (estrutura lógica de produto). Uma estrutura lógica tipo V começa com

uma ou várias matérias-primas, e os produtos se amplificam em vários produtos diferentes conforme flui através de seu roteiro de produção. A estrutura lógica tipo A é dominada por pontos de convergência. Muitas matérias-primas são fabricadas e montadas para formar poucos produtos finais. A estrutura lógica tipo T consiste em muitos produtos finais similares montados a partir de montagens e submontagens comuns. Uma vez determinado o fluxo geral das partes ou componente, é possível identificar e gerenciar os pontos de controle do sistema (operações finais, pontos de convergência, pontos de divergência e pontos de expedição)".

"Focalização em cinco etapas: é um processo para aprimorar continuamente as organizações através da avaliação do sistema de produção e do composto mercado-lógico para determinar como obter mais lucro usando o sistema de restrições. As etapas são: 1) identificar a restrição do sistema, 2) decidir como explorar a restrição do sistema, 3) subordinar todas as não-restrições às restrições, 4) elevar a restrição do sistema, 5) retornar a etapa 1 se a restrição for eliminada em algum passo anterior e não permitir que a inércia atue neste processo".

"Árvore da realidade atual: ferramenta baseada na lógica que se utiliza de relacionamentos de causa e efeito para determinar problemas raiz que causam os efeitos indesejáveis observados no sistema".

"Árvore de dispersão de nuvens: baseada na lógica para revelar pressupostos ou suposições relacionados a um conflito ou um problema. Uma vez revelado o pressuposto, é possível determinar ações para quebrá-lo e, portanto, resolvê-lo".

"Árvore da realidade futura: ferramenta baseada na lógica para construir e testar soluções potenciais antes de sua implementação. Os objetivos são desenvolver, expandir e completar a solução e identificar e solucionar ou impedir novos problemas gerados pela implementação da solução".

"Árvore de pré-requisito: ferramenta baseada na lógica para identificar e seqüenciar as ações para alcançar um objetivo. As transições representam os estados ou estágios na mudança da situação presente para o objetivo desejado".

"Árvore de transição: na teoria das restrições, é uma ferramenta baseada na lógica para identificar e seqüenciar as ações para alcançar um objetivo. As transições representam os estados ou estágios na mudança da situação presente para o objetivo desejado" (Cox; Blackstone, 2008, p.15, tradução nossa).

2.3.Lean Production

Womack (1997) afirmou que Henry Ford foi o primeiro pensador *Lean*, visto que em sua fábrica em Highland Park em 1914 ele criou não apenas uma linha de produção com fluxo contínuo, como também a organizou de forma a reduzir os estoques intermediários. Até mesmo em seu livro, Ford (1922) já comentava sobre fluxo contínuo e eliminação dos desperdícios; já nesta época Ford enxergava estoque de matéria-prima e produtos acabados como desperdício.

O grande problema de seu modelo de produção era a falta de flexibilidade, de sua linha saíam veículos exatamente iguais, sempre. Isto, pois como ele mesmo acreditava, os consumidores iriam querer sempre o seu Ford modelo T preto, já que este era o carro ideal, inventado pela Ford em 1908.

Por isso Ford trabalhava com um modelo muito específico de fabricação, grandes volumes de produção com zero de variedade, no qual tudo que era produzido era vendido, já que o mercado encontrava-se em amplo crescimento. Foi seguindo esta linha de raciocínio que a indústria automotiva norte-americana evoluiu, reduzindo os custos através de grandes volumes de produção e baixa variedade de produtos.

Porém a indústria japonesa encontrava um mercado interno bastante diferente do americano, o que a obrigava, como o próprio Ohno (1988) disse, a cortar custos e, ao mesmo tempo, produzir pequenas quantidades de muitos tipos de carros. Este se tornou o principal objetivo do Sistema Toyota de Produção (também conhecido com *Lean Production*).

Ohno (1988) conta em seu livro uma história interessante, na qual ele, trabalhando na unidade de tecelagem da *Toyoda Spinning e Weaving* em 1937, ouviu de um homem que um trabalhador alemão podia produzir três vezes mais do que um trabalhador japonês. A razão entre trabalhadores alemães e americanos era de 1 para 3, o que fazia com que a força de trabalho japonesa fosse nove vezes menor que a americana.

Ele também conta ter ouvido que eram precisos 9 japoneses para realizar o trabalho de 1 americano, ou seja, para alcançar a meta traçada pelo presidente da Toyota de se igualar à indústria americana em no máximo 3 anos, o trabalho que era realizado por 100 homens deveria ser realizado por 10. Ohno se perguntava se um americano podia realmente exercer dez vezes mais esforço físico, o que deixou claro para ele que os japoneses estavam desperdiçando na produção. Esta idéia que o levou a criar a base do Sistema Toyota de Produção: **Eliminação total dos desperdícios** (Ohno, 1988).

2.3.1. Pilares do Lean Production

Ohno (1988) afirma que os dois pilares para a sustentação desta base são:

- *"Just-in-time* – as partes certas chegam na linha de montagem na quantidade e no momento certo" (Ohno, 1988, p.26).
- *"Autonomação* – automação com um toque humano" (Ohno, 1988, p.26).

A autonomação surgiu pela procura de uma forma de garantir que as máquinas não produzissem com defeitos. Para exemplificar o que isso quer dizer imagine uma máquina automatizada, ao ser ligada esta irá operar até que seja desligada, ou atinja o volume

programado. Agora imagine que durante este processo ocorra algum defeito com um encaixe, por exemplo, todas as peças fabricadas posteriormente serão defeituosas, ou seja, mais desperdício (Ohno, 1988)

Para tanto, a Toyota acoplou à grande parte de suas máquinas, dispositivos de parada automática, para impedir a produção de produtos defeituosos. Pode acontecer de toda a produção de uma fábrica parar por causa de um defeito em uma máquina. (Ohno, 1988).

Segundo Shook (1998), o sistema *Just-in-time* é composto por "Sistema Puxado", "Fluxo de Uma Peça", e "Takt Time", os quais estão integrados ao método de programação da produção "*Heijunka*". Este método prioriza o nivelamento da produção tanto por volume quanto por variedade, o que acaba por criar uma demanda estável por recursos e permite também o nivelamento das necessidades de trabalho em todo o processo produtivo.

O "Sistema Puxado" baseia-se na idéia de que um produto só deve ser produzido quando já existe demanda para tal, ao contrário do que ocorre normalmente na produção em massa, em que se produz na capacidade máxima das máquinas, empurrando os produtos para o processo seguinte, o que gera estoque.

Para tal, Ohno (1988) utilizou-se de uma técnica conhecida por Kanban, que é basicamente um quadro de sinalização para informar aos fornecedores, tanto internos quanto externos, que tal setor necessita de quantidade específica de certa peça em dado momento. Desta forma as peças são fabricadas apenas no momento e na quantidade necessárias, o que, no limite, elimina os estoques entre processos.

Ohno (1988, p.46) define Kanban como "o meio usado para transmitir informação sobre apanhar ou receber a ordem de produção".

O último elemento do *Just-in-time*, o "Takt Time" infere que a passada da produção deve ser similar a passada das vendas para cada produto e, conseqüentemente, para cada peça (Ohno, 1988). Ou seja, se um Corola é vendido a cada meia hora, então a Toyota deve fabricar um Corola a cada meia hora. Shook (1998) vai mais longe, e afirma que se em média metade dos Corolas vendidos possuem ar-condicionado, então a cada dois Corolas que deixam a fábrica da Toyota, um destes deve estar equipado com ar-condicionado.

2.3.2. Os sete desperdícios de Ohno

Com esta estrutura explicitada podemos agora compreender melhor a base do *Lean Production* que é a total eliminação dos desperdícios. Para isto é necessário entender o que Ohno compreende por desperdício:

“Desperdício se refere a todos os elementos de produção que só aumentam os custos sem agregar valor – por exemplo excesso de pessoas, de estoques e equipamentos”(Ohno, 1988, p.71).

Ohno (1988) também os compreende como primários e secundários, sendo o desperdício secundário aquele que ocorre devido a um desperdício primário. Por exemplo, excesso de pessoas e equipamentos gera trabalhos desnecessários, o que consome tempo, energia e dinheiro.

Foram mapeados os processos tentando identificar tudo aquilo que não agrega valor, conseguindo dividir os desperdícios primários em sete grupos principais (Ohno, 1988, p.72):

1. **Excesso de produção:** produzir mais que o mercado consome.
2. **Transporte:** transporte desnecessário de produtos.
3. **Movimento:** movimento desnecessário de pessoas.
4. **Espera:** tempo ocioso aguardando insumos.
5. **Processo:** esforço que não agrega valor para o cliente.
6. **Estoque:** reserva de materiais acima das necessidades do cliente (interno ou externo)
7. **Defeitos:** trabalho defeituoso que deve ser refeito ou eliminado.

2.3.3. Os princípios do Lean Production

O pensamento Lean foi minuciosamente descrito por James Womack em seu famoso livro *A Máquina Que Mudou o Mundo* (1990), escrito como uma tentativa de trazer o método de produção da Toyota para a indústria norte-americana, já que ele o julgava extremamente superior aos métodos de produção aplicados nos Estados Unidos. Womack (1990) também definiu os 5 princípios da produção enxuta, os quais são resumidos na figura 2.4:

1. **Valor:** definir valor na ótica do cliente.
2. **Fluxo de valor:** identificar na cadeia produtiva os processos que agregam valor e aqueles que não agregam, procurando, quando possível, eliminar os últimos.
3. **Fluxo contínuo:** fazer com que o fluxo do produto seja ininterrupto nas etapas restantes que agregam valor.
4. **Produção puxada:** inverter o fluxo produtivo como descrito anteriormente.
5. **Perfeição:** buscar continuamente a evolução dos processos, fazendo com que o número de etapas e o tempo e informações necessárias para servir o cliente sempre diminuam.

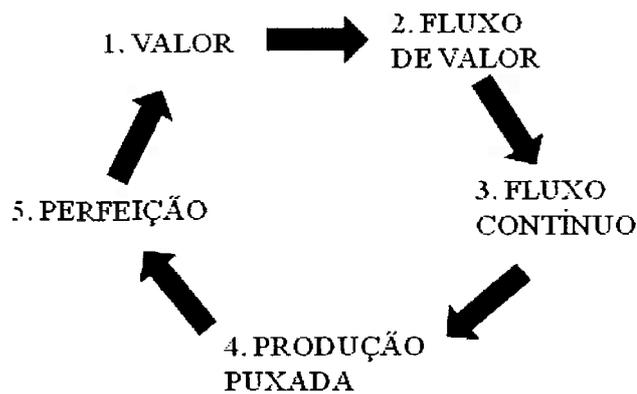


Figura 2.4 – Os 5 princípios Lean de James Womack
 Fonte: Womack (1990)

2.3.4. Os cinco porquês

Atacar a causa raiz de um problema é a única maneira de garantir que não se está transferindo estes problemas para outros. Perante os sintomas de um problema, Senge (2004) defende que se deve tomar a solução fundamental, aquela que elimina as causas-raiz, ao invés de optar pelas soluções sintomáticas, que apenas irão gerar efeitos colaterais, o distanciando da solução fundamental.

A figura 2.5 ilustra este arquétipo defendido por Peter Senge no livro “A Quinta Disciplina”, ao qual deu-se o nome de *Shift the burden*.

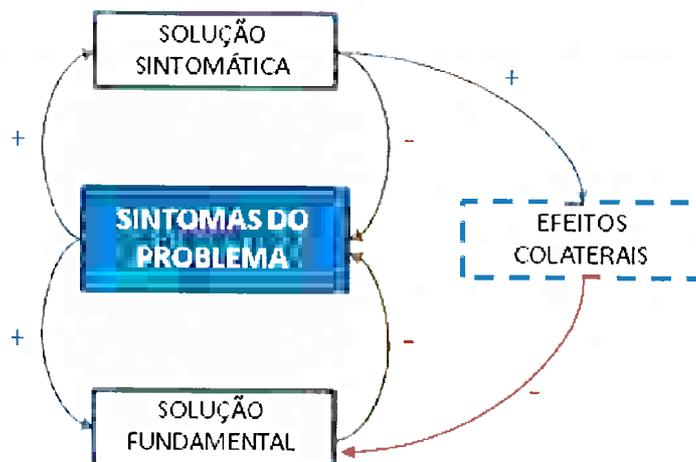


Figura 2.5 – Shift the burden

Fonte: Peter Senge, 1990

Em seu livro *O Sistema Toyota de Produção*, Ohno (1988) explicita uma excelente ferramenta utilizada por ele para identificar as causas-raiz de certos problemas; porém vale ressaltar que a mesma foi desenvolvida por Sakichi Toyoda (fundador da Toyota).

Esta é uma ferramenta extremamente simples, de fácil aplicação, que traz resultados muito relevantes. Ela consiste em, ao enfrentar um problema, perguntar cinco vezes por quê. Ohno (1988, p.37) cita um exemplo que facilita o entendimento da mesma:

1. "Por que a máquina parou?
Porque houve uma sobrecarga e o fusível queimou.
2. Por que houve uma sobrecarga?
Porque o mancal não estava suficientemente lubrificado.
3. Por que não estava suficientemente lubrificado?
Porque a bomba de lubrificação não estava bombeando o suficiente.
4. Por que não estava bombeando suficientemente?
Porque o eixo da bomba estava gasto e vibrando.
5. Por que o eixo estava gasto?
Porque não havia uma tela acoplada e entrava limalha."

Percebe-se que ao identificarmos o problema a primeira reação seria apenas a troca do fusível, o que não eliminaria a verdadeira causa raiz e o problema voltaria a aparecer. Esta técnica permite que a raiz do problema seja identificada e corrigida, a qual costuma estar escondida atrás de sintomas mais simples.

Outro exemplo relevante citado por Ohno (1988, p.38) refere-se à pergunta “Por que estamos produzindo componentes em demasia?”, para a qual a resposta encontrada foi “Porque não existe um jeito de manter baixa ou prevenir a superprodução”. Foi esta resposta que levou à idéia de controle visual que, por sua vez, levou ao *kanban*.

Porém esta técnica por si só apenas identificaria uma causa, não possibilitando o entendimento de um problema que possui diversas. Para isto a mesma evoluiu e Bill Wilson, em seu artigo Five-by-Five Whys, criou outras perguntas que devem ser feitas para identificar a relevância da causa encontrada e sua relação com o sintoma identificado (Wilson, 1994, p.5, tradução nossa):

1. Que provas tenho que esta causa existe? (é concreta? É mensurável?)
2. Que provas tenho que esta causa levará ao problema identificado? (ou estou apenas fazendo suposições?)
3. Que provas tenho que esta é a principal causa que verdadeiramente leva ao problema? (mesmo que seja um fator importante, a causa principal poderia ser outra?)
4. Algo mais deve ocorrer junto a esta causa para que o problema ocorra? (ela é auto-suficiente?)
5. Outra causa que não esta, pode levar ao problema encontrado? (existem outras explicações que sejam melhores? Quais outros riscos estão envolvidos?)

Desta maneira pode-se garantir que a causa mais relevante para o problema será encontrada, o que permitirá à equipe de trabalho resolver, espera-se que permanentemente, o efeito indesejável encontrado.

2.4. Lean Construction

Derivado da teoria do *Lean Production*, o *Lean Construction* surgiu em 1992 quando o pesquisador Lauri Koskela publicou um artigo que ficou conhecido como Relatório Técnico nº 72 – *Application of the New Production Philosophy to Construction*, publicado pelo CIFE – *Center for Integrated Facility Engineering*. Neste, Koskela lança um desafio para os profissionais da engenharia civil, no qual estes deveriam quebrar paradigmas e empregar as técnicas desenvolvidas pela Toyota nos processos de construção. Este desafio veio a criar a base da Construção Enxuta, com o mesmo enfoque nos conceitos de fluxo e geração de valor para o cliente, criados por Ohno.

Baseados neste artigo, os engenheiros Gregory Howell e Glenn Ballard organizaram, na Finlândia, o primeiro encontro de *Lean Construction*, que originou, em 1994, ao IGLC – *International Group for Lean Construction*. Este realiza encontros anuais para discutir os avanços em gestão na construção civil.

Ballard e Howell (1994, p. 3, tradução nossa) afirmaram que a análise dos planos de trabalho indicava que “normalmente apenas 50% das tarefas dos planos semanais são finalizadas ao final da semana” e que os construtores podiam mitigar os problemas através de “gestão ativa da variabilidade, iniciando-se pela estruturação do projeto e seguindo pela operação e melhoria deste”. Esta foi a base do início das discussões do IGLC, que evoluíram até gerarem os conceitos aqui explicitados.

2.4.1. Particularidades da Construção Civil

Koskela (2002, p. 7, tradução nossa) define o Lean Construction como “uma maneira de desenhar sistemas de produção a fim de minimizar os desperdícios de material, tempo e esforços, assim conseguindo gerar o máximo possível de valor”. Para tal, utilizou-se do sistema de produção idealizado por Ohno na Toyota para criar um sistema de gestão da produção para sistemas baseados em projetos, como é o caso da engenharia civil, focando-se em 3 variáveis, Transformação, Fluxo e Valor.

É importante frisar a singularidade do setor de construção em relação às demais indústrias, que por mais que não seja possível identificar uma característica similar a todos os empreendimentos, pode-se, assim como fez Koskela (1992, p.5) descrever sua natureza baseada em 3 características básicas:

- Natureza específica de cada projeto – produto singular.
- Produção afeta determinado local, e os arredores do produto.
- Organização de diversas especialidades e caráter temporário.

A natureza específica é clara pelo fato de que, na grande maioria dos casos, os produtos são baseados em desenhos singulares criados para o cliente em questão. O segundo ponto, produção afeta determinado local, diz respeito ao fato da produção ocorrer em volta de um produto de grande escala e fixo, sujeitando-se às condições do local onde ocorre a produção. O último ponto refere-se à pluralidade de especialidades existentes em toda a

cadeia de fornecimento do produto e também ao fato de que a mesma existe apenas durante o tempo de execução do projeto, que é finito.

Vrijihoef e Koskela (2005) estabeleceram uma ligação entre cada um destas particularidades como pode ser observado na figura 2.6.

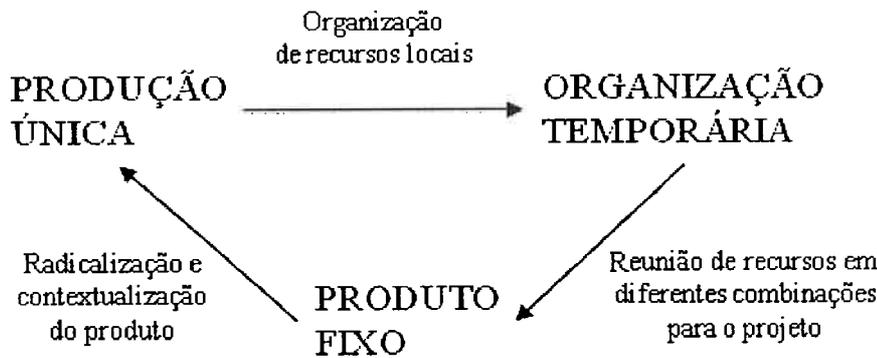


Figura 2.6 - Relações entre as particularidades da construção

Fonte: Vrijihoef; Koskela, 2005

Para Vrijihoef e Koskela (2005) estas particularidades devem ser tratadas em conjunto, buscando assim minimizar os desperdícios gerados pelas próprias particularidades. Esta afirmação já havia sido feita por Koskela (2000), ao constatar que estas particularidades contribuíam para a perda de valor do produto, e que por isso dificilmente conseguiriam abraçar, em sua plenitude, os ideais de geração do pensamento *Lean*. Porém ainda considerava necessário que fosse dado um primeiro passo para a contínua e longa evolução da construção.

2.4.2. Princípios do Lean Construction

A lógica por trás do *Lean Construction* está baseada diretamente na idéia da produção puxada proposta por Ohno, e segue um raciocínio bastante simples. Através da definição de metas intermediárias de produção, é possível calcular demanda de todos os serviços que precisam ser realizados até determinado ponto.

Com isso define-se o ritmo e o tamanho das equipes de cada processo, e também a demanda de insumos. O processo dominado permite às empresas alcançarem redução dos

estoques intermediários e também da necessidade de desembolsos antecipados, buscando um fluxo contínuo de produção (Salles e Conte, 2008).

Chitla (2002, p.12, tradução nossa) define as seguintes características para o *Lean Construction*:

- Conjunto claro e definido de objetivos para o processo de fornecimento, com entendimento das necessidades do cliente.
- Equipes de desenho do produto e do processo funcionando em conjunto para facilitar a geração de valor.
- Desenvolver esforços para melhorar o planejamento do projeto, buscando incrementar o desempenho da execução.
- Estruturar o trabalho em todo o processo aumentando o valor e reduzindo desperdícios.

A eficiência da construção enxuta é medida através do tempo de ciclo, da taxa de defeitos, e do trabalho planejado e concluído a cada semana, com o objetivo de eliminar os desperdícios gerados principalmente por serviços que não geram valor (Chitla, 2002). Koskela (1992, p.16) resumiu a teoria *Lean* em 11 princípios aplicáveis ao *Lean Construction*:

1. Reduzir a quantidade de atividades que não acrescentam valor (desperdício).
2. Identificar e entender o que gera valor para o cliente.
3. Reduzir a variabilidade.
4. Reduzir tempos de ciclo.
5. Simplificar através da minimização do número de passos, partes e ligações.
6. Aumentar a flexibilidade do resultado final, através de simplificações e equipes multi-especializadas.
7. Aumentar a transparência do processo, para facilitar o controle.
8. Controlar todo o processo.
9. Aplicar a melhoria contínua do processo.
10. Equilibrar as melhorias de fluxo com as no processo de conversão.
11. *Benchmark*.

2.4.3. Transformação, Fluxo e valor

Koskela (2000) criou a teoria do TFV (Transformação, Fluxo e Valor) que é a base para a teoria de produção e seus usos na construção. Esta deve ser entendida como um fluxo de trabalho que deve manter-se constante para maximizar a geração de valor de processo. A tabela 2.1 apresenta um resumo da teoria TFV.

Tabela 2.1 – Teoria TFV

	Transformação	Fluxo	Valor
Conceptualização da produção	- Transformação de inputs em outputs	- Fluxo de material, que inclui transformação, inspeção, movimentação e espera	- Processo em que valor para o cliente é criado através do cumprimento de requisitos
Princípio fundamental	- Conseguir que a produção seja realizada eficientemente	- Eliminação do desperdício (atividades que não adicionam valor)	- Eliminação da perda de valor
Princípios associados	- Decomposição das tarefas de produção - Minimização dos custos das tarefas decompostas	- Reduzir tempo de produção - Reduzir variabilidade - Simplificação - Aumento da transparência - Aumento da flexibilidade	- Assegurar entendimento dos requisitos - Assegurar o cumprimento destes requisitos - Assegurar a capacidade do sistema - Medir o valor gerado
Métodos e práticas (exemplos)	- <i>Work breakdown structure</i> - Mapa de aprovisionamentos - Mapa de Responsabilidade Organizacional	- Fluxo contínuo - Produção puxada - Melhoria contínua	- Métodos de recolha de requisitos - <i>Quality Function Deployment</i>
Contribuição prática	- Conhecimento do que deve ser feito	- Atividades desnecessárias são realizadas o mínimo possível	- Garantir que os requisitos do cliente sejam atendidos da melhor forma possível

Fonte: Koskela, 2000, tradução nossa

2.5. Abordagem Logical Systems

Baseada no *Lean Construction* e liderada pelo Eng. Antonio Sérgio Conte, a metodologia utilizada pela Logical Systems para abordar os problemas por ela encontrados no canteiro de obra originou-se da soma de diversos *papers*, escritos em sua maioria por Howell e Ballard, e evoluiu a partir das experiências diárias dos consultores, enquanto procuravam melhorar o planejamento das obras.

2.5.1. Controle orientado para resultado

A primeira dificuldade enfrentada pela equipe de trabalho ao iniciar o planejamento de uma obra era a grande variabilidade encontrada na velocidade de execução de cada um dos itens. Ficava impossível determinar um ciclo de trabalho estável, o que impossibilitava quaisquer tentativas de redução de desperdícios.

Por isso a metodologia criada procura primeiramente atacar o problema da variabilidade da velocidade de execução da obra (normalmente medida em número de andares concluídos por semana). Este ponto já era defendido por Howell e Ballard (1997) quando afirmaram que o primeiro passo para a redução dos desperdícios é proteger os funcionários das incertezas do fluxo de trabalho.

Ambos defendiam que a obra deveria ser protegida da variabilidade através de um “Planejamento Para Certeza”. Para isto é importante perceber a existência de dois fluxos, um de processos planejados, e outro de recursos necessários por esses processos, sendo que a estabilização de ambos cria um escudo para a obra contra as incertezas.

Howell e Ballard (1997) afirmam que o primeiro objetivo do *Lean Construction* deve ser trazer estabilidade ao processo através de negociações mais eficientes entre os meios e os fins em todos os níveis.

As práticas de gestão tradicionais pregam um modelo de planejamento em que é criado um plano, o qual informa o mestre sobre o que deve ser feito durante tal semana. Cabendo a este, apenas monitorar o que foi realizado comparando com o que deveria ser (a figura 2.7 ilustra estas práticas tradicionais de gestão).

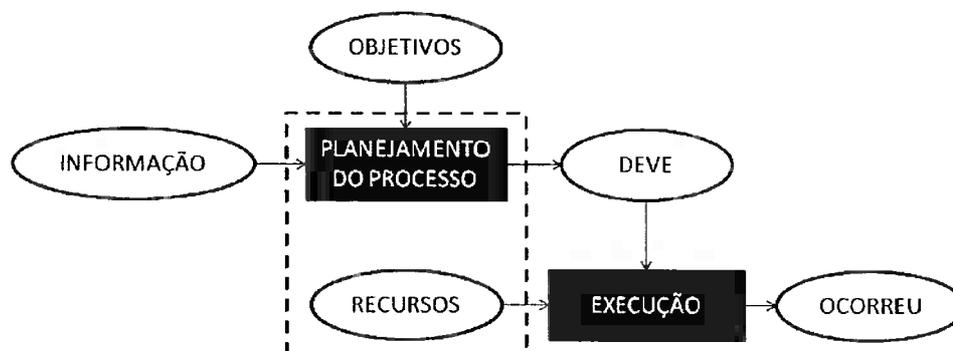


Figura 2.7 – Práticas Tradicionais de Gestão

Fonte: Howell; Ballard, 1997

Porém estudos liderados por eles mostraram que o que realmente acontece bate exatamente com o que deveria ter ocorrido, no máximo 2/3 das vezes, o que indica que este método de planejamento não é o mais adequado para ser aplicado na construção civil.

Portanto Howell e Ballard (1997) defendem a utilização de uma ferramenta chamada “*The Last Planner*” que cria uma nova variável entre o que **deve** ocorrer e o que **ocorre** de fato; o que **pode** ocorrer. A diferença é que, por mais que exista ainda um planejamento

inicial informando o que deve ocorrer, este plano deve ser constantemente revisado e analisado pelos envolvidos na obra, que sabem o que realmente pode ser realizado.

Com o alinhamento entre o que deve ser realizado e o que pode ser realizado, pode existir um comprometimento entre as partes envolvidas para realmente estabilizar o tempo de produção. Howell e Ballard (1997) chamam este método de Controle Orientado para Resultado, que é ilustrado na figura 2.8.

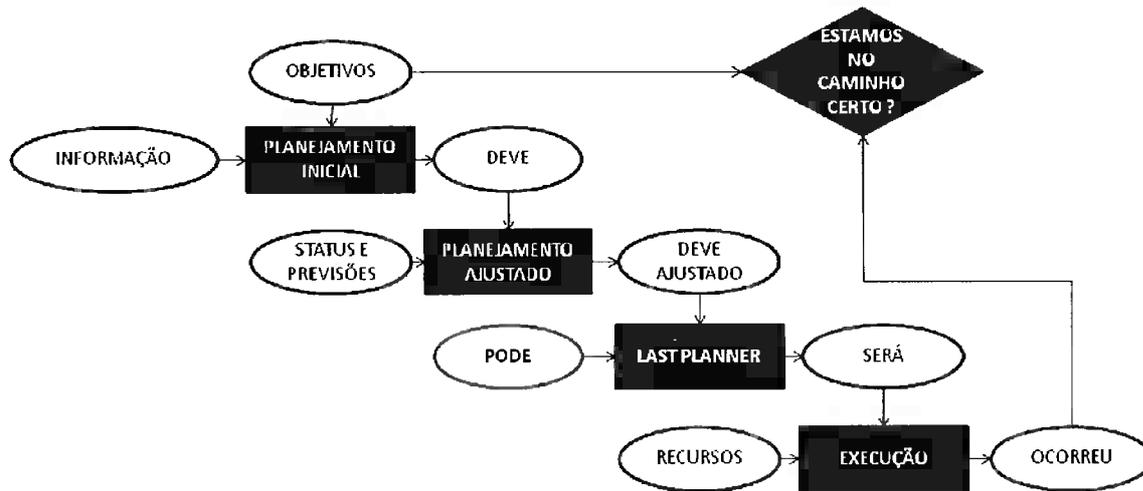


Figura 2.8 - Controle orientado para resultado

Fonte: Howell; Ballard, 1997

Conte foi além e criou uma metodologia de ataque ao desperdício, procurando atacar exatamente estes dois fluxos citados por Howell e Ballard (1997), metodologia essa diretamente relacionada ao *Lean Thinking*.

O primeiro passo é estabilizar o fluxo de processo, visto que o fluxo de recursos depende deste. Para isto é criado, através de conversas com os envolvidos na obra, um plano de produção factível baseado nos conceitos de Sequência, Ritmo e Terminalidade. Pode-se perceber que este primeiro passo está diretamente ligado à um dos princípios defendidos por Ohno (1988), que é o Fluxo Contínuo.

A partir do plano de produção é possível estabilizar o fluxo de recursos, através da demanda baseada no processo jusante, buscando alcançar o *Just-In-Time*. Este conceito está diretamente ligado à outro princípio *Lean*, o da Produção Puxada.

Com os fluxos estáveis, é realizado um controle baseado num índice chamado P.P.C. que mede o percentual de atividades planejadas que foram concluídas. Vale aqui ressaltar que, por buscar primeiramente a estabilidade do processo, a realização de um número maior de

atividades do que o planejado também é considerado prejudicial neste ponto, já que demonstra um planejamento conservador.

Após a estabilização dos processos, a equipe de projeto irá buscar a melhoria contínua dos mesmos, através da otimização dos conceitos de valor e cadeia de valor, buscando eliminar os desperdícios.

Pode-se perceber que esta metodologia está totalmente embasada nos cinco princípios *Lean*, porém os utiliza de uma maneira diferente daquela apresentada por Ohno. A figura 2.9 ilustra esta maneira.

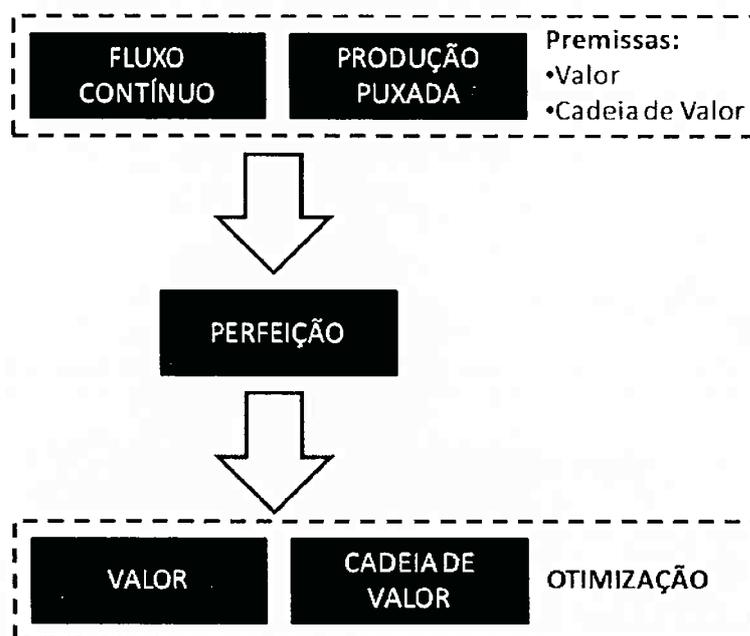


Figura 2.9 – Cinco princípios Lean na ótica da Logical Systems

Fonte: Elaborado pelo autor

2.5.2. First run studies

Howell e Ballard (1999) criaram este conceito para guiar o planejamento das operações de construção, para tal eles consideraram este processo dividido em duas fases. A primeira envolve desde o desenho do produto até as considerações do *Last Planner*, enquanto que a segunda parte do Last Planner até que a operação esteja concluída.

Na primeira fase são feitas decisões sobre o tipo de material, seu agrupamento, e restrições dos métodos de trabalho. Nos métodos tradicionais de planejamento estas decisões são impostas pela direção e não consideram os envolvidos nos processos.

Howell e Ballard (1999) sugerem que esta primeira fase deveria ser entendida como um funil, no qual a superfície deste representa restrições de tempo, custo e qualidade. A abertura do funil representa a quantidade de soluções possíveis restantes, a qual deve reduzir à medida que o tempo for passando e decisões forem tomadas.

A figura 2.10 ilustra este conceito.

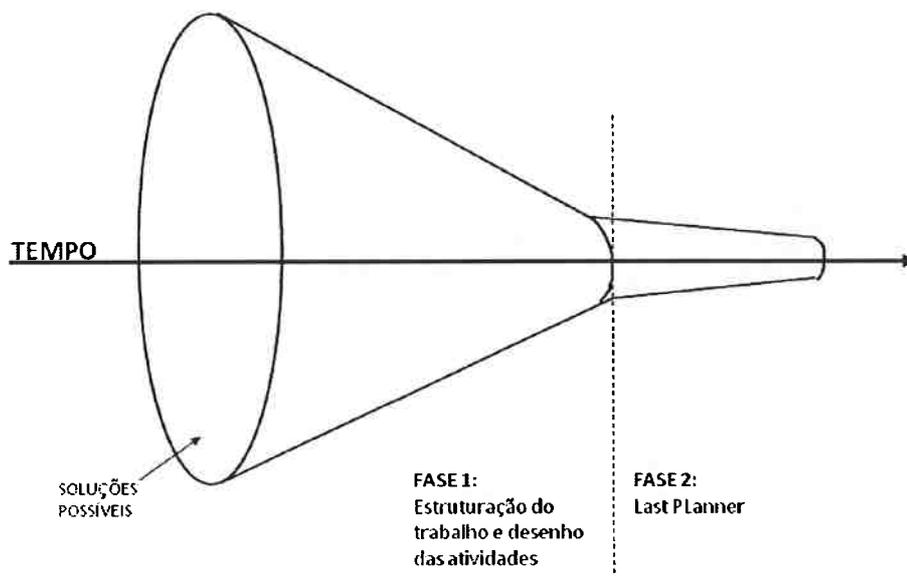


Figura 2.10 - Conceito do funil de soluções

Fonte: Howell; Ballard, 1999

Durante a primeira fase devem ser considerados os seguintes pontos (Howell; Ballard, 1999, p.3):

- Desenho do produto.
- Tecnologia e equipamentos disponíveis.
- Layout do local e logística.
- O tamanho de cada pacote de serviço.
- Condições ambientais (chuvas, ventos, etc.)
- Segurança.
- A experiência esperada dos operários e supervisores.
- Questões trabalhistas.

A lógica do funil segue o entendimento que com o maior detalhamento do processo podem surgir combinações impossíveis de elementos, o que impossibilitaria algumas das soluções propostas.

Portanto Howell e Ballard (1999) sugerem que a estruturação inicial deve possibilitar um nível aceitável de flexibilidade, dentro das restrições, para o *Last Planner*, garantindo assim a executabilidade do plano.

Para tal, as considerações envolvendo detalhes da operação devem ser feitas no que eles chamam de último momento possível, garantindo que problemas que envolvem maiores tempos de resposta sejam considerados, e que o momento de discutir os demais problemas seja definido. Assim, fatores essenciais que guiam a operação ainda estarão em aberto.

Para melhor compreender o último momento possível, foi criada a ferramenta chamada *First Run Studies*, que permite, por exemplo, a compreensão de se o último momento possível de tal operação já passou, ou de que os fatores envolvidos ainda não estão estáveis o bastante para um planejamento completo, etc (Howell; Ballard, 1999).

A idéia desta ferramenta é gerar um plano de como o trabalho será concluído, em detalhes suficientes para servir de documento de controle da operação. Este plano deve ser desenvolvido em conjunto com pelo menos um operário líder, supervisores imediatos e serviços de suporte.

Este é um processo iterativo, portanto deve-se esperar que diversos problemas sejam revisitados e sejam abordados de maneiras significativamente diferentes, devido à descoberta de novas variáveis envolvidas no processo.

2.6. Seleção da teoria mais adequada

Após o melhor entendimento das ferramentas selecionadas para análise, torna-se possível agora a escolha da ferramenta que melhor servirá aos propósitos deste trabalho. Para tal é necessária uma retomada do objetivo proposto, e principalmente dos maiores problemas já observados e descritos na introdução deste trabalho.

Entende-se por objetivo deste trabalho a redução do tempo de ciclo do processo de alvenaria estrutural na obra selecionada para análise. Também é objetivo deste trabalho reduzir os desperdícios observados nesta obra, visto que este é um dos maiores problemas observados na construção civil.

Costa e Rosa (1999, p.22) já afirmaram que “um dos grandes problemas da construção civil é o desperdício observado nos canteiros de obras”. Podemos citar como exemplos: os

tempos de parada e espera dos operários, as falhas nos vários ciclos de transporte dentro do canteiro e o armazenamento inadequado de materiais e equipamentos.

Pesquisa realizada pela FINEP/SENAI/ITQC/PCC demonstrou que gesso areia e cimento estão entre os materiais que apresentam as maiores perdas na construção, como pode ser observado na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Mediana das perdas

Materiais	Perdas (%)
Concreto usinado	9
Aço	11
Blocos e tijolos	13
Placas Cerâmicas	14
Tubos PVC	15
Eletrodutos	15
Condutores	27
Gesso	30
Areia	44
Cimento	56

Fonte: FINEP; SENAI; ITQC; PCC

Vale lembrar também o estudo liderado por Agopyan (1999), o qual mostrou que o setor apresenta uma baixa produtividade e elevado grau de desperdício médio, algo em torno 20% e 25%. Hirschfeld (1996) afirma que este número é ainda mais elevado, cerca de 33%, o que representaria algo em torno de 9% do PIB nacional. Este também explica que os principais fatores de desperdício são:

- Perda de material e retrabalho por falta de qualificação de pessoal, alta rotatividade de mão-de-obra e falta de projeto específico.
- Perda de cerca de 20% de material utilizado na nivelção das paredes.
- Estruturas metálicas enferrujadas por falta de tratamento.
- Armazenamento inadequado (Hirschfeld, 1996, p.35)

No caso deste trabalho, que envolve apenas o serviço de alvenaria, o fator mais relevante é a perda de materiais e retrabalho. Com estas explicações fica claro que o grande problema enfrentado pela construção civil é mesmo o desperdício, o que nos leva a crer que uma teoria que possua como grande objetivo a procura por reduzir os mesmos e aumentar eficiência seja a mesma adequada para os objetivos propostos.

Portanto, dentre as teorias aqui explanadas a que melhor adere a estas condições é o *Lean Construction*, teoria criada com base no *Lean Production*, mas com aplicação voltada diretamente para a construção. Ou seja, faz parte da base teórica desta a constante busca pela

redução dos desperdícios, e eliminação das atividades que não geram valor, o que vai de encontro com as necessidades observadas do setor.

Nos demais capítulos deste projeto será utilizada então a metodologia de trabalho aplicada pela Logical Systems, a qual é derivada diretamente do *Lean Construction*, dos *papers* de Howell e Ballard, e a partir das experiências nos canteiros de obras vividas pelos seus consultores.

3. Resolução do problema

Com a teoria a ser utilizada definida, parte-se agora para a resolução do problema proposto, procurando atingir os objetivos de reduzir o tempo de ciclo do processo de alvenaria estrutural e também reduzir os desperdícios do mesmo processo.

3.1. Construção em X

Primeiramente é necessário compreender se, caso os objetivos sejam atingidos e o serviço de alvenaria estrutural consiga apresentar uma redução de tempo de ciclo, o restante da obra conseguirá acompanhar o novo tempo de ciclo da alvenaria. Isto, pois caso contrário, estas melhorias não trarão benefícios para toda a obra, o que, conseqüentemente, não trará benefícios relevantes para a empresa.

O primeiro serviço a ser realizado após o término da alvenaria é a laje, serviço que também deve ser terminado para que se inicie a alvenaria do andar superior. Para acelerar este processo criou-se o conceito de “construção em X”.

Neste divide-se o andar em duas partes, as quais chamaremos de “A” e “B”. A obra se inicia com a alvenaria do primeiro andar do lado A; enquanto este serviço é realizado a laje não pode ser realizada. Porém com o término da alvenaria do lado A, a laje deste lado pode ser feita, enquanto o serviço de alvenaria é realizado no lado B

Isto ocorre para que, quando a alvenaria do lado B seja finalizada, a laje do lado A também já o seja, o que permite a realização da laje do lado B e da alvenaria do segundo andar do lado A. E este processo se segue em todos os andares seguintes com a restrição de que para a realização da alvenaria do andar N, deve ter sido finalizada a laje do andar N-1, enquanto que para a realização da laje do andar N, a alvenaria deste mesmo andar já deve ter sido concluída.

A figura 3.1 ilustra este conceito

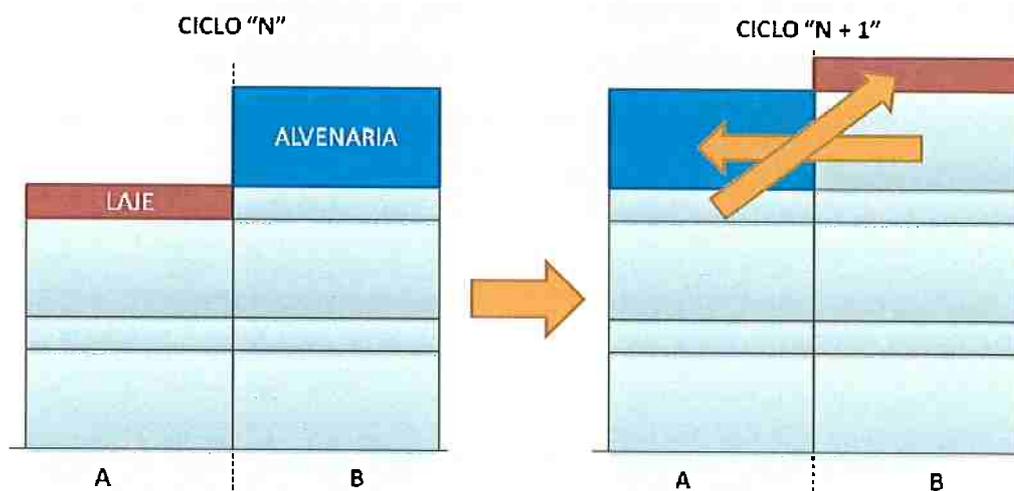


Figura 3.1 – Construção em X

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se concluir que para que o novo tempo de ciclo da alvenaria possa ser seguido, também se faz necessário que a cobertura possua o mesmo tempo de ciclo. O mestre de obra informou que no momento o serviço de laje está apresentando um ciclo de aproximadamente 2 a 3 dias menor que o da alvenaria (ciclo de 3 dias por andar), o que está gerando tempo de ociosidade por parte da equipe de laje, enquanto esta aguarda o término da alvenaria.

Estas afirmações puderam ser comprovadas através de observações no local, onde se pode observar a equipe de cobertura sentada aguardando o término da alvenaria durante um dia todo, como pode ser observado na figura 3.2.



Figura 3.2 – equipe de cobertura aguardando o término da alvenaria estrutural

Fonte: Elaborado pelo autor

Isto nos leva a concluir que a redução do tempo de ciclo do serviço de alvenaria, será facilmente acompanhada pela laje. Portanto a redução do tempo de ciclo da alvenaria também

irá reduzir mais um desperdício apresentado pela obra, o tempo de espera por processamento anterior no serviço de laje. Além de que todos os serviços posteriores, que dependem da finalização da alvenaria, como encanamentos, fiação, etc., também poderão ser acelerados, o que resultará na redução do tempo de entrega da obra.

3.2.Situação atual

O objetivo deste item é ampliar o conhecimento da situação atual da obra, através de análises baseadas no *Lean Thinking*, com o objetivo de primeiramente identificar os efeitos indesejados apresentados pelo processo, através da análise dos sete desperdícios de Ohno. Com a definição dos efeitos se faz possível a definição das causas-raiz destes, através de outra técnica criada pela Toyota, os cinco por quês.

A definição dos efeitos e posteriormente das causas possibilita um completo entendimento da situação atual do empreendimento, o que permite a elaboração posterior de um plano de ação mais eficiente.

3.2.1. Os sete desperdícios de Ohno

O início da investigação por efeitos indesejados na obra estudada deve se dar através da análise dos sete desperdícios de Ohno dentro do processo de alvenaria. Isto para que se possa definir as causas do elevado tempo de ciclo apresentado.

Para tal, primeiramente foi realizada uma observação visual do processo, de aproximadamente 3 semanas, tentando identificar quais desperdícios apresentavam efeitos mais relevantes na obra.

Depois de identificados, estes desperdícios serão medidos e tratados estatisticamente para que se possa entender suas conseqüências na obra, identificando assim a relevância dos mesmos e possíveis resultados apresentados pela minimização destes.

Os resultados de tal análise inicial são apresentados a seguir:

1. **Excesso de produção:** este não é um desperdício relevante na obra em questão, já que na mesma não se observou excesso de produção em nenhum momento do processo de alvenaria.
2. **Transporte:** foi percebida uma grande dificuldade para a movimentação dos insumos de produção dentro do andar. Isto ocorre pela disposição das paredes, que criam corredores estreitos, e dificultam as manobras internas, obrigando os insumos a percorrer caminhos muito maiores que o necessário.
3. **Movimento:** o prédio possui cômodos pequenos, que impossibilitam a estocagem de todo o material necessário para o pedreiro completar seu serviço. Isto o obriga a movimentar-se em busca de mais insumos.
4. **Espera:** percebeu-se por diversos momentos que os pedreiros ficam impossibilitados de subir paredes pela falta de massa ou tijolos. Outro desperdício por espera observado é devido à colocação das telas de segurança nas paredes externas do prédio, as quais são obrigatórias a partir da sexta fiada.
5. **Processo:** neste item pode-se perceber um excesso de processamento no que tange inspeção da qualidade.
6. **Estoque:** não foi observado desperdícios no que tange excesso de estoques internos ou externos.
7. **Defeitos:** este não é um ponto que mereça destaque, visto que nas observações iniciais não se percebeu trabalhos que exigiram reprocessamento.

Esta análise inicial permite perceber, dentre os sete desperdícios propostos por Ohno, quais aqueles que apresentam efeitos indesejáveis no processo de alvenaria. Estes são: excesso de transporte, excesso de movimentação, espera e excesso de processamento. O que nos leva a apresentação da figura 3.3, que apresenta estes 4 pontos como as causas do elevado tempo de ciclo apresentado.



Figura 3.3 – Causas do elevado tempo de ciclo da alvenaria

Fonte: Elaborado pelo autor

Porém um raciocínio simples nos mostrará que apenas duas destas (espera e excesso de processamento) são realmente causas do elevado tempo de ciclo, enquanto que as outras duas são causas do desperdício por espera. Para tal é necessário fazer o raciocínio contrário aos 5 porquês de Ohno, e enxergar as conseqüências diretas do excesso de transporte e de movimentação. Primeiramente analisaremos o excesso de transporte.

Por percorrerem maiores distâncias, e apresentarem dificuldade de transporte, os insumos demoram mais tempo para chegar ao operador. O que obrigaria aos processos anteriores prepararem a massa e disponibilizarem os tijolos com maior antecedência para que possam ser entregues.

Porém devido à falta de um tempo de ciclo constante, como já demonstrado na introdução deste trabalho, fica impossível prever o momento em que os operários irão necessitar de insumos, portanto muitas vezes os operadores, por acelerarem o processo, se vêm sem massa e/ou tijolos. Percebe-se que o excesso de transporte, em conjunto com outros problemas enfrentados pelo empreendimento, é, na verdade, uma das causas da espera por insumos.

O mesmo raciocínio pode ser utilizado para se entender a relação de causalidade do excesso de movimentação. Isto ocorre pois, por não existir espaço físico para o posicionamento de grandes estoques de insumo próximo aos pedreiros, os mesmo necessitam se movimentar, buscando insumos. Quando o próprio não busca estes insumos, ele chama um ajudante para fazê-lo, o que novamente o obriga a esperar a chegada dos mesmos.

Ou seja, o excesso de movimentação também é interpretado como causa da espera por insumos. Portanto a figura 3.4 apresenta a nova relação de causa-efeito entre os quatro desperdícios observados anteriormente.

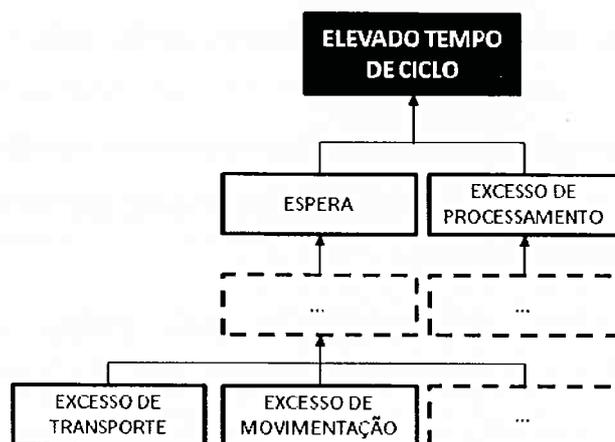


Figura 3.4 – Causas do elevado tempo de ciclo da alvenaria atualizada

Fonte: Elaborado pelo autor

Definidas as causas diretas do elevado tempo de ciclo, cabe agora realizar uma análise dos mesmos, buscando quantificar seus efeitos do tempo de ciclo. Para tal será realizada uma cronometragem dos desperdícios assim definidos:

- **Espera por massa:** considera-se desperdício por espera por massa todo o tempo em que o funcionário estiver impedido de continuar seu trabalho devido a falta de massa, começando a ser cronometrado quando terminar a última operação que agregue valor ao serviço até que este recomece alguma atividade que agregue valor.
- **Espera por tijolos:** considera-se desperdício por espera por tijolos todo o tempo em que o funcionário estiver impedido de continuar seu trabalho devido a falta de tijolos, começando a ser cronometrado quando terminar a última operação que agregue valor ao serviço até que este recomece alguma atividade que agregue valor.
- **Espera por grade de proteção:** considera-se desperdício por espera por grade de proteção todo o tempo em que o funcionário estiver impedido de continuar seu trabalho devido a colocação da grade, começando a ser cronometrado quando terminar a última operação que agregue valor ao serviço até que este recomece alguma atividade que agregue valor.
- **Tempo de inspeção da qualidade:** considera-se desperdício por tempo de garantia da qualidade todo o tempo que os funcionários tiverem que parar suas atividades para checar a qualidade da parede construída. Certamente que algum

controle da qualidade se faz necessário, então, após a cronometragem, será considerado como desperdício 80% do tempo total gasto. Este percentual foi estimado através de conversas com especialistas do setor, que compararam o tempo médio para o controle da qualidade gasto em obras do mesmo tipo que a obra em questão.

Com a definição dos mesmos pode-se então realizar suas cronometragens, possibilitando assim analisar os impactos que estes possuem no tempo de ciclo do serviço de alvenaria estrutural do empreendimento. Tal acompanhamento foi realizado durante 15 dias e envolveu períodos diários de 4 horas de observação. Pela disposição das paredes e dos pedreiros, ficava impossível acompanhar os trabalhos dos 5 pedreiros, portanto foram selecionados dois pedreiros para serem observados diariamente, chamados aqui de pedreiro 1 e pedreiro 2.

Os resultados da análise estão apresentados na tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1 – Cronometragem dos desperdícios na alvenaria estrutural (observação de 4hs)

Desperdício (min)	Massa		Bloco		Qualidade		Grade		TOTAL	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pedreiro:										
Dia 1	10,0	6,5	-	1,0	12,0	12,0	-	14,0	22,0	33,5
Dia 2	6,0	8,0	7,5	22,5	27,5	23,5	24,0	-	65,0	54,0
Dia 3	2,5	6,0	4,5	4,0	11,5	12,5	-	-	18,5	22,5
Dia 4	2,0	11,0	8,0	5,0	12,0	10,0	-	-	22,0	26,0
Dia 5	-	12,0	20,0	1,0	17,5	11,0	-	-	37,5	24,0
Dia 6	10,5	2,5	11,5	3,0	12,0	12,0	-	22,0	34,0	39,5
Dia 7	8,0	-	3,0	24,5	23,0	14,0	-	-	34,0	38,5
Dia 8	5,0	5,0	3,5	2,0	15,5	15,5	-	-	24,0	22,5
Dia 9	4,5	5,5	12,0	11,0	11,0	15,5	16,0	-	43,5	32,0
Dia 10	10,0	9,0	-	2,0	14,0	16,0	-	-	24,0	27,0
Dia 11	14,5	8,0	2,5	-	22,0	22,0	10,0	-	49,0	30,0
Dia 12	4,0	7,0	6,0	2,0	25,0	29,0	-	-	35,0	38,0
Dia 13	6,0	4,0	10,0	2,0	23,5	25,5	-	-	39,5	31,5
Dia 14	7,0	3,0	4,0	7,5	16,5	24,0	-	18,0	27,5	52,5
Dia 15	-	9,5	11,5	12,0	18,0	13,5	-	-	29,5	35,0
MÉDIA	6,0	6,5	6,9	6,6	17,4	17,1	3,3	3,6	33,7	33,8

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma primeira observação desses resultados nos permite tirar algumas conclusões. Os tempos de desperdício são similares entre os pedreiros, portanto nada indica que exista algum tipo de preferência nas entregas, ou então que o desperdício seja maior dependendo da região pela qual o pedreiro é responsável.

O tempo gasto com inspeção de qualidade é o mais elevado, representando em média 17,4 e 17,1 minutos para os pedreiros 1 e 2 respectivamente. Enquanto que o desperdício por espera pela instalação das grades é o menos representativo e apresenta uma irregularidade grande, visto que em muitos dias o desperdício é nulo, porém quando ocorre, foi de no mínimo 10 minutos.

Para auxiliar nas análises será apresentada a tabela 3.2 com os valores em percentagem, para que possa medir claramente quanto a eliminação apenas destes desperdícios impactaria na obra.

Tabela 3.2 – Desperdícios diários apresentados em percentagem

Desperdício (%)	Massa		Bloco		Qualidade		Grade		TOTAL	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pedreiro:										
Dia 1	4%	3%	0%	0%	5%	5%	0%	6%	9%	14%
Dia 2	3%	3%	3%	9%	11%	10%	10%	0%	27%	23%
Dia 3	1%	3%	2%	2%	5%	5%	0%	0%	8%	9%
Dia 4	1%	5%	3%	2%	5%	4%	0%	0%	9%	11%
Dia 5	0%	5%	8%	0%	7%	5%	0%	0%	16%	10%
Dia 6	4%	1%	5%	1%	5%	5%	0%	9%	14%	16%
Dia 7	3%	0%	1%	10%	10%	6%	0%	0%	14%	16%
Dia 8	2%	2%	1%	1%	6%	6%	0%	0%	10%	9%
Dia 9	2%	2%	5%	5%	5%	6%	7%	0%	18%	13%
Dia 10	4%	4%	0%	1%	6%	7%	0%	0%	10%	11%
Dia 11	6%	3%	1%	0%	9%	9%	4%	0%	20%	13%
Dia 12	2%	3%	3%	1%	10%	12%	0%	0%	15%	16%
Dia 13	3%	2%	4%	1%	10%	11%	0%	0%	16%	13%
Dia 14	3%	1%	2%	3%	7%	10%	0%	8%	11%	22%
Dia 15	0%	4%	5%	5%	8%	6%	0%	0%	12%	15%
MÉDIA	3%	3%	3%	3%	7%	7%	1%	2%	14%	14%
Desvio Padrão	2%	1%	2%	3%	2%	3%	3%	3%	5%	4%

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta tabela novamente ressalta o equilíbrio apresentado entre os dois pedreiros analisados, onde apenas o desvio padrão apresenta alguma diferença. É interessante observar o caso da grade de proteção, que apresenta desperdícios de 1 e 2% para os pedreiros 1 e 2 respectivamente, porém desvio padrão de 3% para ambos, número bastante elevado e que evidencia a inconstância deste desperdício já analisada anteriormente.

A tabela 3.3 apresenta um resumo das análises calculando as médias dos resultados entre os pedreiros 1 e 2, o que permite tirar conclusões gerais sobre o impacto dos desperdícios na obra.

Tabela 3.3 – Resumo dos desperdícios no serviço de alvenaria

Desperdício (%)	Massa	Bloco	Qualidade	Grade	TOTAL
MÉDIA	3%	3%	7%	1%	14%
Desvio Padrão	2%	3%	2%	3%	5%

Fonte: Elaborado pelo autor

Através de uma análise desta tabela resumo pode-se concluir que apenas a eliminação destes desperdícios, já representaria uma redução de aproximadamente $14\pm 5\%$ no tempo de ciclo da alvenaria. Considerando-se a redução máxima de 19%, o novo tempo de ciclo cairia de 5,4 dias em média para 4,4 dias, uma redução já relevante.

Porém é relevante ressaltar que este não é o tempo de ciclo alvo do plano de ação deste projeto. A experiência da Logical Systems mostra que com a devida programação e controle do processo, deficiências que estavam escondidas dentro do processo, como grandes movimentações de uma parede para outra e pausas para aplicação de grout, são resolvidas, e as reduções do ciclo são ainda mais representativas para o tempo final.

Estes itens serão melhor trabalhados na seção do plano de ação deste projeto, por hora é importante notar que os desperdícios estudados são relevantes para o tempo de ciclo da alvenaria, e que a redução destes é de importância estratégica para a empresa X.

3.2.2. Definição das causas raiz

Retomando o arquétipo *Shift the Burden* de Peter Senge, apresentado na revisão bibliográfica deste trabalho, para garantir que uma solução ataque os sintomas de um problema, sem gerar efeitos colaterais, esta deve ser uma solução fundamental focada em atacar as causas-raiz deste problema.

Portanto é necessário agora definir as causas-raiz do excesso de processamento e espera apresentada pelo processo de alvenaria. Para tal se fará uso da metodologia dos cinco porquês de Ohno, também apresentada na revisão bibliográfica deste trabalho. Vale ressaltar que para determinados porquês podem existir mais de uma resposta, que também serão exploradas neste trabalho, seguindo o método defendido por Bill Wilson.

Os dois grandes efeitos selecionados para a análise são: espera e excesso de processamento, lembrando que a espera divide-se em 3 tipos: massa, tijolos e grade de

proteção. O primeiro efeito a ser investigado é o excesso de processamento, isto é, o excesso de tempo gasto com inspeção de qualidade, apresentado na figura 3.5.

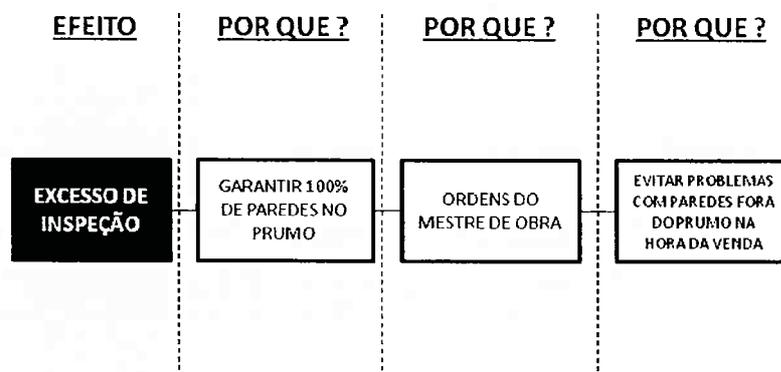


Figura 3.5 – Aplicação dos cinco porquês no excesso de inspeção

Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 3.6 ilustra este raciocínio de causa-efeito, para definir a causa raiz do excesso de tempo gasto com inspeção da qualidade.

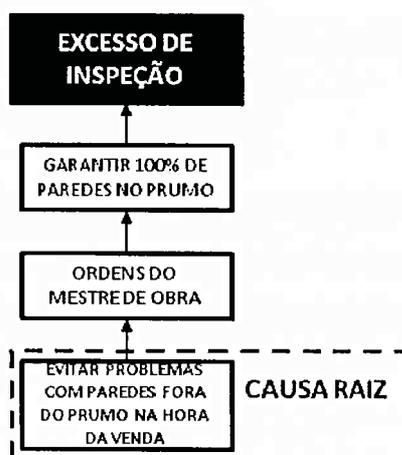


Figura 3.6 – Causa raiz do excesso de inspeção

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se perceber que a causa raiz do excesso de tempo gasto com inspeção é a vontade do mestre em garantir que 100% das paredes estejam perfeitamente no prumo, mesmo antes da aplicação da massa e da pintura. Muitas vezes pequenas deformações no prumo da parede são rapidamente consertadas pela aplicação de massa, o que não justificaria esta exatidão cobrada pelo mestre.

O segundo efeito a ser analisado através da metodologia dos cinco porquês é o desperdício por espera por massa. A figura 3.7 apresenta o raciocínio dos cinco porquês para este efeito.

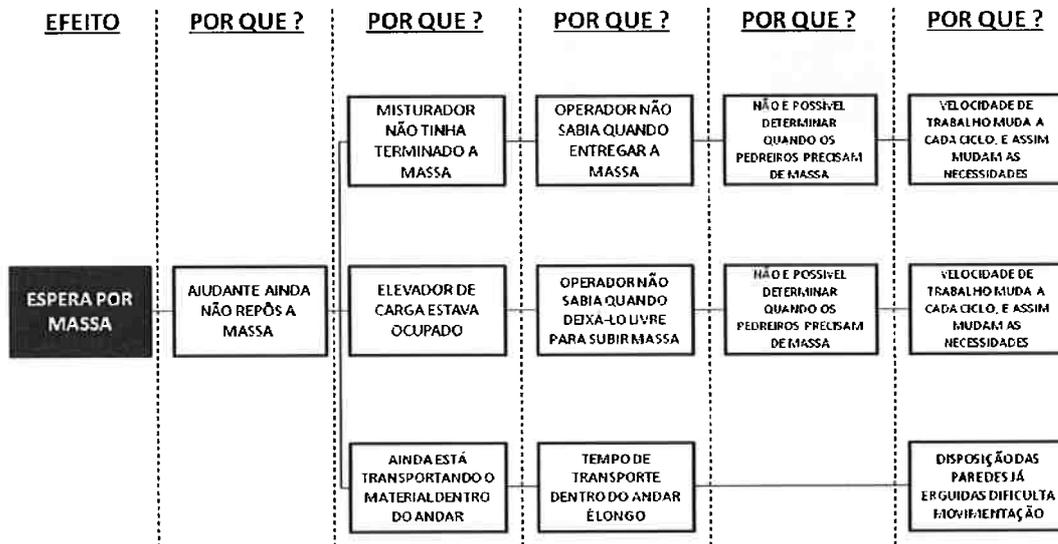


Figura 3.7 – Aplicação dos cinco porquês na espera por massa

Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se que a falta de estabilidade do processo impede que exista algum método de previsão dos momentos de demanda por insumos, que varia a cada ciclo. Isto acaba impactando tanto na operação do misturador quanto no controle do elevador. Seguindo este raciocínio pode ser elaborado o diagrama de causa e efeito apresentado a seguir pela figura 3.8.

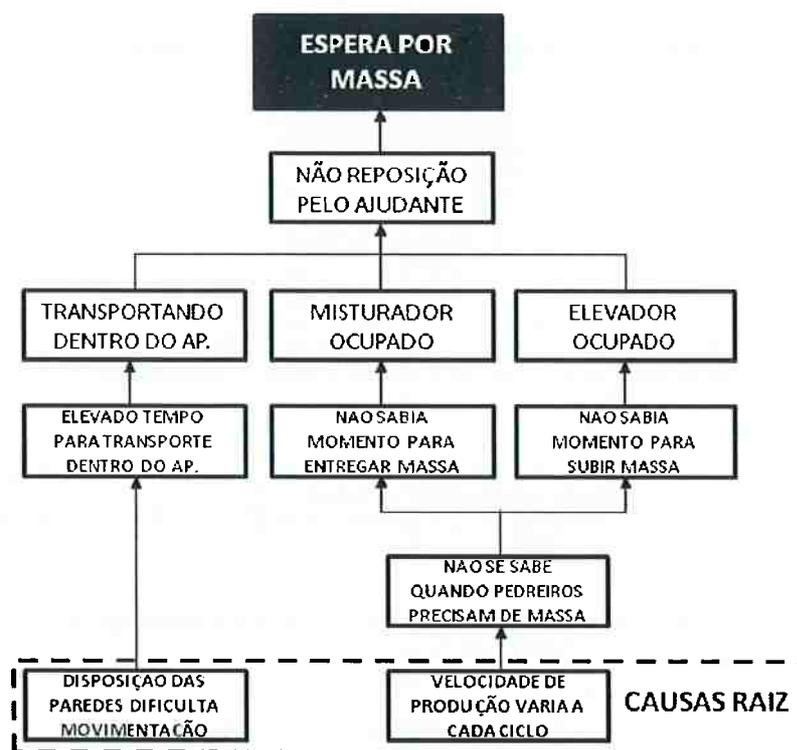


Figura 3.8 – Causa raiz da espera por massa

Fonte: Elaborado pelo autor

Por não existir um planejamento da obra que dite um ritmo constante, a velocidade de produção varia a cada ciclo, tornando impossível planejar quando a massa deve estar pronta e quando o elevador deve estar desocupado para que a mesma possa subir ao andar em que é necessária.

O ideal seria ter total controle sobre o momento e a quantidade exata de massa que deve subir para o andar em que a alvenaria se encontra, evitando assim a espera por falta da mesma. A segunda causa raiz identificada envolve o conceito de excesso de transporte e excesso de movimentação já citados anteriormente. Ou seja, a disposição das paredes já erguidas cria uma espécie de labirinto pelo qual o ajudante deve percorrer até entregar a massa ao pedreiro.

Definidas as causas da espera por massa, o próximo passo é definirmos as causas raiz da espera por tijolos. Também será utilizado método dos cinco porquês de Ohno. A figura 3.9 apresenta este raciocínio

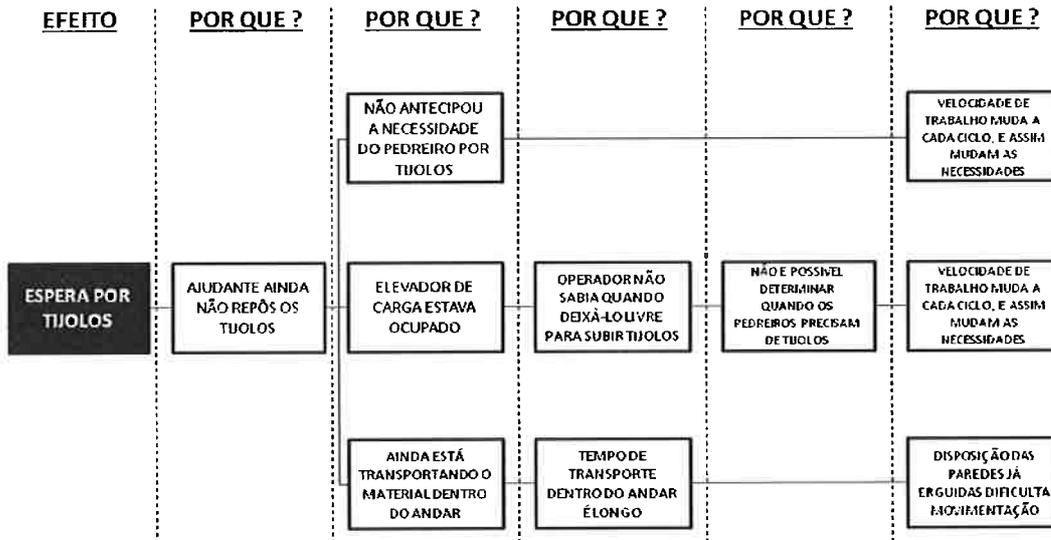


Figura 3.9 – Aplicação dos cinco porquês na espera por tijolos

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta análise permite a elaboração do diagrama causa e efeito, definindo assim as causas raiz a espera por tijolos. O diagrama é apresentado a seguir pela figura 3.10 ilustra este raciocínio.

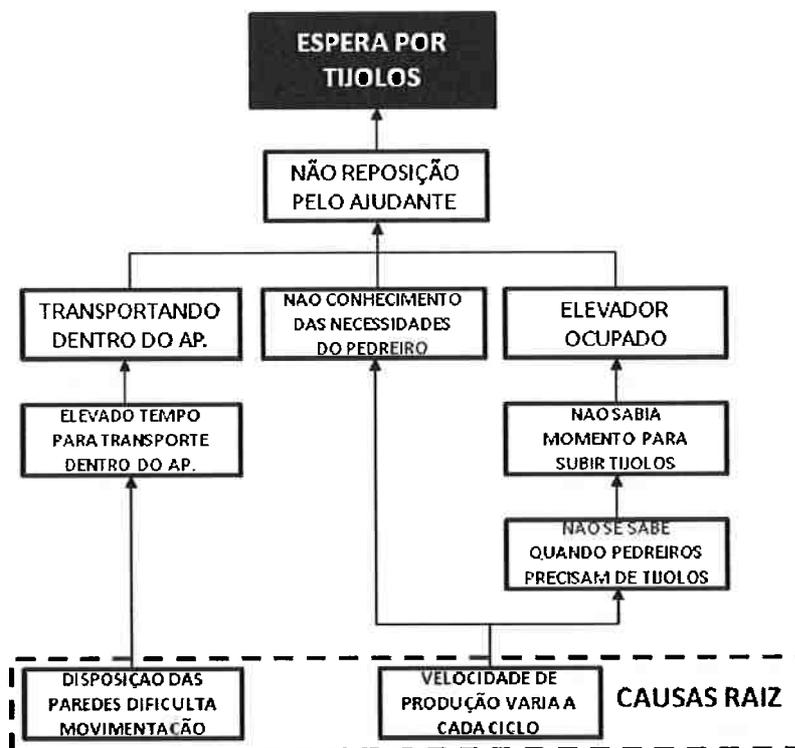


Figura 3.10 – Causas raiz da espera por tijolos

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se perceber que as causas raiz da espera por tijolos são as mesmas que da espera por massa, novamente envolvendo os conceitos de excesso de movimentação e transporte e o da falta de estabilidade na velocidade do processo de alvenaria. Percebe-se que a previsão do momento consumo dos insumos fica totalmente debilitada pela falta desta estabilidade.

O último tipo de espera a ser analisado é a espera devida a instalação das grades de proteção, vale ressaltar que as mesmas são necessárias, pois a partir da sétima fiada os pedreiros não conseguem mais posicionar os blocos estando no chão, e precisam montar cavaletes que servem de elevação para que consigam terminar até a décima terceira fiada da parede.

Portanto por motivos de segurança são instaladas grades de proteção nas paredes externas, quando a sexta fiada das mesmas for concluída. Porém, para dar seqüência às demais fiadas destas paredes, a instalação desta grade protetora já deve ter sido concluída.

Novamente a busca pelas causas raiz seguirá a metodologia dos cinco porquês de Ohno, apresentada na figura 3.11 a seguir.



Figura 3.11 - Aplicação dos cinco porquês na espera pela grade de proteção

Fonte: Elaborado pelo autor

Após esta análise pode-se agora construir o diagrama de causa e efeito, determinando assim a causa raiz da espera por grade de proteção. O diagrama é apresentado na figura 3.12.

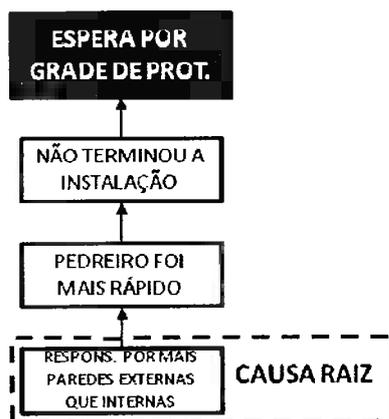


Figura 3.12 – Causa raiz da espera pela grade de proteção

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta análise evidencia problemas na seleção das paredes pelas quais cada pedreiro é responsável, visto que alguns são responsáveis por muitas paredes externas e poucas internas, dessa forma eles não possuem trabalho suficiente nas paredes internas durante o tempo que as grades de proteção são instaladas, assim tendo que parar seu trabalho.

Através desta análise que definiu as causas raiz dos principais desperdícios observados inicialmente, também foram definidas as causas raiz do elevado tempo de ciclo encontrado pela obra. As quais deverão ser solucionadas pelo plano de ação deste projeto.

A figura 3.13 resume as análises feitas até este momento e ilustra a lógica que será seguida durante o plano de ação, que tem por objetivo reduzir o tempo total de ciclo, reduzindo os desperdícios do processo de alvenaria.

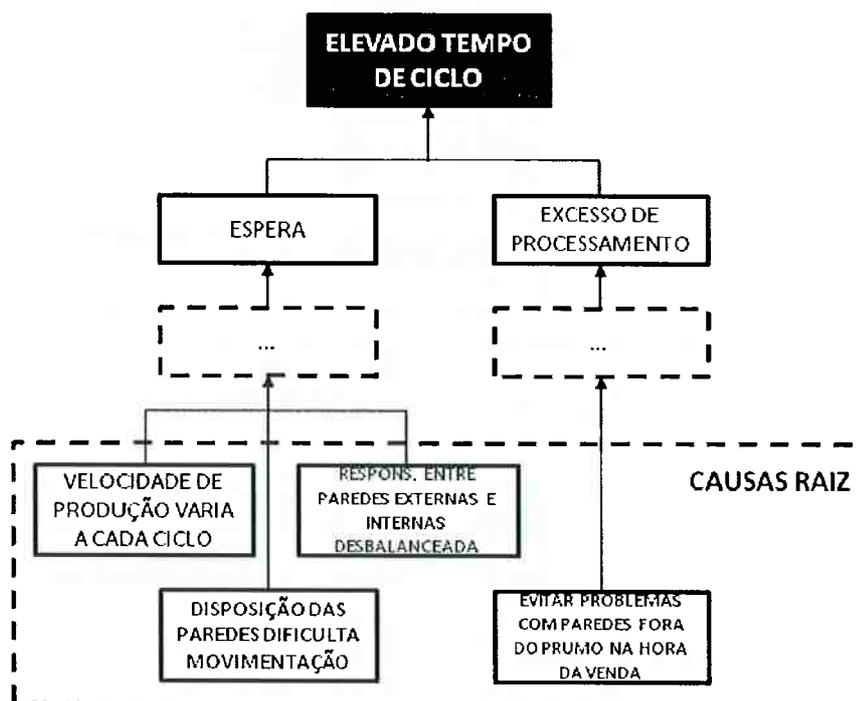


Figura 3.13 – Causas raiz do elevado tempo de ciclo da alvenaria

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.Plano de ação

Definidas as causas raiz dos efeitos indesejáveis encontrados no serviço de alvenaria do empreendimento, cabe agora a elaboração de um plano de ação que vise a solução dessas causas encontradas. Vale ressaltar que tal plano será elaborado seguindo a metodologia da Logical Systems, apresentada anteriormente na seção de Revisão Bibliográfica.

Por existirem quatro causas raiz apresentadas na análise anterior, este plano de ação será focado em quatro frentes de ataque, diretamente relacionadas a cada uma das causas raiz, como apresentado na figura 3.14.

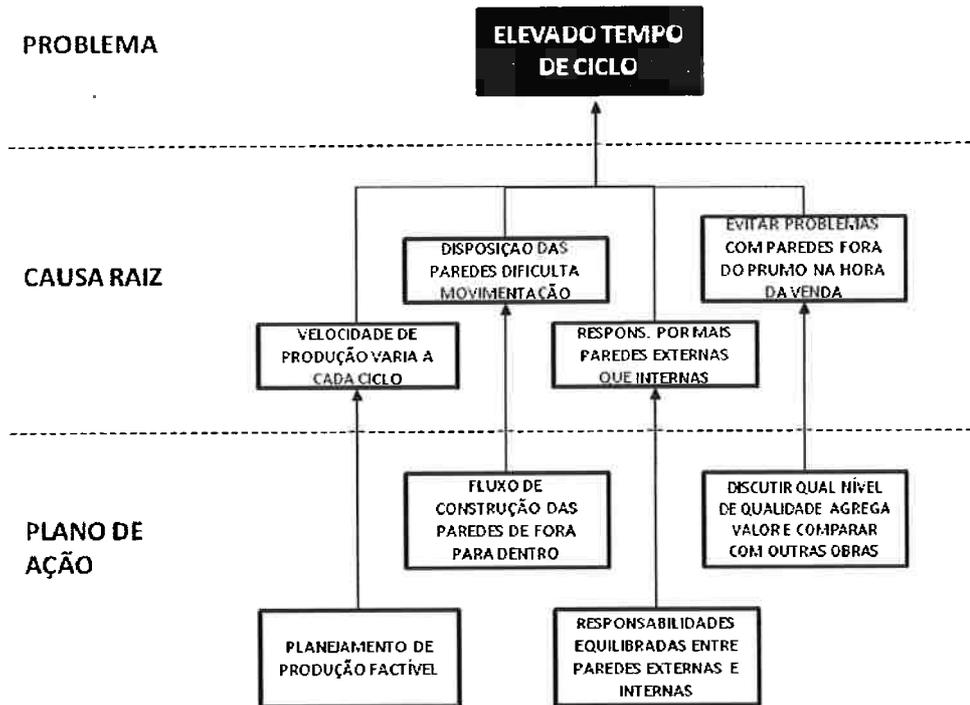


Figura 3.14 – Lógica de ataque do plano de ação

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.1. Avaliação do excesso de inspeção

O primeiro efeito a ser analisado é o excesso de inspeção exigido pelo mestre de obras, cuja causa raiz identificada é a vontade do mestre de obras de evitar problemas com paredes fora do prumo na hora da entrega do apartamento.

Para atacar esta causa serão seguidas duas linhas de raciocínio, a primeira discutindo se este nível de qualidade exigido pelo mestre realmente gera valor para os clientes da obra, e a segunda irá comparar o processo de inspeção com o de outras obras do mesmo tipo.

Para discutir valor na ótica do cliente, primeiramente deve-se conhecer melhor quem é este, e quais são os fatores críticos observados no momento da compra. Como já mencionado anteriormente, o público alvo deste prédio são famílias com baixo poder aquisitivo, de classe média-baixa ou que estão adquirindo o seu primeiro imóvel próprio.

Conversas com os consultores da Logical Systems possibilitaram traçar um perfil típico deste tipo de empreendimento, que diferentemente das obras de luxo, não costumam apresentar um acabamento de alto padrão. Certamente uma parede reta é importante, e ela torta traria problemas para os moradores, por exemplo, na hora de colocar armários

embutidos, porém este nível de qualidade é facilmente conseguido através de aplicação de gesso liso antes da pintura, processo que ocorre sempre.

Portanto este público alvo não está muito preocupado com os detalhes do acabamento, visto que os fatores críticos de decisão são na verdade preço e financiamento. Na hora da compra, as famílias escolhem uma configuração mínima do apartamento, com quantidade de quartos, área útil do apartamento e localização, e dentro de um pool de possibilidades, escolhe aquele que “cabe no bolso” da família.

A experiência dos vendedores da empresa X nos mostra que este público não está muito preocupado se o acabamento está totalmente perfeito e se a parede foi consertada com massa ou não, basta um nível mínimo de qualidade, que engloba basicamente a pintura correta das paredes, que muitas vezes é toda refeita pelo comprador, e que as mesmas estejam suficientemente no prumo.

Ou seja, uma parede que foi feita perfeitamente no prumo pela primeira vez não agrega valor para o comprador, visto que para este não interessa se a parede está no prumo por causa de ajustes com massa ou não, basta ela estar suficientemente reta.

É esta experiência dos vendedores que guiou as conversas realizadas com mestres de outras obras da empresa X, que visam o mesmo público alvo que a estudada neste projeto. O nível de qualidade exigido por estes profissionais é bastante inferior ao registrado no empreendimento em estudo, e o argumento é de que não compensa exigir muito do pedreiro na hora de levantar a parede, pois a inspeção exige longas pausas no trabalho e os benefícios não são relevantes.

Porém é importante notar que uma parede fora do prumo é um problema importante, na medida em que vai exigir mais esforço para a correção dessa imperfeição na fase de acabamento da obra (por exemplo, gastar mais gesso do que o necessário, mais homens-hora em arremates e retrabalhos, etc). O custo é um fator importante na matriz de competitividade dessas empresas.

Para estes, uma pequena quantidade a mais de gesso aplicada antes da pintura já garante que o futuro morador não terá problemas com o prumo da parede. Vale ressaltar que este argumento tem fundamento, pois este tempo a mais gasto para aplicar massa ocorre no processo de pintura, que não é gargalo da produção como a alvenaria. Ou seja, atrasar um pouco a pintura não irá atrasar nenhuma outra atividade, o mesmo não pode ser dito sobre a alvenaria, que é a atividade que dita a velocidade de toda a obra.

Com a alvenaria toda pronta, caso a pintura esteja atrasada pode-se contratar mais pessoas para aplicar massa sem custos extras para a obra, visto que estes ganham por andar trabalhado e não por hora, e que após a alvenaria os andares já estão liberados para serem trabalhados.

Mas é importante ressaltar que muito embora os profissionais ganhem por produção, não podemos esquecer que se gasto homens-hora para corrigir um serviço que deveria estar pronto, acabo por tirar esse profissional de outras frentes de serviço que deveriam estar agregando valor ao produto final naquele instante. É nesse instante que a empresa recorre à redundância de equipes, alocando mais profissionais do que o necessário, o que aumenta o custo e diminui a produtividade do sistema como um todo.

Para avaliar a quantidade a mais gasta de massa, foi proposto um experimento na obra em estudo, para mensurar quanto isto representaria de custos extras para a obra, porém o engenheiro chefe não o permitiu, argumentando que não queria arriscar atrasar sua obra por conta de experimentos.

Foram consultados mestres das demais obras observadas e estes afirmaram que o custo extra é totalmente desprezível, visto que a quantidade extra necessária é pequena e que a massa não é um insumo caro, porém infelizmente não foi possível mensurar exatamente quanto isto representaria para a obra. Estes ressaltaram que neste caso o problema principal não é o custo a mais com a massa, mas o gargalo gerado com a utilização de mão de obra em retrabalhos, o que não pode ser estudado em detalhes na obra. Porém os mesmos também afirmaram que acelerar o processo de alvenaria, o grande gargalo da obra, traz mais benefícios do que o desperdício com este tipo de retrabalho.

Portanto pode-se concluir que este nível de qualidade exigido pelo mestre, além de não agregar valor para o cliente final, traz impactos negativos para a obra, reduzindo a velocidade do processo de alvenaria. A comparação com outras obras permite concluir que o nível de inspeção exigido nestas também resulta em paredes com a qualidade exigida pelos compradores, mesmo que após serem feitos pequenos ajustes com a ajuda de massa. Ajustes esses que não são representativos dentro dos custos totais da obra.

Ou seja, a redução do tempo gasto com inspeção nesta obra, para o mesmo tempo da média do setor, trará benefícios para a mesma, reduzindo o número de pausas e acelerando o processo de alvenaria. Esta será uma das ações que este plano irá sugerir, reduzindo o tempo

de inspeção e causando impacto direto na velocidade média de cada pedreiro e no desenho do processo de produção.

3.3.2. Detalhamento do processo

Cabem neste momento maiores explicações da obra em questão, apresentando um maior detalhamento do processo de alvenaria estrutural. A figura 3.15 apresenta parte da planta da obra, sem as devidas medições e maiores detalhamentos para preservar a empresa X. Este é o lado B do projeto, porém vale ressaltar, retomando o conceito de obra em X, de que o lado A é similar ao lado B, e está apenas espelhado.

A numeração das paredes foi criada baseada nas vistas da própria planta, e as letras são para identificar paredes que se repetem, ou então que foram divididas, por serem muito grandes e sua construção poder ser dividida em etapas.

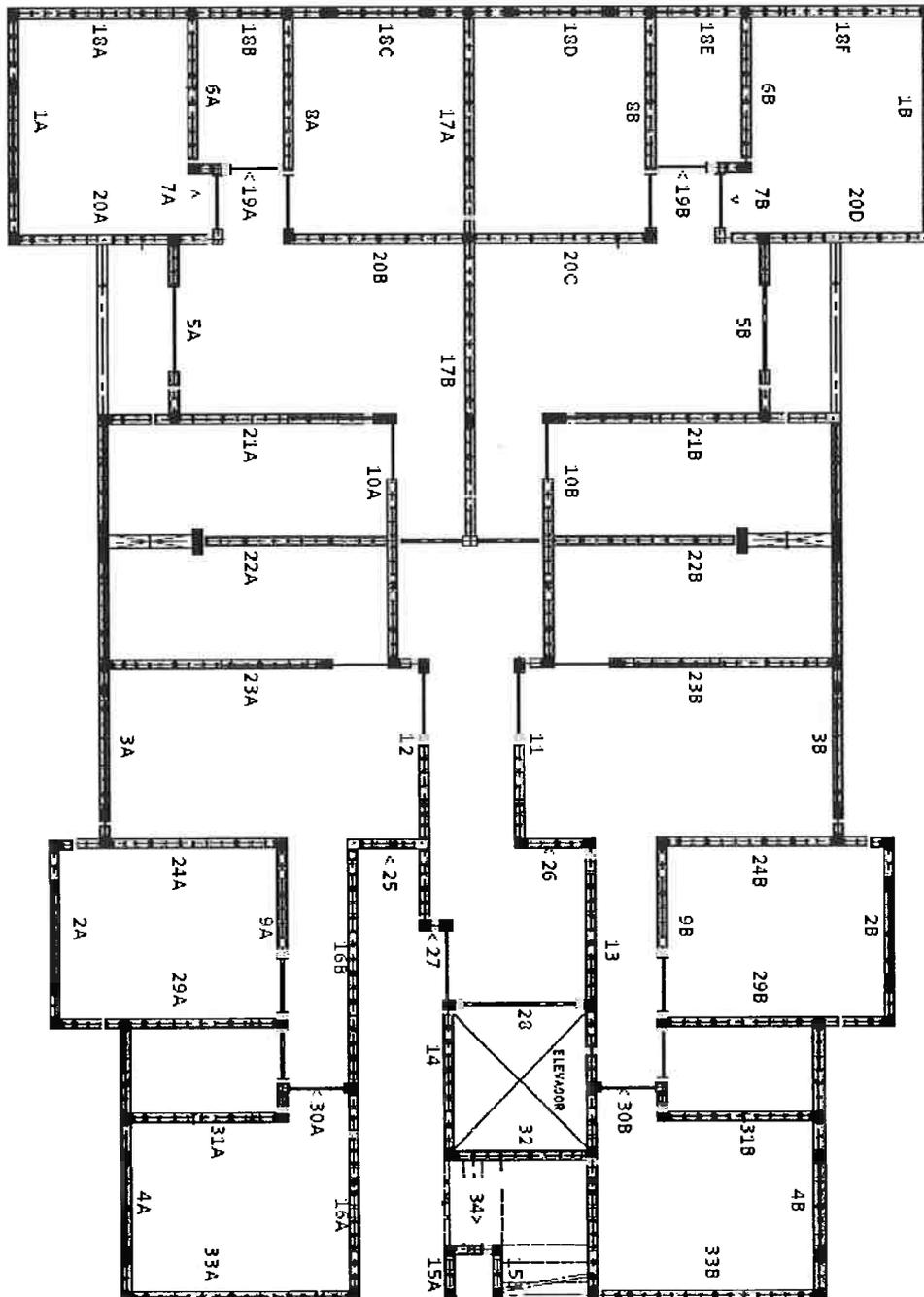


Figura 3.15 – Planta do lado B da obra

Fonte: Empresa X

Também é relevante neste momento apresentar um maior detalhamento das paredes envolvidas. Cada uma apresenta 13 fiadas, a primeira de marcação, as 11 seguintes compostas por tijolos e a última é uma canaleta para apoiar a laje. A figura 3.16 ilustra uma parede da obra em questão.

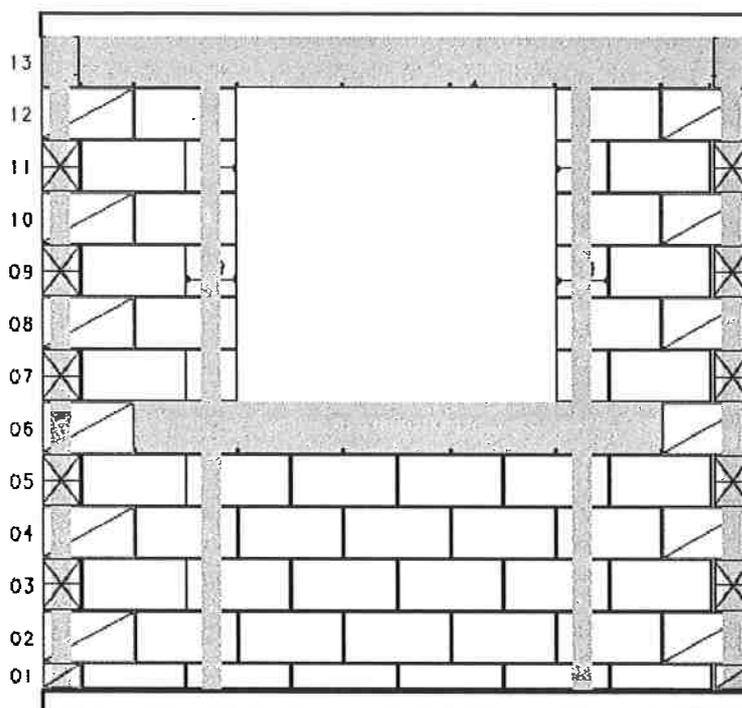


Figura 3.16 – Estrutura de uma parede de alvenaria estrutural

Fonte: Empresa X

Quando o pedreiro alcança a sexta fiada deve ser colocado o grout, que é um concreto mais fluido, com a utilização de pedrisco como agregado graúdo. Ele é inserido dentro dos tijolos de toda a sexta fiada, formando uma espécie de cinta, que dá rigidez à estrutura da obra.

Da sétima fiada em diante, os pedreiros não conseguem mais colocar tijolos estando no chão, por isso posicionam cavaletes que servem de apoio e elevação para que consigam terminar a parede, o que reduz sensivelmente a velocidade de construção.

3.3.3. Definição das restrições

Após a definição de que a redução do tempo de inspeção traz benefícios reais para a obra, e a apresentação detalhada do processo de alvenaria estrutural, pode-se partir para a elaboração do desenho do processo de produção. O objetivo nesta etapa é criar um planejamento detalhado do processo da alvenaria, incluindo a ordem das paredes que cada pedreiro é responsável a cada etapa, permitindo assim o planejamento das entregas de insumos.

Neste ponto vale ressaltar quais causas serão analisadas:

- Alta variabilidade do tempo de execução do serviço.
- Disposição das paredes dificulta a movimentação e o transporte no andar.
- Paredes de responsabilidade de cada pedreiro não seguem um padrão que possibilite a instalação da grade de proteção sem apresentar ociosidade.
- Tempo de inspeção muito acima da média das obras.

O plano de ação será baseado em um desenho do processo de produção que irá, primeiramente, atacar a variabilidade da obra, para, posteriormente, conseguir atacar as demais causas.

Para tal utiliza-se o conceito de planejamento da produção factível, retomando o conceito do “Last Planner” apresentado na revisão bibliográfica, que traz os envolvidos no processo também para a função de planejadores, conseguindo assim criar um planejamento que realmente possa ser seguido, estabilizando assim a velocidade de produção.

Ou seja, ao gerar um plano no qual mestre, engenheiro e pedreiros estão de acordo que é possível ser seguido, a chance de que o que foi planejado realmente seja executado é maior, possibilitando assim um planejamento detalhado das entregas dos insumos, o que irá acabar com a espera devida a falta dos mesmos.

Vale ressaltar que a lógica deste desenho irá seguir a estratégia do First Run Studies, que primeiramente define questões macro, para posteriormente aumentar o nível de detalhamento do plano, a fim de garantir a executabilidade do mesmo. Isso seguindo a lógica do funil de possibilidades, que cria limitações que irão guiar a definição das soluções possíveis, até chegar a mais adequada para o problema.

O primeiro passo é definir estas restrições, as quais devem estar alinhadas com o objetivo de sanar as causas raiz identificadas. A primeira restrição a ser analisada envolve os operários. Para este serviço a empresa disponibilizou 5 pedreiros que irão atuar permanente na execução da alvenaria e 4 ajudantes que irão auxiliar estes em tarefas simples, como trazer transportar insumos. Vale ressaltar que apenas pedreiros podem executar a elevação da alvenaria.

Para a elaboração deste plano, uma restrição crucial envolvendo os operários é o tempo que cada um leva para fazer cada parede. Através de conversas com o mestre de obra, supervisores e operários chefe, conseguiu-se definir uma velocidade média do processo,

apresentada na tabela 3.4. É relevante perceber que esta velocidade é menor quanto mais alta estiver a fiada a ser executada, e que esta respeita a legislação que define uma carga de 8,8 horas de trabalho por dia (220h por mês).

Para facilitar a referência de cada uma dessas diferentes velocidades apresentadas em cada fiada, dividiu-se o processo de alvenaria em três fases, assim como apresentado na mesma tabela.

Tabela 3.4 – Velocidade média de construção dos pedreiros

Fase	Fiadas	m² / dia
F1	1-6	30
F2	7-10	28
F3	11-13	24

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerou-se que os cavaletes serão colocados na sétima fiada, o que reduz sensivelmente a velocidade de trabalho, que decai novamente nas três últimas fiadas, por estarem ainda mais elevadas e envolverem a colocação das canaletas.

Esta velocidade média também foi calculada já considerando um tempo menor gasto com inspeção de qualidade, seguindo o padrão médio apresentado pelas demais obras da empresa X, o que já soluciona uma das quatro causas raiz identificadas.

Outra causa raiz que gera uma restrição envolve as grades de proteção, para garantir que haverá tempo hábil para que as mesmas sejam instaladas sem gerar tempo de espera para os pedreiros, as paredes externas da obra devem ser as primeiras a serem erguidas.

Além disso, devem estar dispostas entre os pedreiros de forma a garantir que todas tenham sido erguidas até a sexta fiada no primeiro dia de alvenaria, e que existam outras paredes de responsabilidade dos pedreiros para serem erguidas durante o processo de instalação das grades, que leva em média uma hora e meia para cada parede.

A figura 3.17 destaca quais paredes recebem a instalação das grades de proteção.

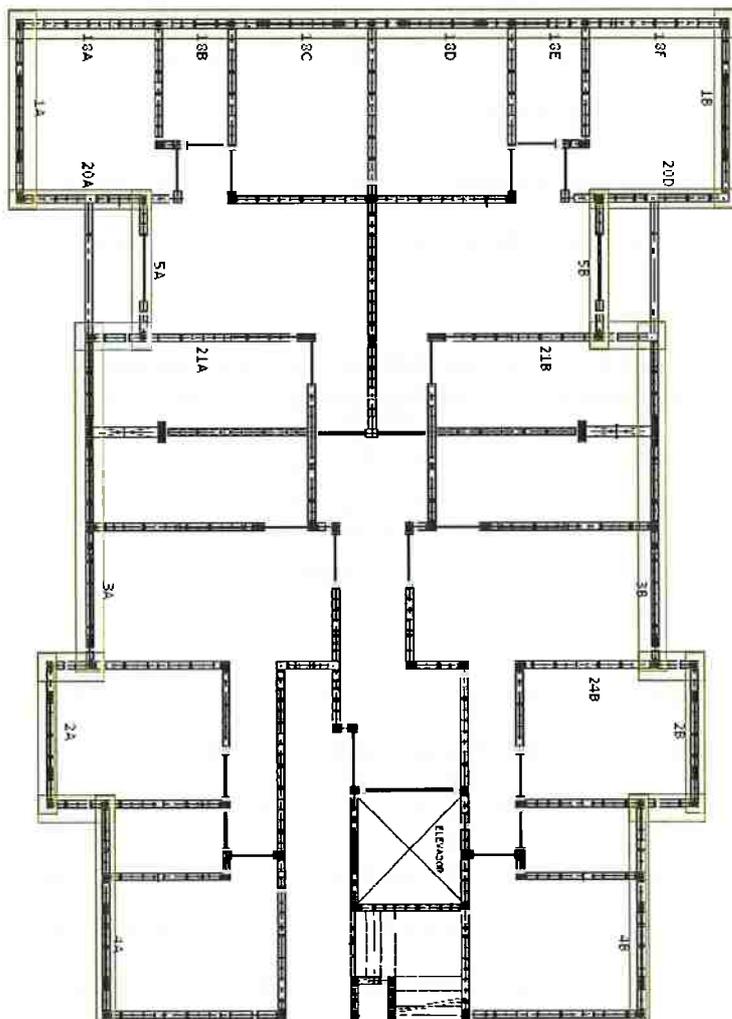


Figura 3.17 – Paredes que recebem grade de proteção

Fonte: Empresa X, elaborado pelo autor

Para solucionar o problema de movimentação interna devido à disposição das paredes devemos criar mais uma restrição. Esta envolve erguer as paredes da parte externa primeiro, e evoluir para a parte interna, conseguindo desta forma, criar um espaço central para estoque de materiais, e facilitando o transporte e movimentação interna. Visto que a construção de paredes que obstruam a passagem de materiais também deve ser postergada o máximo possível.

A figura 3.18 ilustra este conceito, e apresenta o local que deve ser reservado para estoque interno. A ideia é simplificar o processo de transporte de materiais. Dois ajudantes devem ser encarregados por buscar os insumos no térreo e posicioná-los neste novo espaço, enquanto cabe aos demais ajudantes apenas transportar os materiais desta posição até as paredes onde estão trabalhando cada um dos pedreiros.

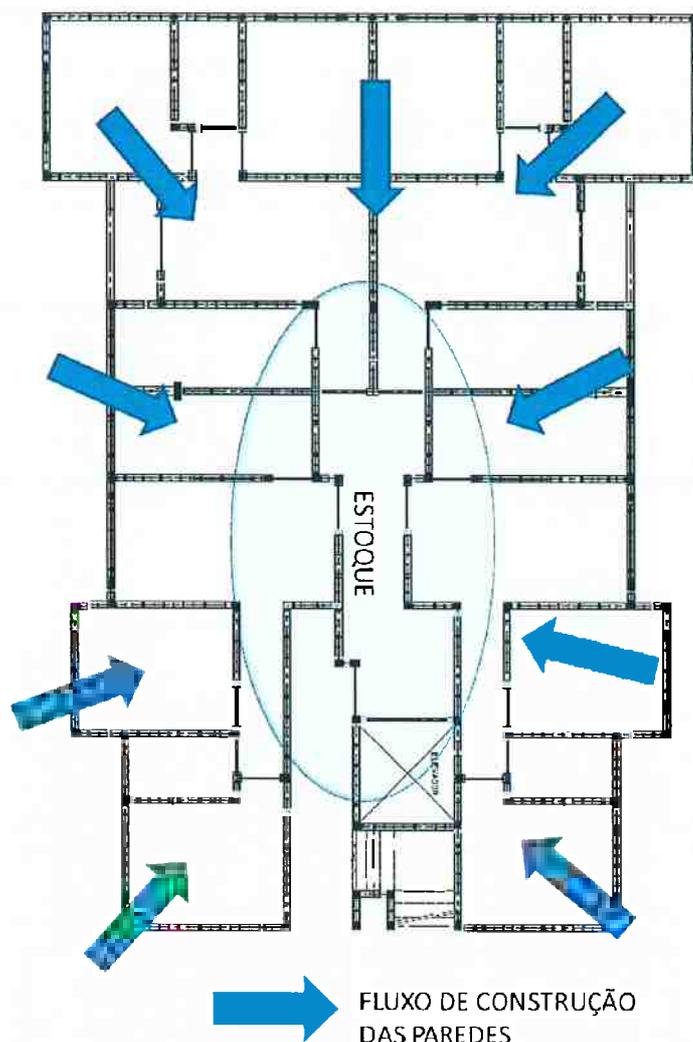


Figura 3.18 – Estoque interno de insumos e fluxo de construção das paredes

Fonte: Empresa X, elaborado pelo autor

A seqüência das paredes também deve levar em consideração a posição do guincho na laje, pois toda a alimentação de insumos se dá com o apoio de equipamentos. Na obra em questão era utilizado um guincho, mas podem ser utilizadas também guas (guindastes).

Porém no caso desta obra, por ser utilizado apenas um guincho, não foi possível considerar seu posicionamento na ordenação das paredes, isto, pois além deste mudar constantemente de lugar, sua posição para o lado A da obra é diferente da posição para o lado B, e seria necessário fazer uma previsão do posicionamento do guincho, o que o mestre julgou ser inviável. Por isso criou-se esta área de estoque intermediário no centro do andar, garantindo assim a distribuição dos insumos.

Para a elaboração deste local de estoque dentro do próprio andar, algumas paredes desta área devem ser selecionadas, e erguidas apenas após a conclusão de todas as fiadas de todas as demais paredes. Desta forma este espaço poderá ser utilizado como estoque, durante o maior tempo possível. A figura 3.19 apresenta quais paredes são candidatas a serem selecionadas.

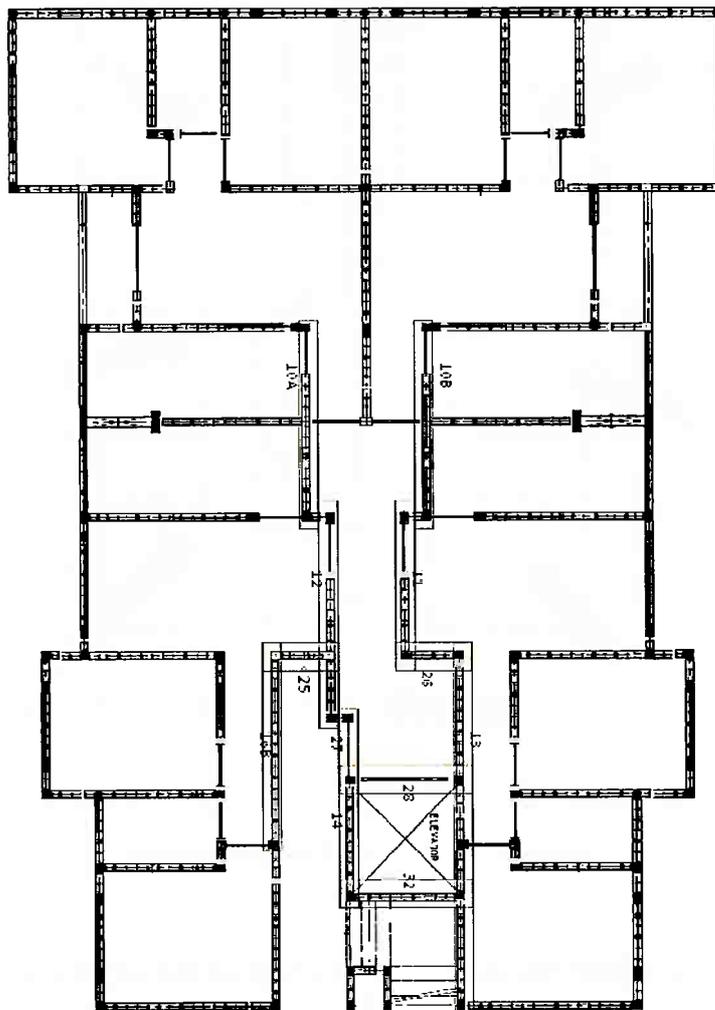


Figura 3.19 – Paredes candidatas a serem erguidas por último

Fonte: Empresa X, elaborado pelo autor

3.3.4. Desenho do processo de produção

Com a definição das restrições, o próximo passo deste plano de ação é definir quais paredes serão de responsabilidade de cada pedreiro e qual a ordem a ser seguida pelos mesmos. Vale ressaltar novamente os pontos que irão guiar esta definição, e suas implicações.

Quanto à mão de obra disponível:

- 5 pedreiros.
- 4 ajudantes.
- 8,8 horas de trabalho por dia.

Quanto às paredes de responsabilidade de cada pedreiro:

- Cada pedreiro deve ser responsável por um grupo de paredes composto tanto de paredes externas quanto internas, lhes permitindo trabalhar enquanto a grade de proteção esteja sendo instalada.
- As paredes de responsabilidade de cada pedreiro devem ser próximas umas das outras, reduzindo assim o deslocamento interno.

As restrições quanto à ordem de construção de cada pedreiro são:

- As primeiras paredes a serem erguidas devem ser as externas.
- As seguintes devem seguir uma ordem de fora para dentro, como apresentado anteriormente pela figura 3.18.
- Algumas paredes localizadas no centro devem ser erguidas apenas após o final de todas as demais, para que este espaço sirva de estoque interno, como apresentado na figura 3.19.

Restrições quanto à velocidade média de produção de cada pedreiro em cada uma das fases de produção já foram apresentadas na tabela 3.4.

Com a definição dessas restrições, inicia-se o processo de definição das paredes de responsabilidade de cada pedreiro. Vale ressaltar que este é um processo iterativo, no qual procura-se a melhor solução que atenda às restrições estipuladas.

Primeiramente é realizada uma proposta de divisão das paredes entre cada operário. As restrições que se aplicam primeiramente são o limite de 5 pedreiros, que devem ser responsáveis por paredes próximas umas das outras e que possuam paredes internas suficientes para não ficarem ociosos esperando a colocação das grades de proteção. Esta proposta inicial procura dividir o andar em áreas de mesmo tamanho, colocando cada pedreiro responsável por uma área, dessa forma minimizando a movimentação interna.

A figura 3.20 apresenta esta primeira proposta.

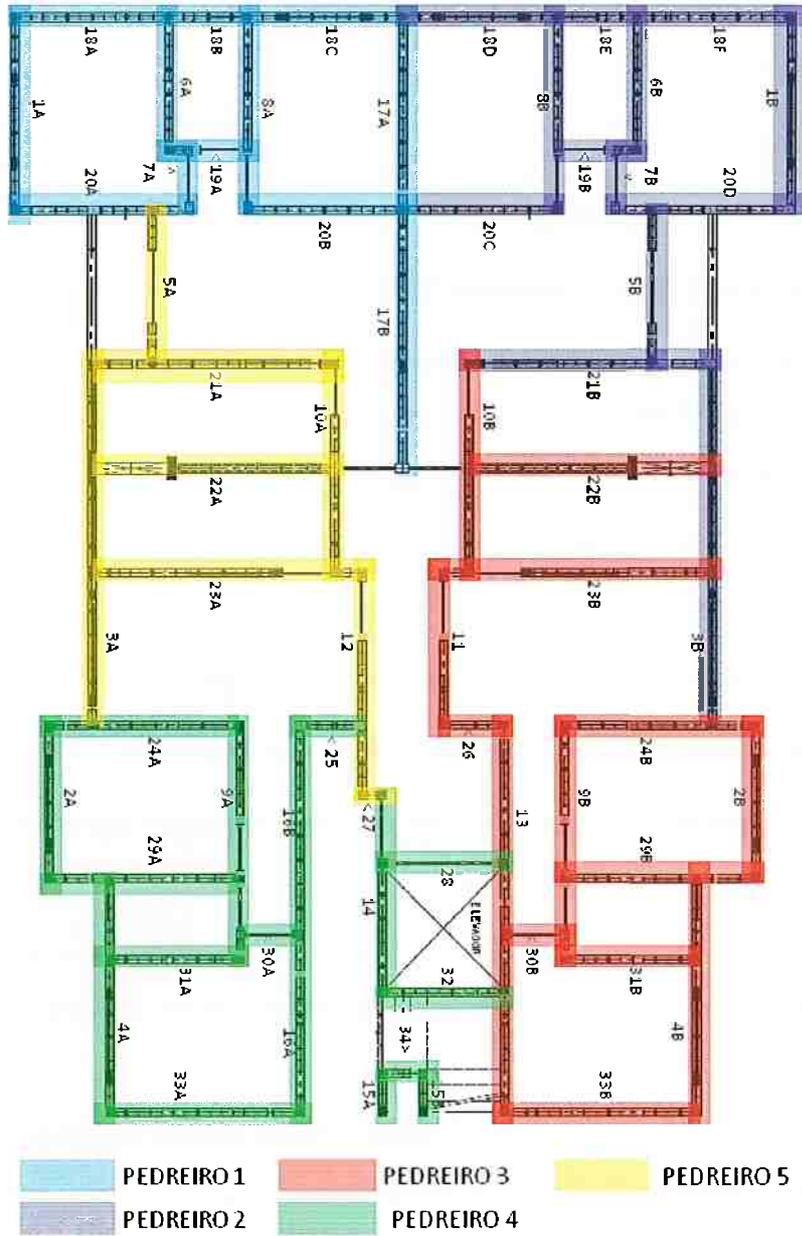


Figura 3.20 – Primeira proposta de divisão de paredes entre operários

Fonte: Empresa X, elaborado pelo autor

A tabela 3.5 a seguir resume esta primeira proposta, apresentando as paredes por qual cada pedreiro é responsável.

Tabela 3.5 – Resumo da primeira proposta de divisão das paredes

Pedreiro 1	Pedreiro 2	Pedreiro 3	Pedreiro 4	Pedreiro 5
1A	1B	10B	28	5A
18ABC	18DEF	22B	32	21A
6A	20C	23B	14	22A
20A	20D	11	15A	23A
20B	6B	26	15B	10A
19A	7B	13	34	3A
7A	19B	30B	25	12
8A	8B	33B	16A	27
17A	5B	4B	16B	
17B	21B	31B	30A	
	3B	2B	31A	
		29B	33A	
		9B	4A	
		24B	9A	
			24A	
			29A	
			2A	

Fonte: Elaborado pelo autor

Apenas observando a quantidade de paredes de responsabilidade de cada operário, percebe-se uma grande diferença, enquanto que o Pedreiro 4 é responsável por 17 paredes, o pedreiro 5 é responsável por apenas 7.

Por isso, para testar e moldar esta proposta às demais restrições, foi elaborada a uma tabela em Excel que leva em consideração a área de cada parede. A figura 3.21 apresenta um exemplo da mesma.

Dia 1				
Pedreiro 1				
Parede	Fase	Área [m ²]	HH (dias)	
1A	F1	3,17	0,11	
1B	F1	3,17	0,11	
2A	F1	2,30	0,08	
2B	F1	2,30	0,08	
TOTAL	4	-	10,94	0,36

Figura 3.21 – Tabela utilizada para moldar soluções

Fonte: Elaborado pelo autor

Seu funcionamento é bastante simples, em uma aba em anexo foram colocadas as medidas de cada uma das paredes (as quais não podem ser apresentadas neste trabalho devido a contratos de privacidade assinados entre a Logical Systems e seu cliente), possibilitando assim a definição da área de cada uma destas.

Portanto ao atribuir a um pedreiro a construção de uma parede, em determinada fase, pode-se calcular a fração de tempo que será necessária para o mesmo concluir tal atividade, visto que já foi definida a velocidade de construção em cada uma das 3 fases do processo.

Por exemplo, a parede 1A possui uma área líquida de $6,86\text{m}^2$. Sabe-se que a fase 1 representa $6/13$ da mesma, o equivalente a aproximadamente $3,17\text{m}^2$. Na fase 1, a velocidade média de um pedreiro é de $30\text{m}^2/\text{dia}$, portanto, através de uma simples regra de três, calcula-se que para construir $3,17\text{m}^2$, um pedreiro irá levar aproximadamente 0,11 dias.

A linha TOTAL, apresenta quantas paredes o pedreiro 1 foi responsável no dia 1 do ciclo (neste exemplo foram 4 paredes), também mostra a soma total da área construída ($10,94\text{m}^2$) e a fração do dia gasta para completar estas tarefas, neste caso 0,36 dias..

O desafio agora é encontrar uma combinação que não ultrapasse um dia de trabalho para cada pedreiro, e também procurando equilibrar o trabalho dos mesmos ao longo dos dias. Ou seja, não me interessa que um pedreiro termine suas obrigações no primeiro dia enquanto que outro termine apenas no quinto dia, todos devem acabar, aproximadamente, ao mesmo tempo.

Vale neste momento retomar a aplicação do grout discutida anteriormente. Ao terminar a fase 1 de qualquer parede, o pedreiro deve parar de levantar fiadas e aplicar o grout nesta parede. Como mencionado anteriormente, esta é uma atividade crucial para a estrutura do prédio.

A solução encontrada para este problema foi passar a responsabilidade de colocar o grout para os ajudantes, visto que esta é uma atividade extremamente simples que consiste apenas na colocação do mesmo dentro dos tijolos da sexta fiada. Ou seja, enquanto os ajudantes aplicam o grout, os pedreiros podem continuar a levantar paredes, o que justifica a falta de pausas para aplicação de grout nas tabelas apresentadas a seguir.

A tabela 3.6 a seguir mostra o resumo dos resultados da aplicação da primeira solução de divisão de paredes, como apresentada na figura 3.21, na tabela de Excel apresentada anteriormente. A tabela completa é apresentada no APÊNDICE A – Primeira iteração da solução.

Tabela 3.6 – Primeira iteração da proposta de divisão de trabalho

DIA 1														
Pedreiro 1			Pedreiro 2			Pedreiro 3			Pedreiro 4			Pedreiro 5		
Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias	
1A	F1	0,11	1B	F1	0,11	10B	F1	0,11	28	F1	0,03	5A	F1	0,06
18ABC	F1	0,22	18DEF	F1	0,22	22B	F1	0,12	32	F1	0,08	21A	F1	0,14
6A	F1	0,09	20C	F1	0,10	23B	F1	0,14	14	F1	0,10	22A	F1	0,12
20A	F1	0,12	20D	F1	0,12	11	F1	0,07	15A	F1	0,06	23A	F1	0,14
20B	F1	0,10	6B	F1	0,09	26	F1	0,04	15B	F1	0,06	10A	F1	0,11
7A	F1	0,02	7B	F1	0,02	13	F1	0,25	34	F1	0,03	3A	F1	0,12
19A	F1	0,03	19B	F1	0,03	30B	F1	0,02	25	F1	0,04	12	F1	0,12
8A	F1	0,10	8B	F1	0,10	33B	F1	0,13	16A	F1	0,14			
17A	F1	0,13	5B	F1	0,06	4B	F1	0,13	16B	F1	0,12			
17B	F1	0,17	21B	F1	0,14	31B	F1	0,09	30A	F1	0,02			
			3B	F1	0,12	2B	F1	0,08	31A	F1	0,09			
						29B	F1	0,13	33A	F1	0,13			
						9B	F1	0,11	4A	F1	0,13			
						24B	F1	0,13	9A	F1	0,11			
									24A	F1	0,13			
									29A	F1	0,13			
									2A	F1	0,08			
TOTAL		1,08			1,10			1,54			1,46			0,80

Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se que esta solução está bastante desequilibrada, na qual os pedreiros 3 e 4 precisariam gastar mais do que um dia para completar as paredes que lhes foram atribuídas (1,54 e 1,46 dias respectivamente), enquanto que o pedreiro 5 gastaria apenas 0,80 dias, ou seja, permaneceria 20% do tempo ocioso.

As próximas iterações devem equilibrar esta divisão, como mencionado anteriormente, mantendo a quantidade de dias trabalhados por pedreiro por ciclo igual. O primeiro ponto a ser definido envolve as paredes que terão seu início postergado para abrir espaço para o estoque no centro do andar. Vale ressaltar que estas serão escolhidas dentre as paredes apresentadas anteriormente na figura 3.19.

A seleção destas baseou-se em dois conceitos, primeiramente as paredes selecionadas deveriam estar próximas umas das outras, para que quando forem construídas mantenham as movimentações internas a uma quantidade mínima.

Outro ponto discutido com o mestre e os supervisores envolve a preocupação com a dependência entre as paredes. Algumas paredes são predecessoras de outras e esse fato implica na adoção de mais cuidados ainda quando da execução dos serviços.

A primeira proposta de seleção das paredes é apresentada na figura 3.22 a seguir.

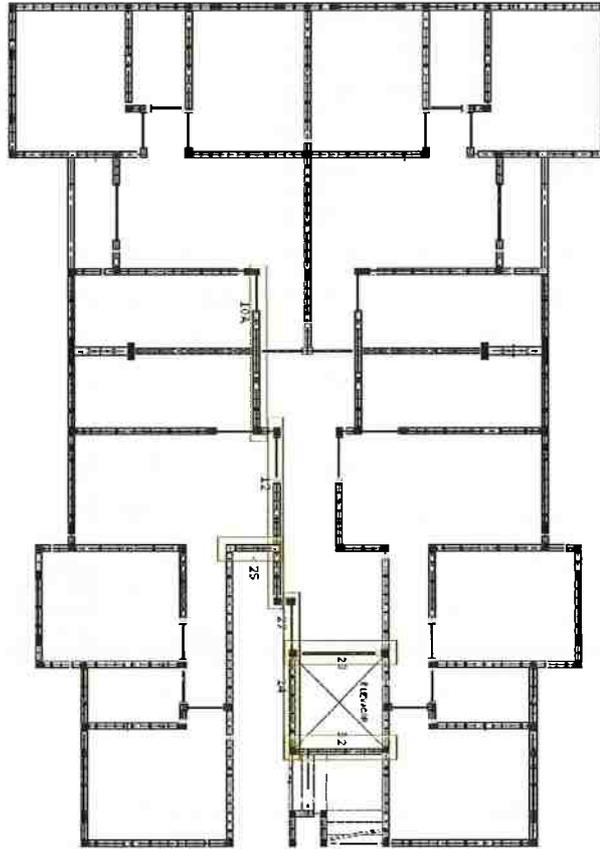


Figura 3.22 – Proposta de paredes que terão seu início postergado

Fonte: Empresa X, elaborado pelo autor

Devido ao agrupamento apresentado, estas paredes serão de responsabilidade de um único pedreiro, que irá iniciar seu trabalho após terminar as demais paredes pelas quais é responsável. Decidiu-se que o pedreiro 5 será o responsável pelas mesmas, isto devido principalmente pela maioria das paredes pertencerem ao grupo de paredes pelas quais é responsável, e também por já ser responsável por grande parte delas, o que aceleraria o processo de treinamento.

Fazendo esta primeira alteração, o pedreiro 4 já terá suas responsabilidades reduzidas, trazendo assim um maior equilíbrio entre os pedreiros, porém o pedreiro 5 continua sobrecarregado. O resumo dos resultados desta segunda iteração é apresentado na tabela 3.7, a tabela completa é apresentada no APÊNDICE B – Segunda iteração da solução.

Tabela 3.7 – Segunda iteração

DIA 1														
Pedreiro 1			Pedreiro 2			Pedreiro 3			Pedreiro 4			Pedreiro 5		
Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias	
1A	F1	0,11	1B	F1	0,11	10B	F1	0,11	15A	F1	0,06	5A	F1	0,06
18ABC	F1	0,22	18DEF	F1	0,22	22B	F1	0,12	15B	F1	0,06	21A	F1	0,14
6A	F1	0,09	20C	F1	0,10	23B	F1	0,14	34	F1	0,03	22A	F1	0,12
20A	F1	0,12	20D	F1	0,12	11	F1	0,07	16A	F1	0,14	23A	F1	0,14
20B	F1	0,10	6B	F1	0,09	26	F1	0,04	16B	F1	0,12	10A	F1	0,11
7A	F1	0,02	7B	F1	0,02	13	F1	0,25	30A	F1	0,02	3A	F1	0,12
19A	F1	0,03	19B	F1	0,03	30B	F1	0,02	31A	F1	0,09	12	F1	0,12
8A	F1	0,10	8B	F1	0,10	33B	F1	0,13	33A	F1	0,13	25	F1	0,04
17A	F1	0,13	5B	F1	0,06	4B	F1	0,13	4A	F1	0,13	27	F1	0,02
17B	F1	0,17	21B	F1	0,14	31B	F1	0,09	9A	F1	0,11	28	F1	0,03
			3B	F1	0,12	2B	F1	0,08	24A	F1	0,13	14	F1	0,10
						29B	F1	0,13	29A	F1	0,13	32	F1	0,08
						9B	F1	0,11	2A	F1	0,08			
						24B	F1	0,13						
TOTAL		1,08			1,10			1,54			1,21			1,08

Fonte: Elaborado pelo autor

Pela análise desta última tabela fica claro que não é possível completar a fase 1 de todas as paredes no primeiro dia de ciclo, portanto a próxima iteração novamente irá equilibrar mais as responsabilidades de cada pedreiro, e já colocando as paredes em ordem de construção.

Vale ressaltar que esta ordem procura, não apenas reduzir os deslocamentos do operário, como também deve obedecer à restrição de criar um espaço de tempo suficiente para a instalação das grades protetoras.

Portanto as paredes externas devem estar dentre as que terão sua fase 1 terminada no primeiro dia de ciclo, e também não podem ser as últimas a serem feitas neste dia, isto para garantir que a grade de proteção esteja instalada por completo no final do primeiro dia de ciclo.

As paredes escolhidas na figura 3.22 terão a fase 1 iniciada apenas após o término da fase 3 de todas as demais paredes de responsabilidade do pedreiro 5. A tabela 3.8 apresenta a

terceira proposta de divisão de paredes entre os pedreiros, a qual foi obtida através de mais iterações e conversas com todos os envolvidos no processo de alvenaria.

Tal proposta está próxima do equilíbrio esperado, o que permite a realização de uma análise do ciclo completo de trabalho, avaliando o tempo de ciclo total do processo apresentado por cada um dos pedreiros.

Tabela 3.8 – Terceira proposta de divisão das paredes

Pedreiro 1	Pedreiro 2	Pedreiro 3	Pedreiro 4	Pedreiro 5
1A	1B	4B	24A	3A
18ABC	18DEF	2B	2A	22A
5A	5B	24B	29A	23A
6A	6B	29B	4A	23B
8A	19B	31B	33A	34
19A	7B	33B	31A	15A
7A	8B	13B	9A	15B
17A	20D	30B	16A	32
20A	21B	9B	30A	28
21A	3B	13A	16B	14
17B	22B	26		27
20B	10B	11		25
	20C			12
				10A

Fonte: Elaborado pelo autor

As tabelas 3.9, 3.10 e 3.11 apresentam o resumo dos resultados desta terceira iteração, já avaliando o ciclo completo do processo (3 dias) e considerando a ordem de construção das paredes. Os resultados completos estão apresentados no APÊNDICE C – Terceira iteração da solução.

Tabela 3.9 – Terceira iteração da solução (Dia 1)

Pedreiro 1			Pedreiro 2			Pedreiro 3			Pedreiro 4			Pedreiro 5		
Parede		Dias	Parede		Dias	Parede		Dias	Parede		Dias	Parede		Dias
1A	F1	0,11	1B	F1	0,11	4B	F1	0,13	24A	F1	0,13	3A	F1	0,12
18ABC	F1	0,22	18DEF	F1	0,22	2B	F1	0,08	2A	F1	0,08	22A	F1	0,12
5A	F1	0,06	5B	F1	0,06	24B	F1	0,13	29A	F1	0,13	23A	F1	0,14
6A	F1	0,09	6B	F1	0,09	29B	F1	0,13	4A	F1	0,13	23B	F1	0,14
8A	F1	0,10	19B	F1	0,03	31B	F1	0,09	33A	F1	0,13	34	F1	0,03
19A	F1	0,03	7B	F1	0,02	33B	F1	0,13	31A	F1	0,09	15A	F1	0,06
7A	F1	0,02	8B	F1	0,10	13	F1	0,25	9A	F1	0,11	15B	F1	0,06
17A	F1	0,13	20D	F1	0,12	30B	F1	0,02	16A	F1	0,14	22A	F2	0,09
20A	F1	0,12	21B	F1	0,14	9B	F1	0,11	30A	F1	0,02	23A	F2	0,10
21A	F1	0,14	3B	F1	0,12				16B	F1	0,12	23B	F2	0,10
												34	F2	0,02
												15A	F2	0,04
												15B	F2	0,04
TOTAL		1,01			1,01			1,05			1,05			1,06

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3.10 – Terceira iteração da solução (Dia 2)

Pedreiro 1			Pedreiro 2			Pedreiro 3			Pedreiro 4			Pedreiro 5		
Parede		Dias	Parede		Dias	Parede		Dias	Parede		Dias	Parede		Dias
17B	F1	0,17	22B	F1	0,12	26	F1	0,04	24A	F2	0,09	3A	F2	0,08
20B	F1	0,10	10B	F1	0,11	11	F1	0,07	2A	F2	0,05	22A	F3	0,08
1A	F2	0,08	20C	F1	0,10	4B	F2	0,09	29A	F2	0,09	23A	F3	0,09
18ABC	F2	0,16	1B	F2	0,08	2B	F2	0,05	4A	F2	0,09	23B	F3	0,09
5A	F2	0,04	18DEF	F2	0,16	24B	F2	0,09	33A	F2	0,09	34	F3	0,02
6A	F2	0,06	5B	F2	0,04	29B	F2	0,09	31A	F2	0,06	15A	F3	0,04
8A	F2	0,07	6B	F2	0,06	31B	F2	0,06	9A	F2	0,08	15B	F3	0,04
19A	F2	0,02	19B	F2	0,02	33B	F2	0,09	16A	F2	0,10	3A	F3	0,07
7A	F2	0,01	7B	F2	0,01	13	F2	0,18	30A	F2	0,01	32	F1	0,08
17A	F2	0,09	8B	F2	0,07	30B	F2	0,01	16B	F2	0,08	28	F1	0,03
20A	F2	0,09	20B	F2	0,07	9B	F2	0,08	24A	F3	0,08	14	F1	0,10
21A	F2	0,10	21B	F2	0,10	26	F2	0,03	2A	F3	0,05	27	F1	0,02
			3B	F2	0,08	11	F2	0,05	29A	F3	0,08	25	F1	0,04
									4A	F3	0,08	12	F1	0,12
												10A	F1	0,11
												32	F2	0,06
												28	F2	0,02
TOTAL		0,92			1,03			0,95			1,04			1,09

Fonte: Elaborado pelo autor

instalados após o término da Fase 1 e são utilizados para as fases 2 e 3, fazendo mais sentido fazer estas fases em seqüência, desta forma não será necessário re-instalar o cavalete para a execução da fase 3.

Porém nenhuma parede terá suas fases 1 e 2 em seqüência para evitar que o pedreiro fique ocioso enquanto o cavalete é montado, além de que entre essas duas fases o grout deve ser colocado na parede, e a segunda fase só pode se iniciar após o mesmo estar seco.

As paredes que estariam no meio do caminho entre o estoque do andar e as paredes de responsabilidade também foram retardadas, resultando em uma nova seleção de paredes que serão iniciadas posteriormente, porém estas de responsabilidade de diferentes pedreiros. Cada um será responsável em fazer posteriormente as paredes que estariam em seus caminhos.

Porém algumas paredes que também estariam no caminho, como a 21A e a 21B não podem ser postergadas, neste caso, por possuírem uma parte externa, que necessita receber a grade de proteção. Além da adição de novas paredes a ser postergadas, percebeu-se que algumas que inicialmente eram postergadas não trariam benefícios, como as paredes 28,32 e 14, as quais estavam ao redor do poço do elevador o que não permite o transporte de insumos.

A figura 3.23 apresenta a divisão final de paredes entre os 5 pedreiros responsáveis pelo processo de alvenaria estrutural.

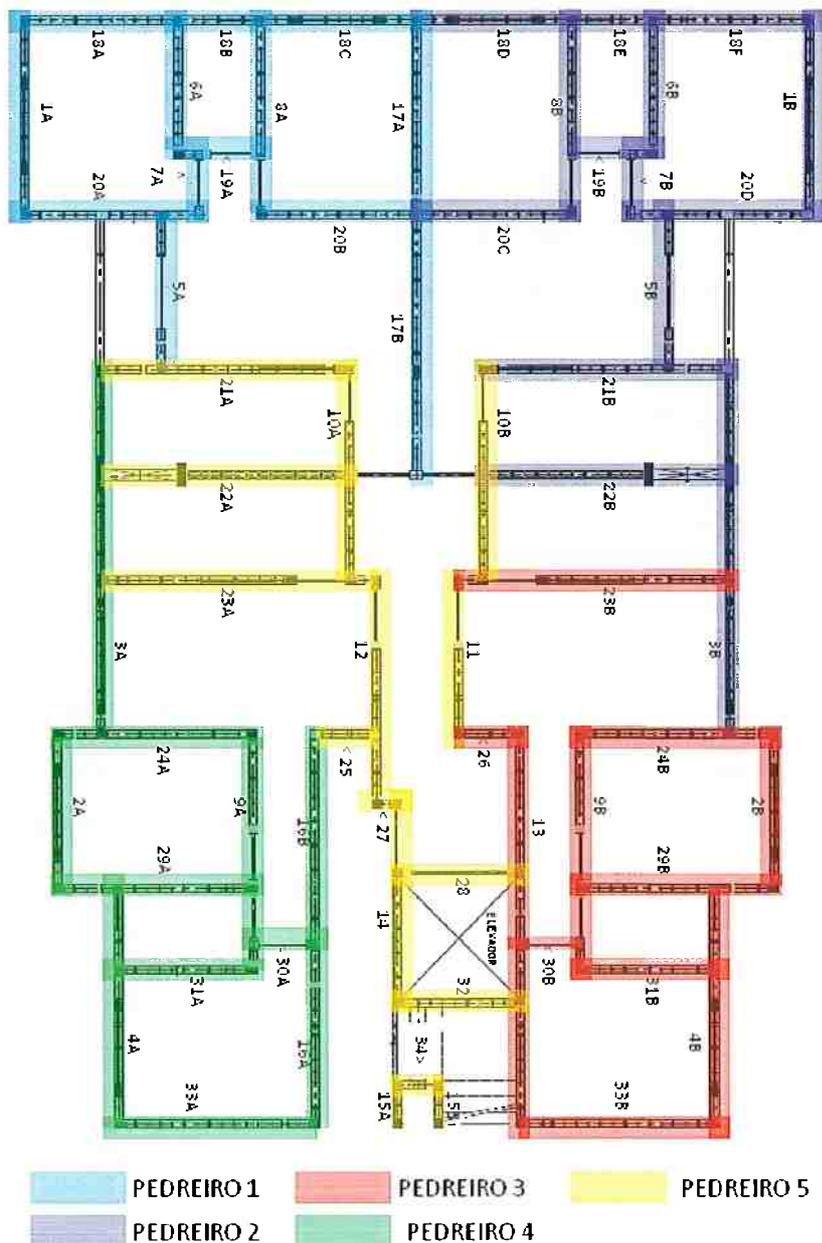


Figura 3.23 – Divisão final das paredes entre os pedreiros

Fonte: Empresa X, elaborado pelo autor

A figura 3.24 apresenta quais paredes tiveram seus inícios postergados e seus respectivos pedreiros responsáveis. A mesma figura já apresenta a região que será reservada para o estoque intermediário dos insumos.

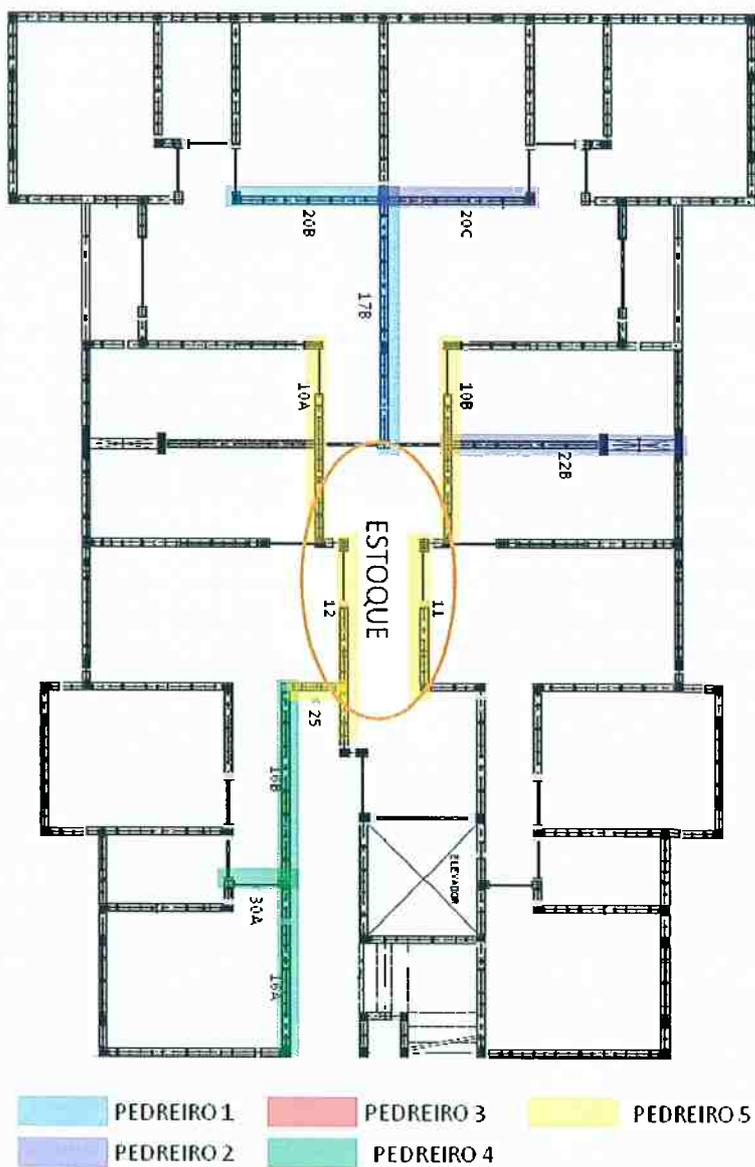


Figura 3.24 – Paredes com início postergado

Fonte: Empresa X, elaborado pelo autor

As tabelas 3.12, 3.13, 3.14 apresentam o resumo dos resultados obtidos na análise desta solução final, novamente os resultados completos são apresentados no APÊNDICE D – Solução final.

Tabela 3.12 – Solução final (Dia 1)

Pedreiro 1			Pedreiro 2			Pedreiro 3			Pedreiro 4			Pedreiro 5		
Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias	
5A	F1	0,06	3B	F1	0,12	33B	F1	0,13	3A	F1	0,12	21A	F1	0,14
20A	F1	0,12	21B	F1	0,14	4B	F1	0,13	24A	F1	0,13	22A	F1	0,12
1A	F1	0,11	5B	F1	0,06	29B	F1	0,13	2A	F1	0,08	23A	F1	0,14
18ABC	F1	0,22	20D	F1	0,12	2B	F1	0,08	29A	F1	0,13	15A	F1	0,06
6A	F1	0,09	1B	F1	0,11	24B	F1	0,13	4A	F1	0,13	34	F1	0,03
7A	F1	0,02	18DEF	F1	0,22	31B	F1	0,09	33A	F1	0,13	15B	F1	0,06
8A	F1	0,10	6B	F1	0,09	30B	F1	0,02	31A	F1	0,09	15A	F2	0,04
19A	F1	0,03	7B	F1	0,02	13	F1	0,25	9A	F1	0,11	15A	F3	0,04
17A	F1	0,13	8B	F1	0,10	9B	F1	0,11	3A	F2	0,08	34	F2	0,02
5A	F2	0,04	19B	F1	0,03							34	F3	0,02
5A	F3	0,04										15B	F2	0,04
20A	F2	0,09										15B	F3	0,04
												32	F1	0,08
												14	F1	0,10
												28	F1	0,03
												27	F1	0,02
												32	F2	0,06
TOTAL		1,04			1,01			1,05			0,99			1,05

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3.13 – Solução final (Dia 2)

Pedreiro 1			Pedreiro 2			Pedreiro 3			Pedreiro 4			Pedreiro 5		
Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias	
20A	F3	0,07	3B	F2	0,08	26	F1	0,04	3A	F3	0,07	32	F3	0,05
1A	F2	0,08	3B	F3	0,07	23B	F1	0,14	24A	F2	0,09	14	F2	0,07
1A	F3	0,07	21B	F2	0,10	33B	F2	0,09	24A	F3	0,08	14	F3	0,06
18ABC	F2	0,16	21B	F3	0,09	33B	F3	0,08	2A	F2	0,05	28	F2	0,02
18ABC	F3	0,14	5B	F2	0,04	4B	F2	0,09	2A	F3	0,05	28	F3	0,02
6A	F2	0,06	5B	F3	0,04	4B	F3	0,08	29A	F2	0,09	27	F2	0,01
6A	F3	0,06	20D	F2	0,09	29B	F2	0,09	29A	F3	0,08	27	F3	0,01
7A	F2	0,01	20D	F3	0,07	29B	F3	0,08	4A	F2	0,09	21A	F2	0,10
7A	F3	0,01	1B	F2	0,08	2B	F2	0,05	4A	F3	0,08	21A	F3	0,09
8A	F2	0,07	1B	F3	0,07	2B	F3	0,05	33A	F2	0,09	22A	F2	0,09
8A	F3	0,06	18DEF	F2	0,16	24B	F2	0,09	33A	F3	0,08	22A	F3	0,08
19A	F2	0,02	18DEF	F3	0,14	24B	F3	0,08	31A	F2	0,06	23A	F2	0,10
19A	F3	0,02				31B	F2	0,06	31A	F3	0,06	23A	F3	0,09
17A	F2	0,09										10A	F1	0,11
17A	F3	0,08										12	F1	0,12
												25	F1	0,04
TOTAL		1,01			1,02			1,03			0,98			1,05

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3.14 – Solução final (Dia 3)

Pedreiro 1			Pedreiro 2			Pedreiro 3			Pedreiro 4			Pedreiro 5		
Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias		Parede	Dias	
20B	F1	0,10	6B	F2	0,06	31B	F3	0,06	9A	F2	0,08	10A	F2	0,08
17B	F1	0,17	6B	F3	0,06	30B	F2	0,01	9A	F3	0,07	10A	F3	0,07
20B	F2	0,07	7B	F2	0,01	30B	F3	0,01	16A	F1	0,14	12	F2	0,08
20B	F3	0,06	7B	F3	0,01	13	F2	0,18	30A	F1	0,02	12	F3	0,07
17B	F2	0,12	8B	F2	0,07	13	F3	0,16	16B	F1	0,12	25	F2	0,03
17B	F3	0,10	8B	F3	0,06	9B	F2	0,08	16A	F2	0,10	25	F3	0,03
			19B	F2	0,02	9B	F3	0,07	16A	F3	0,09	10B	F1	0,11
			19B	F3	0,02	26	F2	0,03	30A	F2	0,01	11	F1	0,07
			20C	F1	0,10	26	F3	0,03	30A	F3	0,01	10B	F2	0,08
			22B	F1	0,12	23B	F2	0,10	16B	F2	0,08	10B	F3	0,07
			20C	F2	0,07	23B	F3	0,09	16B	F3	0,07	11	F2	0,05
			20C	F3	0,06							11	F3	0,05
			22B	F2	0,09									
			22B	F3	0,08									
TOTAL		0,62			0,84			0,80			0,77			0,80

Fonte: Elaborado pelo autor

O primeiro ponto a ser ressaltado é que realmente é possível alcançar um tempo de ciclo de 3 dias para o processo. Todos os pedreiros apresentam um equilíbrio de responsabilidades, seus dois primeiros dias de ciclo são factíveis e todos os cinco pedreiros apresentam uma folga no terceiro dia de ciclo. Esta folga inicialmente será utilizada como margem de segurança para o ciclo, garantindo desta forma que o ciclo do processo será sempre de 3 dias.

Estas folgas também serão utilizadas para fazer ajustes que possibilitem a continuidade do serviço, como mudar o elevador de andar, transportar alguns materiais e retirar as grades de proteção do andar.

Foi realizada uma simulação deste processo utilizando-se uma velocidade de produção um pouco mais conservadora, reduzindo as velocidades das fases 1 e 2 (as mais críticas) para 28 e 26m²/dia respectivamente. Mesmo assim, o processo ainda consegue ser realizado dentro dos 3 dias programados devido a estas folgas mencionadas, ou seja, mesmo com pequenos imprevistos o ciclo da alvenaria deve terminar com 3 dias. Esta simulação poder ser visualizada no APÊNDICE E – Solução conservadora.

Durante a implantação desta proposta, pode ser feito um novo planejamento, desta vez envolvendo os responsáveis pelo processo da laje também, para tentar acelerar ainda mais o tempo de ciclo, acabando com possíveis folgas, que na verdade representam ociosidade.

Retomando agora a análise de sensibilidade apresentada pela tabela 1.3, pode-se perceber quais os benefícios diretos conseguidos por esta proposta. A redução do tempo de ciclo médio de 5,4dias para apenas 3 dias, uma redução de 44,4%, impactaria diretamente nos custos fixos, resultando em uma redução dos custos totais de aproximadamente 2,22%.

3.3.5. Planejamento das entregas de insumos

Com o desenho da produção factível definido, pode-se organizar então as entregas dos insumos. Isto ocorre seguindo a lógica inversa daquela apresentada para a obtenção das causas raiz: já que o plano foi definido junto com os envolvidos no processo, a velocidade de produção deve apresentar uma baixa variabilidade, o que permite uma antecipação das necessidades de insumos, que resultará em um planejamento de entregas dos mesmos. Isto visa por fim às esperas por tijolos e massa.

Entrega de blocos

Os primeiros insumos a serem trabalhados serão os tijolos. As entregas destes serão programadas da seguinte maneira. Primeiramente os insumos serão carregados do térreo até o espaço planejado para servir de estoque no andar, para posteriormente serem entregues aos pedreiros.

As entregas do térreo até o estoque do andar serão planejadas para ocorrer em dois momentos: no final do dia e no final da manhã do dia seguinte. Estas devem antecipar as necessidades do momento seguinte, ou seja, no final do dia serão entregues os insumos usados na manhã do dia seguinte, enquanto que no final da manhã devem ser entregues os insumos usados à tarde.

Esta forma visa garantir que os pedreiros já encontrem os insumos posicionados no local de trabalho assim que chegarem à obra. As entregas do estoque no próprio andar para os pedreiros serão feitas primando pela redução dos desperdícios em movimentação e estoque, entregando próximos ao local onde será erguida a parede apenas a quantidade necessária para a fase a ser realizada, e apenas no momento necessário.

Desta forma o pedreiro, além de não mais ter que esperar por insumos, terá todos os insumos de que necessita, próximos, reduzindo movimentos desnecessários. Além de que a entrega de apenas o que é necessário reduz o espaço utilizado pelos insumos, possibilitando ao pedreiro o máximo de espaço livre para se movimentar.

Estas entregas finais são mais flexíveis e dependem muito mais do momento exato em que o pedreiro irá precisar dos tijolos, visto que o estoque intermediário do andar já deve conter todas as necessidades deste, e o deslocamento dentro do andar com a nova ordem de paredes será rápido, permitindo esta maior flexibilidade ao processo. Este conhecimento dos momentos exatos será mais bem adquirido com a implementação do plano de ação e o passar dos ciclos. Vale ressaltar que a entrega dos insumos para as primeiras paredes a serem erguidas no dia, já devem ser feitas no final dia anterior.

Através da planta da obra obtiveram-se as necessidades de tijolos para cada fase de execução de cada parede, apresentada no APÊNDICE F – Necessidades de tijolos por parede. Existem seis tipos de tijolos, cada um com medidas específicas. Os tijolos de ajustes são quebrados pelo próprio pedreiro.

Com as necessidades de cada parede definidas, e com o planejamento de quais fases de cada parede serão realizadas em cada dia, pode-se agora definir a quantidade de tijolos necessários para cada pedreiro, por dia e momento de ciclo. Os resultados são apresentados na tabela 3.15.

Tabela 3.15 – Necessidades de tijolos

TIJOLOS		14x19x54	14x19x39	14x19x34	14x19x19	14x19x14	Ajustes	
Dia 1	Manhã	Ped. 1	13	98	17	14	3	23
		Ped. 2	13	92	14	12	3	22
		Ped. 3	14	83	14	4	1	21
		Ped. 4	11	77	14	5	5	18
		Ped. 5	18	69	8	2	1	21
	Tarde	Ped. 1	12	98	17	13	3	23
		Ped. 2	12	91	13	11	3	22
		Ped. 3	14	83	13	4	1	21
		Ped. 4	11	76	14	4	4	17
		Ped. 5	18	69	7	1	1	21
Dia 2	Manhã	Ped. 1	10	99	12	13	1	22
		Ped. 2	15	83	15	12	6	17
		Ped. 3	10	67	13	7	3	13
		Ped. 4	11	66	15	9	5	14
		Ped. 5	19	67	12	9	4	20
	Tarde	Ped. 1	10	98	11	12	-	21
		Ped. 2	15	82	15	11	6	17
		Ped. 3	10	66	13	7	3	12
		Ped. 4	11	65	14	8	4	14
		Ped. 5	19	67	11	8	4	19
Dia 3	Manhã	Ped. 1	14	66	5	2	-	7
		Ped. 2	9	66	13	10	1	19
		Ped. 3	14	59	10	5	1	24
		Ped. 4	14	70	16	2	3	12
		Ped. 5	27	55	1	14	4	22
	Tarde	Ped. 1	13	65	5	1	-	6
		Ped. 2	9	66	13	9	-	18
		Ped. 3	14	59	9	5	-	23
		Ped. 4	13	69	15	2	2	12
		Ped. 5	26	55	1	13	4	21

Fonte: Elaborado pelo autor

Definidas as necessidades de tijolos, pode-se agora programar a entrega destes, para o momento exatamente anterior, como explicado anteriormente. A tabela 3.16 apresenta um

resumo destas, sendo que se considerou como dia 0, o dia imediatamente anterior ao primeiro deste novo ciclo.

Tabela 3.16 – Programação da entrega de tijolos

TIJOLOS		14x19x54	14x19x39	14x19x34	14x19x19	14x19x14	Ajustes
Dia 0	Tarde	69	419	67	37	13	105
Dia 1	Manhã	67	417	64	33	12	104
	Tarde	65	382	67	50	19	86
Dia 2	Manhã	65	378	64	46	17	83
	Tarde	78	316	45	33	9	84
Dia 3	Manhã	75	314	43	30	6	80
	Tarde	69	419	67	37	13	105

Fonte: Elaborado pelo autor

Entrega de massa

O próximo insumo a ser programado é a massa. Vale antecipar que as quantidades de massa por parede são uma medida ainda pouco trabalhada, visto que os ajudantes costumam subir mais massa apenas quando percebem que o estoque está quase acabando.

Portanto aqui será feita uma estimativa inicial, para tentar dar base aos ajudantes no início deste novo ciclo. O objetivo é chegar numa medida aproximada de carrinhos por hora que devem ser trazidos ao estoque do andar. Esta medida, como já mencionado anteriormente, será uma estimativa inicial a qual será testada durante a implementação do plano de ação, e será aprimorada com o passar dos ciclos e o melhor entendimento das reais necessidades da obra.

Para calcular estas necessidades de massa será feita uma estimativa de quanta massa é usada em cada bloco da alvenaria. Para tal é necessário apresentar o processo de assentamento dos blocos e a forma destes.

Os blocos são vazados no meio, portanto a colocação da argamassa para a junta horizontal ocorre apenas nas duas bordas do lado maior do bloco, como apresentado na figura 3.25. Estas bordas apresentam uma medida de aproximadamente 2cm, e a altura da massa é de aproximadamente 1cm. Portanto cada bloco apresentará na parte de baixo duas camadas de massa de dimensões $2 \times 1 \times L$, sendo L o comprimento do tijolo em questão.

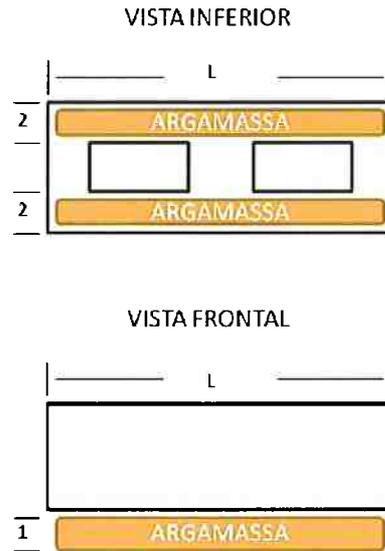


Figura 3.25 – Colocação da junta horizontal no bloco de alvenaria estrutural

Fonte: Elaborado pelo autor

Algo similar ocorre com a junta vertical, a qual é aplicada na lateral dos blocos, também em duas faixas aplicadas no canto do bloco. Estas são bastante similares com a junta horizontal, e também apresentam bordão de 2cm e altura de 1cm. O comprimento destas depende da altura dos blocos, que no caso desta obra é sempre 19cm.

Para evitar dupla contagem, será considerado que cada bloco recebe argamassa apenas no lado esquerdo. Portanto cada bloco recebe duas faixas de argamassa de $2 \times 1 \times 19$ cm, totalizando um volume de 76cm^3 . A figura 3.26 ilustra esta aplicação.

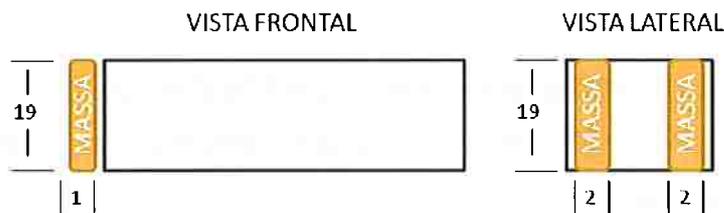


Figura 3.26 – Colocação da junta vertical no bloco de alvenaria estrutural

Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, considerando-se as duas aplicações de junta, vertical e horizontal, cada bloco recebe um volume de $(4 \cdot L + 76) \text{cm}^3$ de argamassa. Sabendo a quantidade de blocos utilizada por dia, e seus respectivos comprimentos, pode-se calcular a quantidade de massa.

Sabendo a quantidade de massa utilizada por dia, será considerado que a velocidade de consumo de massa é constante durante o dia, portanto encontrando o consumo diário, bastará dividir este dentro das 8 horas de trabalho, encontrando a taxa de consumo de massa por hora.

A tabela 3.16 apresentou um resumo das entregas de tijolos, que são baseadas nas necessidades do dia seguinte à entrega. Portanto para se calcular as necessidades de massa, basta aplicar a fórmula de volume de massa por tijolo ($12 \cdot L + 228$), encontrando assim a necessidade diária de argamassa. Sobre estes valores será aplicado um coeficiente de segurança de 10%, recomendada pelo Eng. Antônio Conte.

A tabela 3.17 apresenta o consumo diário de massa por tipo de bloco, e também os valores totais (considerou-se um comprimento médio para os tijolos de ajuste de 10cm).

Tabela 3.17 – Consumo diário de massa por tipo de tijolo em cm³

MASSA	14x19x54	14x19x39	14x19x34	14x19x19	14x19x14	Ajustes	TOTAL
DIA 1	43.683	213.347	30.549	11.704	3.630	26.668	329.582
DIA 2	41.756	193.952	30.549	16.051	5.227	21.564	309.100
DIA 3	49.144	160.776	20.522	10.534	2.178	20.926	264.079
TOTAL	134.583	568.075	81.620	38.289	11.035	69.159	902.761

Fonte: Elaborado pelo autor

Com o consumo diário de massa calculado, e sabendo que um dia de trabalho é composto por 8,8 horas, encontramos o consumo de massa por hora em cada dia de ciclo dividindo o valor total do dia por 8,8. A tabela 3.18 apresenta estes resultados, já convertidos para litros/hora.

Tabela 3.18 – Consumo diário de massa em litros/hora

Consumo de massa (litros/hora)	
Dia 1	375
Dia 2	351
Dia 3	300

Fonte: Elaborado pelo autor

Para facilitar, este valor será calculado em caçambas de fundo plano (“carrinhos de obra”). Nesta obra são utilizadas caçambas de capacidade de 50litros, portanto para transformar os dados da tabela 3.18 para a unidade caçambas/hora basta dividir os números por ela apresentados por 50. Estes resultados são apresentados na tabela 3.19 a seguir.

Tabela 3.19 – Consumo diário de massa em caçambas/hora

Consumo de massa (caçamba/h)	
Dia 1	7
Dia 2	7
Dia 3	6

Fonte: Elaborado pelo autor

Como a massa deve ser utilizada fresca, as entregas serão feitas a cada hora, utilizando estes valores estimados como base. Porém vale frisar que estes valores são estimativas iniciais e que devem sofrer alterações conforme o plano de ação for implantado e testado, seguindo a lógica do Last Planner.

3.3.6. Análise dos benefícios

Cabe agora ressaltar os benefícios oferecidos por este plano de ação à obra em questão. O primeiro ponto a ser observado é o fato de que este oferece um planejamento extremamente detalhado, possibilitando aos gerentes da obra maior controle e total conhecimento das diversas etapas do processo de alvenaria estrutural; visto que grande parte do trabalho é deixado para que os próprios pedreiros decidam a melhor forma de atuação, o que faz lembrar a mudança que trouxe Frederick Taylor ao extrair os conhecimentos dos operários e transmiti-los à gerência.

Dentre os demais benefícios, aquele que mais se destaca é a redução do tempo de ciclo do processo, que antes apresentava uma média de 5,4 dias, para 3 dias, uma redução de 44,4%. É importante notar que estamos reduzindo 44,4% do tempo da alvenaria (que corresponde a cerca de 25% do prazo da obra). Assim, a redução dos custos fixos (que representam 20% dos custos totais) seria de $20\% * 44,4\% * 25\%$, ou seja, 2,22%, que é um valor muito alto, visto que a margem líquida de lucro de uma obra gira em torno de 5% do seu custo global de produção

A tabela 3.20 apresenta um resumo destes benefícios.

Tabela 3.20 - Resumo dos benefícios

	Antes	Depois
Ciclo da alvenaria (dias)	5,4	3
Redução dos custos fixos	-	11,1%
Redução dos custos totais	-	2,22%

Fonte: Elaborado pelo autor

Além da redução dos custos, a redução do tempo de ciclo permite que a entrega da obra seja antecipada, e dessa forma as receitas também serão antecipadas, o que pode ser de importância estratégica para as empresas do setor, visto que este é um mercado que exige muito investimento.

O planejamento detalhado da entrega dos insumos também terá outros benefícios à obra, que não apenas o fim do desperdício por falta dos mesmos. As informações de demanda podem ser repassadas para os fornecedores desses insumos, para que estes também programem suas entregas de forma a reduzir os estoques intermediários necessários no empreendimento. Esta lógica segue novamente o pensamento Lean, que, em sua fase mais evoluída, preza pelas alianças com os fornecedores, como vem fazendo a Toyota no Japão.

3.4. Implantação

Este item primeiramente irá apresentar as dificuldades enfrentadas na tentativa de implantação do plano de ação anteriormente descrito no empreendimento aqui analisado, o qual não foi implantado por decisão do engenheiro da obra.

Posteriormente será apresentado um caso de sucesso que conseguiu aplicar um plano de ação similar ao discutido até então em outro empreendimento também cliente da Logical Systems, e será traçado um paralelo entre este empreendimento e o estudado neste trabalho, afim de compreender suas diferenças.

3.4.1. Implantação na obra em estudo

A implantação do plano de ação descrito no item 3.3 deve ser realizada seguindo os seguintes passos:

- Apresentação do plano final para os envolvidos no processo, para ajustes finais e eliminação das últimas dúvidas. Treinar os envolvidos para que todos estejam cientes de suas novas responsabilidades.
- Iniciar um novo ciclo do processo seguindo o planejamento das paredes e dos insumos. Este deve ser acompanhado de perto, ajudando todos os envolvidos a compreender suas novas tarefas e a **importância da velocidade constante da produção**. São feitos novos ajustes para garantir que o plano seja realmente factível e sua velocidade estável.
- Continuar os demais ciclos, fazendo um acompanhamento para garantir que a velocidade do processo está constante e fazer ajustes finos necessários devido a algumas adversidades.
- É importante frisar que as etapas de implementação também são iterativas e devem seguir a lógica do Last Planner.

A tentativa de implementação do plano de ação discutido sofreu grande resistência por parte principalmente do engenheiro responsável pela obra. Na reunião de apresentação das propostas de trabalho, este se mostrou totalmente inflexível quanto a mudar os métodos utilizados até o momento.

Apesar da demonstração dos benefícios deste plano de ação, que foi construído com a ajuda dos envolvidos no processo de alvenaria da obra em que ele é o responsável, o engenheiro deixou claro que não queria alterar os métodos produtivos utilizados em sua obra.

Os primeiros argumentos utilizados pelo engenheiro envolviam os pedreiros, os quais, em sua opinião, jamais aceitariam mudar o estilo com o qual estão acostumados a trabalhar, visto que já tinham construído, até aquele momento, 9 andares e seria complicado mudar as responsabilidades de cada um neste momento final.

A conversa com o supervisor dos pedreiros mostrou que a resistência por parte deles não seria tão grande quanto imaginava o engenheiro, a única restrição feita era de que todos os pedreiros deveriam ter a mesma quantidade de metros quadrados de parede sob sua responsabilidade, visto que estes recebem por metro de parede construída. Este ponto não seria problema, visto que esta já foi uma preocupação durante a elaboração do plano de ação.

Superado este ponto, o engenheiro nos trouxe outro problema, a alta rotatividade da mão de obra. Para ele, não valeria a pena parar o processo de alvenaria para capacitar pedreiros que possivelmente não ficariam na obra por muito mais tempo.

O contra-argumento utilizado é que quando um novo pedreiro entrar na obra, de qualquer forma este deve ser treinado para conhecer suas responsabilidades dentro do processo de alvenaria. Não faria diferença se estas responsabilidades seguissem este novo plano de ação, ou o modelo antigo de produção.

Ao conversar com o supervisor dos pedreiros, descobriu-se que esta alta rotatividade devia-se ao fato de que a obra vizinha estava pagando 15% a mais pelo metro quadrado de parede, e a produtividade diária das duas era, naquele momento, semelhante, portanto os pedreiros acabavam recebendo mais por dia de trabalho na obra vizinha.

Porém, a utilização deste novo plano de ação iria melhorar a produtividade diária em 44%, ou seja, mesmo pagando menos pelo metro quadrado, os pedreiros iriam receber mais, já que estariam construindo mais metros de parede por dia. Ou seja, a implementação deste plano de ação também ajudaria a reduzir a rotatividade da mão de obra.

Percebendo que estaria sem argumentos para se defender, o engenheiro afirmou que este plano de ação não era factível e que ele não queria arriscar realizar “experimentos” em sua obra, muito menos restando apenas 3 andares para serem concluídos.

Portanto, apesar de serem demonstrados todos os potenciais benefícios da implementação do presente plano de ação, a resistência apresentada pelo tomador de decisão do empreendimento, impediu sua evolução. Ficou claro que o Lean Construction ainda é uma teoria pouco difundida no mundo da engenharia civil, e ainda sofre com a falta de conhecimento dos envolvidos.

3.4.2. Implantação das soluções encontradas

Neste item será apresentada a implantação das soluções encontradas durante a elaboração deste projeto, em outra obra para a qual a Logical Systems prestou consultoria. Este empreendimento é um prédio de alvenaria estrutural composto por 2 torres, formadas pelo térreo mais 12 pavimentos, muito semelhante ao empreendimento estudado.

A Logical Systems foi contratada com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo de estrutura (formada pelo ciclo da alvenaria estrutural mais o ciclo da laje) para 1 semana (6 dias). Este ciclo vinha apresentando um tempo médio de 7 dias, sendo 4 dias da alvenaria estrutural mais 3 dias de laje, portanto, retomando o conceito de construção em X apresentado no item 3.1 na qual o tempo dos serviços deve ser similar para evitar ociosidade das equipes, o tempo da alvenaria estrutural deveria ser reduzido para 3 dias.

Para a solução do problema foi realizada uma análise similar a deste trabalho, com o objetivo de identificar os desperdícios do processo de alvenaria estrutural e posteriormente suas causas-raiz.

Desperdícios

Foram identificados dois desperdícios principais:

- Espera por materiais
- Espera pela liberação da primeira fiada.

Com o auxílio da análise dos cinco porquês foram identificadas as causas-raiz destes desperdícios. A espera por materiais era devida à basicamente dois problemas, um envolvendo logística no andar e outro envolvendo logística externa ao andar.

O problema de logística no andar era devido ao posicionamento do guincho, que era encontrado no centro do andar (como apresentado na figura 3.27; vale ressaltar que devido a contratos de confidencialidade a planta desta obra não pode ser apresentada), e a seqüência adotada para a construção das paredes do andar, que era totalmente aleatória, fazendo com que algumas paredes bloqueassem a caminho da entrega dos insumos, fazendo com que esta levasse mais tempo.

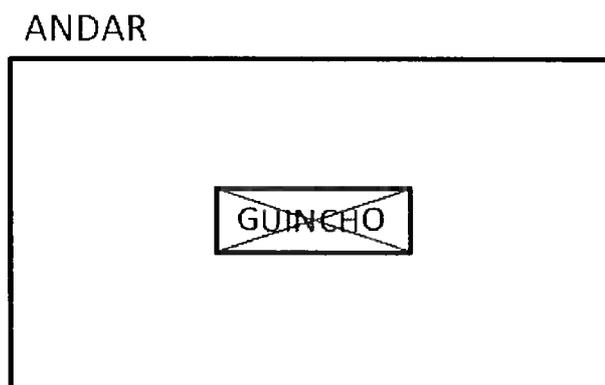


Figura 3.27 - Posicionamento do guincho

Fonte: Elaborado pelo autor

O problema de logística externa envolvia a falta de um planejamento para entregas dos insumos, como consequência, assim como na obra estudada neste trabalho, o guincho estava por muitas vezes ocupado, ou os insumos ainda não tinham nem sido preparados.

Este problema era acentuado pela forma de alocação de mão-de-obra adotada, na qual a empresa havia contratado 8 pedreiros e 8 ajudantes, cada ajudante auxiliando diretamente apenas 1 dos pedreiros. Com isso por muitas vezes pode-se observar ajudantes brigando entre si para garantir que seus respectivos pedreiros recebessem os insumos, sem existir uma atitude buscando o resultado final ótimo.

O problema da espera pela liberação da primeira fiada era devido ao fato de que apenas 1, dos 8 pedreiros da obra era qualificado para realizar a marcação da alvenaria (colocação da primeira fiada das paredes), já que esta exige um maior conhecimento para garantir o posicionamento exato dos tijolos que irão guiar o restante da parede. Com isto, os demais pedreiros eram obrigados a esperar que este pedreiro liberasse alguma parede antes de começarem a trabalhar, ficando ociosos 4 horas em média no primeiro dia de ciclo.

A figura 3.28 apresenta um resumo das causas-raiz descobertas através desta análise.



Figura 3.28 - Causas-raiz encontradas

Fonte: Elaborado pelo autor

Plano de ação

Bastante similar ao plano de ação sugerido neste trabalho, o plano para esta obra envolveu primeiramente um desenho do processo de produção detalhado, envolvendo o seqüenciamento das paredes, e previsão dos insumos.

A seqüência de construção das paredes seguia a lógica de partir das paredes externas e seguir em direção ao centro do andar, onde estava localizado o guincho, desta forma facilitando o transporte interno dos insumos. O planejamento das paredes permitiu a previsão do consumo de insumos possibilitando o planejamento detalhados das entregas, dessa forma os mesmos podiam ser preparados para a subida no guincho antecipadamente, evitando "congestionamentos".

Para evitar as disputas entre os ajudantes, estes foram realocados, sendo que 4 deles seriam responsáveis pelo suporte aos pedreiros buscando insumos, porém sem estarem alocados diretamente à apenas 1 dos pedreiros, estes eram instruídos a seguir a ordem de entregas previamente definida pelo planejamento detalhado. Os demais ajudantes foram alocados para colocar o grout, fazendo com que os pedreiros pudessem continuar a levantar paredes.

Para solucionar o problema da espera pela marcação da primeira fiada mais 3 pedreiros foram capacitados a executar esta tarefa, desta forma estes precisavam liberar apenas uma parede cada um para que todos os 8 pedreiros da obra estivessem ocupados. A solução ideal seria o treinamento de todos os 8 pedreiros, porém apenas 3 se mostraram capazes de executar esta nova tarefa, que exige muita perícia.

A figura 3.29 resume o método de ataque deste plano de ação.

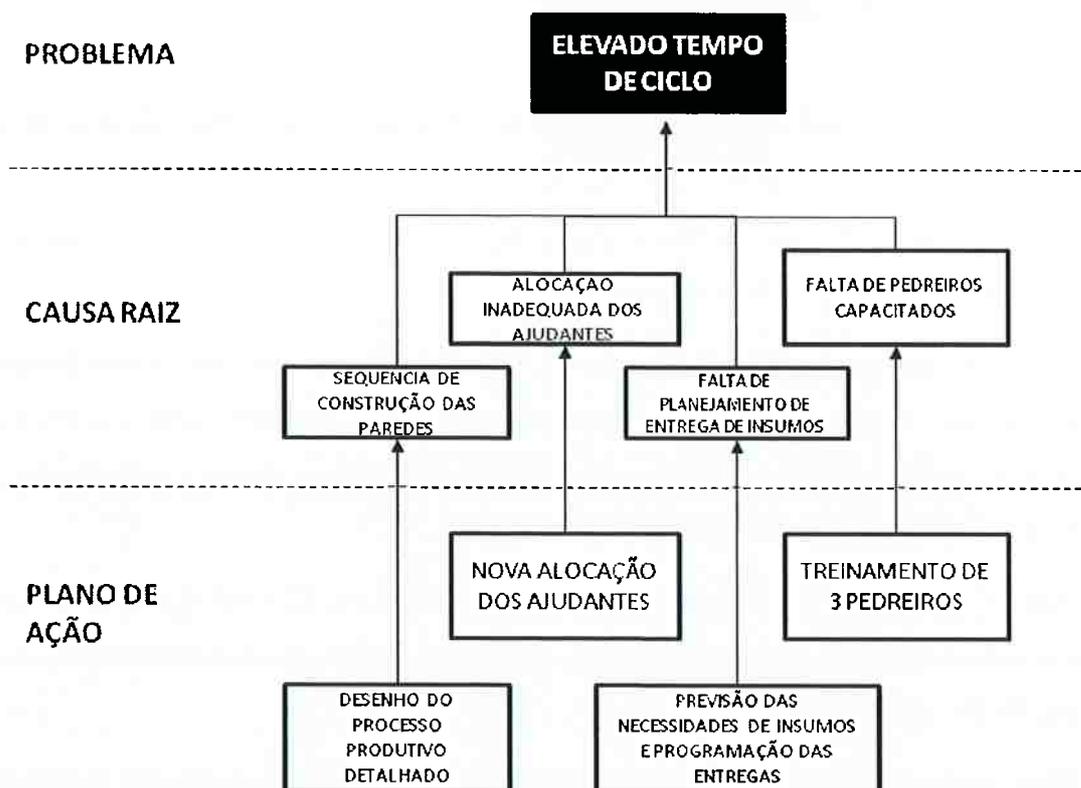


Figura 3.29 - Lógica de ataque do plano de ação (2)

Fonte: Elaborado pelo autor

Resultados

A implantação deste plano de ação, bastante similar ao gerado neste trabalho, gerou resultados extremamente satisfatórios. Em apenas 1 semana o ciclo da alvenaria conseguiu se estabilizar nos 3 dias, atingindo a meta traçada, e possibilitando a construção de 8 pavimentos por mês, enquanto que o ciclo de 4 dias permitia a construção de apenas 6 pavimentos por mês. Estes resultados são resumidos na tabela 3.21.

Tabela 3.21 - Resultados da implantação

	ANTES	DEPOIS
Ciclo de estrutura (dias)	7	6
Ciclo de alvenaria (dias)	4	3
Pavimentos/Mês	8	6

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.3. Paralelo entre as obras

Pode-se perceber que esta implantação estava baseada em um plano de ação bastante similar ao proposto neste trabalho, o que nos permite traçar um paralelo entre as duas obras. Em ambas o grande problema enfrentado era a falta de um planejamento mais detalhado do processo, conseguindo assim evitar desperdícios.

Cada obra possui um elemento particular. No caso da obra estudada era a colocação da grade de proteção, enquanto que neste último caso era a falta de capacitação dos pedreiros, porém em ambos os casos estes problemas particulares não eram os grandes responsáveis pela baixa velocidade apresentada pelo processo de alvenaria.

Ambas as obras utilizavam o conceito de construção em X, e em ambas o serviço de laje estava mais acelerado que o de alvenaria, garantindo assim que a redução do ciclo gere benefícios diretos para a obra.

Uma avaliação crítica das causas-raiz de ambos os empreendimentos nos mostra que a falta de um fluxo contínuo e estável, impede a elaboração de um planejamento detalhado de entregas de insumos, o que gera desperdício. A variação da velocidade de produção é o primeiro ponto a ser atacado por um plano de ação, para que, atingida a estabilização do ciclo, as demais fontes de desperdícios possam ser sanadas.

As similaridades entre as 2 obras nos leva a crer que a autorização por parte do engenheiro chefe da obra estudada para a implantação do plano de ação proposto no item 3.3, traria benefícios relevantes para a mesma, como uma redução no tempo de ciclo do processo de alvenaria estrutural, e dos custos totais da obra.

4. Conclusão

Cabe neste último capítulo retomar alguns conceitos discutidos neste trabalho e apresentar as descobertas mais relevantes feitas durante este projeto. Primeiramente cabe frisar, após aproximadamente 1 ano de trabalho, a crença do autor de que realmente o setor de engenharia civil no Brasil apresenta grandes problemas envolvendo o estudo dos Sistemas de Produção em obras, ponto em que a atuação de engenheiros de produção traria grandes benefícios.

O contato com o setor mostrou para o autor que estes processos ainda são feitos muitas vezes sem nenhum planejamento prévio, deixando ao cargo dos operários a realização das tarefas da forma que bem entenderem. Durante o curso de engenharia de produção, pode-se perceber que grandes revoluções se passaram nos processos industriais, como a criação do Seis Sigma na Motorola, a criação da linha de produção de Ford e a produção enxuta da Toyota, porém nenhuma destas grandes evoluções teve impacto na construção civil.

É por esta razão que este presente trabalho, por mais que seja a avaliação de um plano de ação em apenas um serviço, o de alvenaria, realmente é relevante para o setor, pois procura finalmente trazer para a construção algumas das teorias que revolucionaram a indústria automobilística mundial.

Outro ponto que vale ser ressaltado é a percepção que este trabalho trouxe ao autor da grande variedade de aplicações existentes à engenharia de produção. Normalmente imagina-se que o engenheiro de produção é aquele responsável por gerir uma fábrica, porém agora percebo que na verdade ele é o responsável por gerir sistemas de produção e seus processos, não importando quais, presentes em quaisquer setores. Qualquer processo pode, e deveria ser analisado e aprimorado pelas técnicas aprendidas durante o curso de engenharia de produção.

A avaliação dos 7 desperdícios de Ohno, é uma técnica extremamente simples e que é muito relevante em um setor que apresenta níveis de desperdício elevados como a construção civil. A análise deste trabalho mostrou que apenas no processo de alvenaria, existe um desperdício de aproximadamente 14% de tempo ocioso devido basicamente a esperas por insumos e excesso de inspeção de qualidade.

É de se surpreender que o planejamento do processo construtivo não envolva um planejamento detalhado de responsabilidades, ordem de construção das paredes, entregas de insumos e tempo médio de ciclo. O que se viu foi apenas um controle no sentido de checar como o ciclo está, porém poucas ações eram tomadas em busca da contínua melhoria do processo.

O plano de ação desenvolvido neste trabalho utilizou-se de técnicas do *Lean Construction*, ferramentas como o Last Planner, e principalmente da essência por traz do pensamento Lean criado pela Toyota, para reduzir os desperdícios e o tempo de ciclo do processo de alvenaria estrutural.

Este plano de ação firmou-se em 3 pontos básicos:

- Novo seqüenciamento das paredes - isto garantiu a estabilidade do processo, reduziu desperdícios por excesso de movimentação e transporte, e ociosidade durante a instalação das grades de proteção.
- Detalhamento das necessidades de insumo - este possibilitou o planejamento detalhado da entrega dos insumos, evitando assim a falta dos mesmos.
- Melhor compreensão do que gera valor para o cliente - desta forma pode-se reduzir sensivelmente o tempo gasto com inspeção de qualidade.

Os benefícios estimados são extremamente relevantes para a obra em análise, visto que reduziria o tempo de ciclo de um processo que apresentava média de 5,4 dias, para 3 dias, uma redução de 44,4%. Esta redução permitiria acelerar a entrega da obra, o que traria uma redução total de custos de até 2,22%, além da antecipação das receitas. Estes são resumidos na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Benefícios esperados do plano de ação propostos

	Antes	Depois
Ciclo da alvenaria (dias)	5,4	3
Redução dos custos fixos	-	11,1%
Redução dos custos totais	-	2,22%

Fonte: Elaborado pelo autor

Infelizmente não foi possível obter autorização do engenheiro da obra para a implementação do plano de ação aqui elaborado. Era de se esperar que este plano trouxesse grandes benefícios para a obra, visto que todo o planejamento envolveu todos os participantes do processo e primou por sua executabilidade.

Certamente este plano precisaria de novos ajustes principalmente envolvendo as entregas de massa, feitas através de estimativas, e os momentos exatos das entregas. Com o passar dos ciclos, os envolvidos do processo terão um conhecimento destes momentos em que os pedreiros executam cada uma das atividades, podendo assim reduzir estoques intermediários e garantir que não ocorram esperas por falta de insumos.

A apresentação de um plano de ação similar ao desenvolvido neste projeto, e que foi implantado com sucesso, permitiu traçar um paralelo entre as obras e realizar que o *Lean Construction* oferece soluções que conseguem reduzir sensivelmente o tempo de ciclo dos processos, gerando grande economia para as empresas. O que falta ao setor é permitir a implantação de planos de ação como estes, e aprimorar seus processos.

É importante ressaltar para os envolvidos no processo a importância do ciclo de produção constante, visto que todos os serviços de apoio dependem da velocidade de produção, e nossos estudos de causas-raiz mostram que a alta variabilidade da velocidade de produção dos pedreiros, é talvez a grande responsável pela falta de insumos na obra. Ou seja, antes de solucionar esta variabilidade, fica impossível otimizar os processos.

Durante a evolução deste projeto, o autor pode perceber que o setor da construção civil ainda apresenta um nível de planejamento dos processos muito aquém do esperado em setor tão importante para a economia brasileira. Talvez seja necessária a aparição de uma Toyota, para revolucionar o setor, aumentando a competitividade e mostrando às demais empresas que seus processos podem sim, e precisam ser aperfeiçoados.

Espera-se que seja apenas questão de tempo até que os tomadores de decisão do setor percebam os benefícios da aplicação das técnicas discutidas neste projeto na construção civil, o que certamente aumentaria a competitividade, melhoraria os resultados, aumentaria os lucros, e poderia vir a reduzir os preços ao consumidor final, ajudando na redução do déficit imobiliário brasileiro.

LISTA DE REFERÊNCIAS

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção**, Bookman, Porto Alegre, 1997

SOUZA, U. E. L. ; PALIARI, J. C. ; AGOPYAN, V. . **O custo do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Qualidade na Construção, São Paulo, v. 21, p. 64 – 66

COSTA, M. L. S.; ROSA, V. L. **5 S no Canteiro**, Editora Nome da Rosa, São Paulo, 1999

ROTONDARO, Roberto. **Seis Sigma: Estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**, São Paulo, Ed. Atlas, 2002

LIKER, Jeffrey; WOMACK, James. **Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers**, Productivity Press Inc., 1997

COX III, James; SPENCER, Michael. **Manual de Teoria das restrições**, Bookman, 2002

COX III, James; BLACKSTONE, John. **APICS Dictionary**, 12ed, 2008

KOSKELA, Lauri. **Technical Report #72, Application of the New Production Philosophy to Construction**, FIFE, 1992

HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn. **What is Lean Construction**, 1999

HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn. **Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow**, 1997

HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn. **The Last Planner Systems of Production Control**, University of Birmingham, 2000

HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn. **Lean production theory: Moving beyond “Can-Do”**, 1997

HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn. **Design of Construction Operations - LCI White Paper-4**, Portland, 1999

CONTE, Antonio; GRANSBERG, Douglas. **LEAN CONSTRUCTION: From Theory to Practice - A Managerial Approach**, 2001

SENGE, Peter M. **A Quinta Disciplina : Arte e Prática da Organização que aprende**, 24ed, 2006

APÊNDICE A – Primeira iteração da solução

Pedreiro 1		Pedreiro 2		Pedreiro 3		Pedreiro 4		Pedreiro 5											
Parede	Fase	Area [m ²]	HH aplic	Parede	Fase	Area [m ²]	HH aplic	Parede	Fase	Area [m ²]	HH aplic	Parede	Fase	Area [m ²]	HH aplic				
1A	F1	3,17	0,11 1B	F1	F1	3,17	0,11 10B	F1	F1	3,38	0,11 2B	F1	F1	0,89	0,03 5A				
18ABC	F1	6,66	0,22 18DEF	F1	F1	6,66	0,22 22B	F1	F1	3,62	0,12 32	F1	F1	2,49	0,08 21A				
6A	F1	2,70	0,09 20C	F1	F1	2,93	0,10 23B	F1	F1	4,74	0,14 14	F1	F1	2,95	0,10 22A				
20A	F1	3,58	0,12 20D	F1	F1	3,58	0,12 11	F1	F1	2,21	0,07 15A	F1	F1	1,87	0,06 23A				
20B	F1	2,93	0,10 5B	F1	F1	2,70	0,09 26	F1	F1	1,33	0,04 15B	F1	F1	1,87	0,06 10A				
7A	F1	0,52	0,02 7B	F1	F1	0,52	0,02 13	F1	F1	7,57	0,25 34	F1	F1	0,93	0,03 3A				
19A	F1	1,02	0,03 19B	F1	F1	1,02	0,03 30B	F1	F1	0,52	0,02 25	F1	F1	1,33	0,04 12				
8A	F1	3,06	0,10 8B	F1	F1	3,06	0,10 33B	F1	F1	3,84	0,13 16A	F1	F1	4,08	0,14				
17A	F1	3,75	0,13 5B	F1	F1	1,78	0,06 4B	F1	F1	3,81	0,13 16B	F1	F1	3,48	0,12				
17B	F1	5,03	0,17 21B	F1	F1	4,15	0,14 31B	F1	F1	2,70	0,09 30A	F1	F1	0,52	0,02				
				3B	F1	3,54	0,12 2B	F1	F1	2,30	0,08 31A	F1	F1	2,70	0,09				
								9B	F1	3,84	0,13 33A	F1	F1	3,84	0,13				
										3,17	0,11 4A	F1	F1	3,81	0,13				
								24B	F1	3,84	0,13 9A	F1	F1	3,17	0,11				
										24A	F1	F1	3,84	0,13					
										29A	F1	F1	3,84	0,13					
										2A	F1	F1	2,30	0,08					
TOTAL	10	32,41	1,08	11	*	33,09	1,10	14	-	46,27	1,54	17	-	43,94	1,46	7	-	24,12	0,80

APÊNDICE B – Segunda iteração da solução

Dia 1															
Pedreiro 1			Pedreiro 2			Pedreiro 3			Pedreiro 4			Pedreiro 5			
Parede	Fase	Área [m ²]	HH aplic	Parede	Fase	Área [m ²]	HH aplic	Parede	Fase	Área [m ²]	HH aplic	Parede	Fase	Área [m ²]	HH aplic
1A	F1	3,17	0,11	1B	F1	3,17	0,11	10B	F1	3,38	0,11	15A	F1	1,87	0,06
1BABC	F1	6,66	0,22	18DEF	F1	6,66	0,22	22B	F1	3,62	0,12	15B	F1	1,87	0,06
6A	F1	2,70	0,09	20C	F1	2,93	0,10	23B	F1	4,14	0,14	34	F1	0,93	0,03
20A	F1	3,58	0,12	20D	F1	3,58	0,12	11	F1	2,21	0,07	16A	F1	4,08	0,14
20B	F1	2,93	0,10	6B	F1	2,70	0,09	26	F1	1,33	0,04	16B	F1	3,48	0,12
7A	F1	0,52	0,02	7B	F1	0,52	0,02	13	F1	7,57	0,25	30A	F1	0,52	0,02
19A	F1	1,02	0,03	19B	F1	1,02	0,03	30B	F1	0,52	0,02	31A	F1	2,70	0,09
8A	F1	3,06	0,10	8B	F1	3,06	0,10	33B	F1	3,84	0,13	33A	F1	3,84	0,13
17A	F1	3,75	0,13	5B	F1	1,78	0,06	4B	F1	3,81	0,13	4A	F1	3,81	0,13
17B	F1	5,03	0,17	21B	F1	4,15	0,14	31B	F1	2,70	0,09	9A	F1	3,17	0,11
				3B	F1	3,54	0,12	2B	F1	2,30	0,08	24A	F1	3,84	0,13
								29B	F1	3,84	0,13	29A	F1	3,84	0,13
								9B	F1	3,17	0,11	2A	F1	2,30	0,08
								24B	F1	3,84	0,13				
TOTAL	10	32,41	1,08	11	-	33,09	1,10	14	-	46,27	1,54	13	-	36,27	1,21
														32,33	1,08

APÊNDICE D – Solução final

PAINEL DE CONTROLE				ÁREA TOTAL		Fase		
DIA	Área [m²]	Total ac.	%	ÁREA TOTAL		Faixas	m2/dia	
DIA 1	152,41	152,41	39%	390,81		F1	6	30
DIA 2	134,63	287,04	73%			F2	4	28
DIA 3	103,76	390,81	100%			F3	3	24
TOTAL	390,81	390,81	100,0%			TOTAL		13

DIA 1		DIA 2		DIA 3		TOTAL	
Área [m²]	Total ac.						
17,25	17,25	0,42	17,67	1,01	18,68	0,42	18,10
14	31,25	22,70	53,95	0,84	54,79	11	65,79
20,86	74,61	0,80	75,41	13	88,41	21,22	109,63
11	85,67	0,77	86,44	12	98,64	21,72	120,36
0,80	87,44	0,80	88,24	105	89,29	0,80	90,09

DIA 1		DIA 2		DIA 3		TOTAL	
Área [m²]	Total ac.						
1,29	1,29	0,07	1,36	0,09	1,45	0,09	1,54
1,11	2,47	0,08	2,55	0,10	2,65	0,10	2,75
1,58	4,05	0,07	4,12	0,11	4,23	0,11	4,34
4,44	8,49	0,16	8,65	0,21	8,86	0,21	9,07
1,30	9,79	0,14	9,93	0,18	10,11	0,18	10,29
1,80	11,59	0,08	11,67	0,09	11,76	0,09	11,85
1,30	12,89	0,09	12,98	0,10	13,08	0,10	13,18
0,52	13,40	0,01	13,41	0,02	13,43	0,02	13,45
0,26	13,66	0,01	13,67	0,02	13,69	0,02	13,71
2,04	15,70	0,07	15,77	0,10	15,87	0,10	15,97
1,53	17,23	0,05	17,28	0,06	17,34	0,06	17,40
0,68	17,92	0,02	17,94	0,03	17,97	0,03	18,00
0,51	18,43	0,02	18,45	0,02	18,47	0,02	18,49
1,88	20,31	0,08	20,39	0,08	20,47	0,08	20,55

APÊNDICE F – Necessidades de tijolos por parede

Parede	14x19x54	14x19x39	14x19x34	14x19x19	14x19x14	Ajustes	Total
1A	0	57	4	8	0	4	73
1B	0	57	4	8	0	4	73
2A	0	34	12	6	0	0	52
2B	0	34	12	6	0	0	52
3A	10	51	11	3	10	18	103
3B	10	51	11	3	10	18	103
4A	6	52	13	4	5	6	86
4B	6	52	13	4	5	6	86
5A	5	5	16	10	6	16	58
5B	5	5	16	10	6	16	58
6A	0	49	12	0	0	11	72
6B	0	49	12	0	0	11	72
7A	0	0	0	5	0	10	15
7B	0	0	0	5	0	10	15
8A	5	49	1	11	0	10	76
8B	5	49	1	11	0	10	76
9A	5	38	5	6	0	21	75
9B	5	38	5	6	0	21	75
10A	22	32	0	11	5	12	82
10B	22	32	0	11	5	12	82
11	5	32	1	6	0	10	54
12	22	38	0	5	0	22	87
13	29	109	16	0	0	44	198
14	1	43	16	0	5	5	70
15A	12	20	0	0	0	12	44
15B	12	20	0	0	0	12	44
16A	9	65	17	0	5	0	96
16B	14	49	11	0	0	11	85
17A	3	77	6	0	0	11	97
17B	18	89	0	0	0	11	118
18ABC	21	100	1	9	1	9	141
18DEF	20	100	1	9	1	9	140
19A	0	5	5	6	0	15	31
19B	0	5	5	6	0	15	31
20A	11	51	12	3	0	3	80
20B	9	42	10	3	0	2	66
20D	11	51	12	3	0	3	80
20C	9	42	10	3	0	2	66
21A	7	38	6	4	1	9	65
21B	7	38	6	4	1	9	65
22A	6	33	5	3	1	8	56

22B	6	33	5	3	1	8	56
23A	7	38	6	4	1	9	65
23B	7	38	6	4	1	9	65
24A	7	35	5	3	1	8	59
24B	7	35	5	3	1	8	59
25	2	12	1	1	0	3	19
26	2	12	1	1	0	3	19
27	1	5	0	0	0	1	7
28	2	8	1	0	0	2	13
29A	7	35	5	3	1	8	59
29B	7	35	5	3	1	8	59
30A	1	4	0	0	0	1	6
30B	1	4	0	0	0	1	6
31A	5	25	4	2	0	6	42
31B	5	25	4	2	0	6	42
32	4	23	3	2	0	5	37
33A	7	35	5	3	1	8	59
33B	7	35	5	3	1	8	59
34	2	8	1	0	0	2	13
Total	419	2226	350	229	76	542	3842