

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

**Lucas Freitas Amorim**

**ESTUDO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA  
EXECUÇÃO NO SISTEMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL  
EM OBRAS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**

Porto Alegre  
dezembro 2010

**LUCAS FREITAS AMORIM**

**ESTUDO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA  
EXECUÇÃO NO SISTEMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL  
EM OBRAS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**

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

**Orientador: Ruy Alberto Cremonini**  
**Coorientador: Cristiano Richter**

Porto Alegre  
dezembro 2010

**LUCAS FREITAS AMORIM**

**ESTUDO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA  
EXECUÇÃO NO SISTEMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL  
EM OBRAS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**

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

Porto Alegre, dezembro de 2010

Prof. Ruy Alberto Cremonini  
Dr. pela EPUSP  
Orientador

Prof. Cristiano Richter  
Mestre pela UFRGS  
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Maurício Moreira e Silva Bernardes  
(UFRGS)**  
Dr. pela UFRGS

**Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (UCS)**  
Mestre pela UFRGS

**Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)**  
Dr. pela EPUSP

**Prof. Cristiano Richter (UNISINOS)**  
Mestre pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Lourival e Helena, e ao meu irmão, Guilherme, por todo apoio, amor, incentivo e compreensão no período de meu Curso de Graduação

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pelo incentivo, conselhos, tempo dedicado e por ter acreditado em meu trabalho.

Agradeço ao Prof. Cristiano Richter, coorientador deste trabalho, pelo estímulo e pelas considerações de grande contribuição ao desenvolvimento do trabalho.

Agradeço à professora Carin Maria Schmitt pela atenção, sugestões e ensinamentos ao longo de todo Trabalho de Diplomação.

À minha família que sempre esteve ao meu lado, por todo apoio e incentivo nos momentos de maiores dificuldades. Em especial aos meus pais, Lourival e Helena, e ao meu irmão, Guilherme, por todo carinho e amor incondicional.

À gurizada, pelo apoio, amizade e momentos de descontração proporcionados durante todo o período de Graduação.

À construtora que permitiu a realização deste trabalho.

Há muitas maneiras de avançar, mas só uma maneira de  
ficar parado.

*Franklin D. Roosevelt*

## RESUMO

AMORIM, L. F. **Estudo do processo de planejamento da execução no sistema de alvenaria estrutural em obras de múltiplos pavimentos**. 2010. 87 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O sistema construtivo de alvenaria estrutural vem se tornando uma alternativa cada vez mais utilizada em obras na construção civil. É um sistema construtivo racionalizado que unifica as etapas da construção e pode apresentar muitas vantagens, como a economia de equipes de aço e de fôrmas, e algumas desvantagens, como a impossibilidade de um rearranjo arquitetônico da edificação. Os componentes utilizados na execução de paredes de alvenaria são os blocos estruturais, argamassa de assentamento, graute e armaduras. As etapas de execução da alvenaria são a marcação e elevação de alvenaria. Na elevação destaca-se o processo de grauteamento, que necessita de alto controle de execução por representar um reforço na resistência à compressão das paredes. À medida que objetivo do trabalho é determinar a eficácia de um sistema de planejamento executivo implementado através de indicadores de produtividade e tempo de ciclo, é importante o entendimento de alguns conceitos básicos de Planejamento e Controle da Produção e *Lean Construction*. Este embasamento teórico facilitou a definição das ferramentas e estratégias de planejamento executivo que foram implementadas e tiveram sua eficiência mensurada. Estas ferramentas e procedimentos referem-se à composição e dimensionamento das equipes, plano de ataque à alvenaria, sequência de execução, abastecimento de materiais e adoção de grauteamento bombeado. Os indicadores de produtividade utilizados no controle foram gerados com o auxílio de uma ferramenta denominada cartão da produção, que fornece as datas de início e conclusão dos serviços e o número de horas trabalhadas pelos profissionais. Com a definição dos procedimentos e ferramentas implementados e dos indicadores de desempenho utilizados, realizou-se o acompanhamento da obra em diferentes realidades de produção. Com isto, puderam-se comparar estas realidades distintas de produção e determinar a eficácia do que foi implementado. Como resultado, constatou-se que este planejamento de execução implantado foi eficaz, representando redução nos ciclos de execução e evolução na produtividade dos profissionais, destacando-se o grauteamento bombeado que, dentre as ferramentas e estratégias propostas, foi a que apresentou uma melhora mais significativa.

Palavras-chave: alvenaria estrutural; planejamento de execução; produtividade.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: esquema do delineamento de pesquisa.....	15
Figura 2: modelos de blocos cerâmicos utilizados.....	23
Figura 3: modelos de blocos de concreto utilizados.....	24
Figura 4: etapas de marcação da primeira fiada.....	30
Figura 5: elevação da alvenaria de algumas paredes.....	32
Figura 6: operações de grauteamento.....	34
Figura 7: modelo de escada pré-moldada .....	36
Figura 8: etapas de planejamento e controle da produção.....	41
Figura 9: exemplo de planejamento semanal de curto prazo.....	44
Figura 10: torres com elevadores de carga de transporte vertical.....	51
Figura 11: ciclo intercalado da estrutura em duas torres.....	57
Figura 12: dimensionamento da equipe de elevação da alvenaria .....	58
Figura 13: mapa de ataque e sequencia de execução da alvenaria.....	60
Figura 14: materiais necessários para execução de paredes de alvenaria.....	62
Figura 15: <i>layout</i> do canteiro da obra em estudo.....	63
Figura 16: cartão do Kanban de elevação da alvenaria.....	64
Figura 17: cartão do Kanban de marcação da alvenaria.....	65
Figura 18: fases da operação de grauteamento bombeado.....	68
Figura 19: ciclos de execução nos cenários das torres A e B.....	79
Figura 20: produtividades médias dos pedreiros nos cenários das torres A e B.....	80
Figura 21: ciclos de execução nos cenários das torres C e D.....	82
Figura 22: produtividades médias dos pedreiros nos cenários das torres C e D.....	82

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: resultados do cenário 1 para torres A e B.....	71
Quadro 2: resultados do cenário 1 para torres C e D.....	72
Quadro 3: resultados do cenário 2 para torres A e B.....	74
Quadro 4: resultados do cenário 2 para torres C e D.....	74
Quadro 5: resultados do cenário 3 para torres A e B.....	76
Quadro 6: resultados do cenário 3 para torres C e D.....	77
Quadro 7: resumo da aplicação das estratégias de planejamento nos cenários.....	78
Quadro 8: comparação de resultados entre cenários das torres A e B.....	78
Quadro 9: comparação de resultados entre cenários das torres C e D.....	81

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	13
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	13
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	13
<b>2.2.2 Objetivos secundários</b> .....	13
2.3 DELIMITAÇÕES.....	14
2.4 LIMITAÇÕES .....	14
2.5 DELINEAMENTO DE PESQUISA.....	14
<b>3 SISTEMA CONSTRUTIVO ALVENARIA ESTRUTURAL</b> .....	17
3.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA .....	17
3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA .....	18
<b>3.2.1 Vantagens do sistema de alvenaria estrutural</b> .....	19
<b>3.2.2 Desvantagens do sistema de alvenaria estrutural</b> .....	20
3.3 COMPONENTES DO SISTEMA.....	21
<b>3.3.1 Unidades de alvenaria</b> .....	21
3.3.1.1 Unidades cerâmicas .....	22
3.3.1.2 Unidades de concreto .....	23
<b>3.3.2 Argamassa de assentamento</b> .....	24
<b>3.3.3 Graute</b> .....	25
<b>3.3.4 Armadura</b> .....	26
3.4 FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS .....	26
3.5 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO SISTEMA .....	28
<b>3.5.1 Marcação de primeira fiada</b> .....	28
<b>3.5.2 Elevação da alvenaria</b> .....	30
3.5.2.1 Processo de grauteamento .....	32
3.5.2.2 Instalações .....	34
3.5.2.3 Elementos pré-moldados .....	35
<b>4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO</b> .....	37
4.1 A CONTEXTUALIZAÇÃO.....	37
4.2 CONCEITO DE PLANEJAMENTO .....	38
4.3 DIMENSÕES DE PLANEJAMENTO .....	39
<b>4.3.1 Dimensão horizontal de planejamento</b> .....	39

<b>4.3.2 Dimensão vertical de planejamento.....</b>	<b>41</b>
4.3.2.1 Planejamento de longo prazo.....	42
4.3.2.2 Planejamento de médio prazo.....	42
4.3.2.3 Planejamento de curto prazo.....	43
4.4 <i>LEAN CONSTRUCTION</i> .....	44
4.5 VÍNCULO DO PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA IMPLEMENTADO COM PCP E <i>LEAN CONSTRUCTION</i> .....	46
4.6 PRODUTIVIDADE.....	47
<b>5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....</b>	<b>50</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA EM ESTUDO.....	50
5.2 FERRAMENTAS DE CONTROLE E AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	52
5.3 PLANEJAMENTO EXECUTIVO PROPOSTO.....	55
<b>5.3.1 Composição e dimensionamento de equipes.....</b>	<b>56</b>
<b>5.3.2 Plano de ataque à alvenaria e sequencia de execução.....</b>	<b>59</b>
<b>5.3.3 Ferramentas de abastecimento de materiais.....</b>	<b>62</b>
<b>5.3.4 Operação de grauteamento.....</b>	<b>67</b>
<b>6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
6.1 CENÁRIO 1.....	69
<b>6.1.1 Cenário 1 nas torres A e B.....</b>	<b>70</b>
<b>6.1.2 Cenário 1 nas torres C e D.....</b>	<b>72</b>
6.2 CENÁRIO 2.....	73
<b>6.2.1 Cenário 2 nas torres A e B.....</b>	<b>73</b>
<b>6.2.2 Cenário 2 nas torres C e D.....</b>	<b>74</b>
6.3 CENÁRIO 3.....	75
<b>6.3.1 Cenário 3 nas torres A e B.....</b>	<b>76</b>
<b>6.3.2 Cenário 3 nas torres C e D.....</b>	<b>76</b>
6.4 COMPARAÇÕES ENTRE RESULTADOS DE DIFERENTES CENÁRIOS.....	77
<b>6.4.1 Comparação entre cenários das torres A e B.....</b>	<b>78</b>
<b>6.4.2 Comparação entre cenários das torres C e D.....</b>	<b>81</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>84</b>
REFERÊNCIAS.....	86



## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais na construção civil as empresas têm mostrado uma maior preocupação com a gestão de seus processos produtivos nos canteiros de obras. Com a crescente competitividade do mercado e as maiores exigências por parte dos clientes, o enfoque na produção deve ser maior, visando o controle de desperdícios, qualidade, prazo e custo, permitindo que a empresa perpetue-se no mercado. O planejamento de execução das atividades, através de um melhor gerenciamento das equipes de produção e dos fluxos de materiais e equipamentos, vem sendo implementado pelas empresas como forma de aprimorar o desempenho dos processos produtivos.

A alvenaria estrutural, como um sistema construtivo atual e corrente na construção civil, deve ser utilizada em sua total capacidade, de forma racionalizada, com todos seus benefícios. Para que isto ocorra, uma gestão sobre todos os aspectos produtivos do sistema deve acontecer. Não basta apenas focar nos aspectos técnicos e de projeto do sistema e não gerenciar e planejar sua execução. Este trabalho de pesquisa estuda um sistema de planejamento de execução implementado no processo de alvenaria estrutural, através de uma série de procedimentos, estratégias e ferramentas propostos, que teve sua eficácia mensurada através de indicadores de produtividade e tempo de ciclo. A escolha deste tema se deve à falta de diretrizes que os profissionais que atuam nos canteiros de obras possam seguir em relação ao planejamento executivo no processo de alvenaria estrutural. Os conhecimentos em relação a projetos e técnicas de execução são mais difundidos, contudo, quando analisam diretrizes a serem seguidas quanto ao planejamento das etapas de produção, os profissionais da área encontram maiores dificuldades.

Primeiramente, é apresentado no capítulo 2 como se desenvolveu o trabalho, através de sua questão de pesquisa, objetivos, limitações, delimitações e delineamento da pesquisa realizada. No capítulo 3 é apresentada a descrição do sistema construtivo alvenaria estrutural. A caracterização de seus principais componentes e ferramentas, os ganhos e vantagens que pode apresentar quando adotado, as limitações construtivas que apresenta e devem ser consideradas para que o sistema apresente benefícios, e o detalhamento de todas as etapas construtivas são alguns dos itens abordados. Posteriormente, no capítulo 4, faz-se uma apresentação de

conceitos de Planejamento e Controle da Produção e de *Lean construction* necessários ao desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 5, da estratégia de pesquisa do trabalho, são apresentados conceitos de produtividade, um dos indicadores de avaliação da eficácia no trabalho, a caracterização da obra estudada, as ferramentas e instrumentos de controle da produtividade utilizados, como cartão de produção, e os procedimentos de coleta destes dados. Estes controles avaliam a produtividade e o ciclo de execução das etapas da alvenaria nos pavimentos. Com o embasamento teórico referenciado anteriormente, foram determinadas as ferramentas, procedimentos e estratégias de planejamento executivo que foram analisadas na obra em estudo. Os controles, naturalmente, foram realizados antes e depois da implementação do planejamento de execução, para que se pudesse ter um comparativo de realidades distintas. As ferramentas e procedimentos de planejamento da produção que tiveram sua eficácia mensurada referem-se ao dimensionamento e distribuição do efetivo, composição de equipes, processo de elevação da alvenaria, plano de ataque à alvenaria, sequência de execução das vistas, abastecimento de materiais e utilização de grauteamento bombeado.

No capítulo 6 são apresentados os resultados encontrados. Para realização da análise e interpretação destes, dividiu-se os pavimentos em diferentes cenários, que representam realidades distintas de produção existentes. Estas realidades diferem-se quanto ao grau de aplicação das ferramentas e procedimentos do sistema de planejamento executivo proposto. Também se analisou separadamente as torres A e B das torres C e D, à medida que estas possuíam equipes de produção distintas. A partir da definição destes cenários, e com o auxílio dos indicadores de produtividade e tempo de ciclo, pôde-se comparar as diferentes realidades e mensurar a eficácia do sistema de planejamento de execução implementado. No último capítulo são realizadas as considerações finais sobre o trabalho, a partir da análise dos resultados obtidos, verificando se os objetivos propostos inicialmente foram atingidos.

## **2 MÉTODO DE PESQUISA**

Este capítulo apresenta como se realizou o desenvolvimento do trabalho, com seus objetivos, questão de pesquisa, delimitações, limitações e o delineamento da pesquisa.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual é a eficácia da implementação de um sistema de planejamento de execução no sistema de alvenaria estrutural em edificações de múltiplos pavimentos?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação da eficácia da implementação de um sistema de planejamento de execução no processo de alvenaria estrutural através da análise da produtividade e dos ciclos de execução no sistema.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) descrição do sistema construtivo de alvenaria estrutural observado no canteiro de obras;
- b) proposição de diretrizes a serem implementadas para aprimoramento do sistema de planejamento no processo executivo de alvenaria estrutural.

## 2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a uma obra constituída de quatro edifícios construída no sistema de alvenaria estrutural, executada no município de Porto Alegre/RS.

## 2.4 LIMITAÇÕES

As limitações deste trabalho são:

- a) descrição do sistema de alvenaria estrutural com métodos, componentes e ferramentas aplicados no canteiro da obra estudada;
- b) sistema construtivo de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos;
- c) a avaliação da eficácia do sistema de planejamento implementado se dará exclusivamente pela análise da sua produtividade e tempo de ciclo das etapas de execução;
- d) o autor trabalha como estagiário na obra estudada e isto pode representar um viés para a pesquisa.

## 2.5 DELINEAMENTO DE PESQUISA

As etapas da pesquisa, com um esquema do delineamento (figura 1), estão discriminadas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) identificação e caracterização da obra estudada e do sistema alvenaria estrutural aplicado na mesma;
- c) elaboração e descrição das ferramentas e instrumentos de controle da produtividade;

- d) determinação e descrição dos procedimentos, estratégias e ferramentas de planejamento de execução implementados na obra em estudo;
- e) acompanhamento da obra em estudo antes da implementação do planejamento executivo proposto;
- f) implementação das ferramentas e procedimentos do planejamento de execução no sistema de alvenaria estrutural na obra estudada;
- g) acompanhamento da obra em estudo após a implementação deste planejamento de execução no processo de alvenaria estrutural;
- h) análise e avaliação dos resultados;
- i) considerações finais.

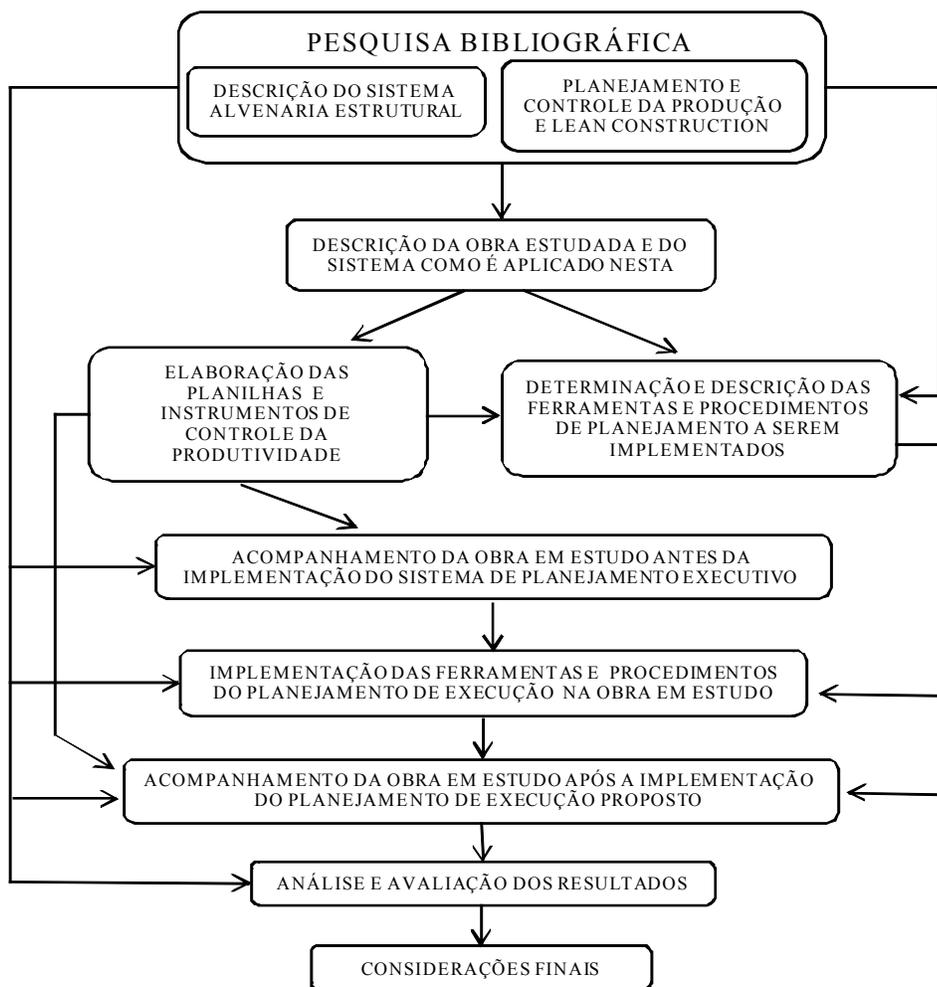


Figura 1: esquema do delineamento de pesquisa

Com o objetivo de dar um embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho, primeiramente realizou-se uma revisão bibliográfica. Esta se constitui em um estudo teórico da descrição do sistema construtivo alvenaria estrutural, detalhando suas vantagens e desvantagens, componentes utilizados e etapas construtivas. Conceitos de Planejamento e Controle da Produção e *Lean Construction*, como os níveis de planejamento e a análise de processo e operação, também são apresentados, pois são relevantes ao resto do trabalho.

Após a consolidação desta base teórica, realizou-se a descrição da obra em estudo e de como o sistema alvenaria estrutural é aplicado nesta, com a apresentação de ferramentas e equipamentos de execução específicos da obra. À medida que produtividade e ciclo de execução das etapas são os indicadores de desempenho utilizados para avaliar a eficácia do sistema de planejamento executivo proposto, foi necessária a elaboração de planilhas e instrumentos de controle. A ferramenta de controle utilizada para gerar estes indicadores foi o cartão de produção, que auxiliou na coleta dos dados necessários em obra.

Após a definição destes instrumentos de controle, determinou-se os procedimentos e ferramentas de planejamento de execução que foram implementados na obra em estudo objetivando uma melhora de desempenho na execução da alvenaria estrutural. Com a determinação destas ferramentas e estratégias de planejamento e com o auxílio das planilhas de controle elaboradas, pôde-se iniciar o acompanhamento e coleta de dados da produção de alvenaria. Este acompanhamento foi realizado durante a execução da alvenaria na obra, anterior e posteriormente à aplicação do planejamento executivo proposto. Desta forma, procurou-se obter dados em diferentes realidades de produção, que foram comparadas, avaliando assim os benefícios alcançados com o planejamento proposto.

No final, a partir dos dados coletados, foram analisados os resultados obtidos. Para isso, dividiram-se os pavimentos em cenários que reflitam as diferentes realidades de produção, comparando e avaliando, com auxílio dos indicadores existentes, a eficácia das ferramentas e estratégias do sistema de planejamento executivo. Com os resultados definidos, foram realizadas as conclusões finais sobre o trabalho, avaliando se o que se procurou implantar condiz com os resultados encontrados.

### 3 SISTEMA CONSTRUTIVO DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Este capítulo tem a finalidade de descrever o sistema construtivo alvenaria estrutural como um todo, com suas vantagens e desvantagens, componentes, ferramentas e processo de execução. Isto permitiu que se tivesse um embasamento teórico do sistema auxiliando na determinação de procedimentos e ferramentas de planejamento executivo implementados nesse processo.

#### 3.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA

A alvenaria estrutural é um sistema com alto grau de racionalização que vem se perpetuando no mercado devido aos diversos benefícios que pode apresentar. Este sistema unifica etapas da obra, resultando em uma construção mais rápida, econômica, sem desperdícios e com alto padrão de qualidade (ROMAN et al., 1999). Segundo Manzione (2007, p. 13), este sistema exige grande integração de projetos, mantendo o foco na produção e sendo responsável por organizar todos os outros subsistemas da edificação. Se utilizado plenamente, este sistema pode gerar grande economia e diversas vantagens na execução da obra.

O sistema construtivo de alvenaria estrutural parte de uma premissa básica que é transformar toda alvenaria da edificação na estrutura portante da mesma (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 9). Desta forma, Manzione (2007, p. 13-14) afirma que “[...] as paredes cumprem a função de integrar a vedação e a estrutura. Por cumprir esta dupla função (a de estrutura e de vedação), há uma redução significativa nas etapas e no tempo de execução da alvenaria estrutural, já que toda a estrutura convencional é eliminada.”. O mesmo autor indica que por sistema construtivo convencional entende-se a estrutura cujos principais elementos sejam pilares, vigas e laje de concreto armado e alvenaria de vedação.

Apesar destes benefícios econômicos e de prazo existentes na escolha do sistema, identificam-se alguns cuidados que se deve tomar quando da aplicação do mesmo. O controle perfeito da resistência da alvenaria, de forma a garantir a segurança da edificação, e também o controle

sobre os materiais e a execução do sistema, que deve ser muito bem realizada, constituem alguns destes cuidados (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 9).

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003, p. 9-10) são muitos os benefícios, principalmente econômicos, que se têm quando da adoção da alvenaria estrutural no lugar da estrutura convencional de concreto armado. Contudo, deve-se atentar para alguns aspectos importantes, referentes às características da edificação a ser construída, que se não forem considerados no momento da escolha do sistema, podem transformar a alvenaria estrutural em um processo mais oneroso do que o convencional. Estes autores citam:

a) altura da edificação: [...] considerando-se os parâmetros atuais no Brasil, pode-se afirmar que a alvenaria estrutural é adequada a edifícios de no máximo 15 ou 16 pavimentos. Para estruturas com um número de pavimentos acima desse limite, a resistência a compressão dos blocos encontrados no mercado não permite que a obra seja executada sem um esquema de grauteamento generalizado, o que prejudica muito a economia. [...];

b) arranjo arquitetônico: É claro que as afirmações feitas no item anterior referem-se a edifícios usuais. Para arranjos arquitetônicos que fujam desses padrões usuais, a situação pode ser um pouco melhor, ou bem pior. Nesse caso é importante se considerar a densidade de paredes estruturais por m<sup>2</sup> de pavimento. Um valor indicativo razoável é que haja de 0,5 a 0,7 m de paredes estruturais por m<sup>2</sup> de pavimento. Dentro desses limites, a densidade de paredes pode ser considerada usual e as condições para seu dimensionamento também refletirão esta condição;

c) tipo de uso: [...] é importante ressaltar que para edifícios comerciais ou residenciais de alto padrão, onde seja necessária a utilização de vãos grandes, esse sistema construtivo normalmente não é adequado. A alvenaria estrutural é muito mais adequada a edifícios residenciais de padrão médio ou baixo, onde os ambientes, e também os vãos, são relativamente pequenos.

Em especial para edifícios comerciais, é desaconselhável o uso indiscriminado da alvenaria estrutural. Neste tipo de edificação é muito usual a necessidade de rearranjo das paredes internas de forma a acomodar empresas de diversos portes. A adoção de alvenarias estruturais para esses casos seria inconveniente, pois essa flexibilidade deixa de existir. Pode-se inclusive considerar que sua adoção seja perigosa, pois com o tempo é provável que proprietários realizem modificações sem estarem conscientes dos riscos que correm.

### 3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo com alto grau de racionalização que apresenta diversos outros benefícios quando da sua adoção. Contudo ele também possui algumas desvantagens que devem ser contabilizadas e analisadas cuidadosamente, para que não comprometam os ganhos deste sistema ao longo de sua utilização.

### 3.2.1 Vantagens do sistema de alvenaria estrutural

Conforme descrito anteriormente, a alvenaria estrutural proporciona benefícios em termos econômicos, de prazo e facilidades na execução da obra. Permite a racionalização de processos e contempla toda a estrutura da edificação, sem necessidade de pilares e vigas, como na estrutura convencional. De acordo com Ramalho e Corrêa (2003, p. 10-11), a seguir são apresentadas as principais vantagens do sistema de alvenaria estrutural em relação à estrutura convencional de concreto armado:

a) economia de fôrmas: quando existem, as fôrmas se limitam às necessárias para a concretagem das lajes. São, portanto, fôrmas lisas, baratas e de grande reaproveitamento;

b) redução significativa nos revestimentos: por se utilizar blocos de qualidade controlada e pelo controle maior na execução, a redução dos revestimentos é muito significativa. Usualmente o revestimento interno é feito com uma camada de gesso aplicada diretamente sobre a superfície dos blocos. No caso dos azulejos, eles também podem ser colados diretamente sobre os blocos;

c) redução nos desperdícios de material e mão de obra: o fato de as paredes não admitirem intervenções posteriores significativas, como rasgos ou aberturas para a colocação de instalações hidráulicas e elétricas, é uma importante causa da eliminação de desperdícios. Assim, o que poderia ser encarado como uma desvantagem, na verdade implica a virtual eliminação da possibilidade de improvisações, que encarecem significativamente o preço de uma construção;

d) redução do número de especialidades: deixam de ser necessários profissionais como armadores e carpinteiros;

e) flexibilidade no ritmo de execução da obra: se as lajes forem pré-moldadas, o ritmo da obra estará desvinculado do tempo de cura que deve ser respeitado no caso das peças de concreto armado.

Dos itens apresentados, pode-se perceber que, em termos gerais, a principal vantagem da utilização da alvenaria estrutural reside numa maior racionalidade do sistema executivo, reduzindo-se o consumo de materiais e desperdícios que usualmente se verificam em obras de concreto armado convencional.

Vieira (2006, p. 143-144), destaca ainda outras vantagens, além das já citadas anteriormente:

- a) a simultaneidade das etapas interdependentes de execução;
- b) economia na utilização de aço, assim como no caso das fôrmas, pela ausência de pilares e vigas para sustentação da estrutura;
- c) eliminação de retrabalhos, gerando maior produtividade e, conseqüentemente, redução no prazo de execução da estrutura;
- d) redução no número de especialidades de mão de obra;

- e) sistema construtivo mais seguro para o trabalhador, pois permite que este trabalhe sempre por dentro da alvenaria já elevada;
- f) sistema construtivo mais rápido, apresentando significativos ganhos econômicos.

### **3.2.2 Desvantagens do sistema de alvenaria estrutural**

Apesar do sistema de alvenaria estrutural trazer muitos benefícios para o construtor, existem algumas desvantagens que podem causar problemas durante a aplicação do sistema e comprometê-lo como um todo se não forem consideradas quando da adoção deste. Ramalho e Corrêa (2003, p. 11-12) apontam as seguintes como as principais desvantagens do sistema construtivo de alvenaria estrutural em relação à estrutura convencional:

- a) dificuldade de se adaptar arquitetura para um novo uso: fazendo as paredes parte da estrutura, obviamente não existe a possibilidade de adaptações significativas no arranjo arquitetônico. Em algumas situações isso se torna um problema bastante sério. Estudos realizados demonstram que ao longo de sua vida útil uma edificação tende a sofrer mudanças para se adaptar as novas necessidades de seus usuários. No caso da alvenaria isso não só é inconveniente como tecnicamente impossível na grande maioria dos casos;
- b) interferência entre projetos de arquitetura/estruturas/instalações: a interferência entre os projetos é muito grande quando se trata de uma obra em alvenaria estrutural. A manutenção do módulo afeta de forma direta o projeto arquitetônico e a impossibilidade de se furar paredes, sem um controle cuidadoso desses furos, condiciona de forma marcante os projetos de instalações elétricas e hidráulicas;
- c) necessidade de uma mão de obra bem qualificada: a alvenaria estrutural exige uma mão de obra qualificada e apta a fazer uso de instrumentos adequados para sua execução. Isso significa um treinamento prévio da equipe contratada para sua execução. Caso contrário, os riscos de falhas que comprometam a segurança da edificação crescem sensivelmente.

Dentre as desvantagens destaca-se a impossibilidade de se fazer rearranjos das paredes para uma nova finalidade, o que pode comprometer a segurança da estrutura e ser um grande problema, à medida que muitas vezes os usuários não têm este conhecimento. Esta importância da qualidade de execução da alvenaria também se reflete na compatibilização de projetos que deve existir, para que se possa evitar quebras, desperdícios e retrabalhos, que podem acarretar no comprometimento da segurança e do prazo da estrutura.

Além destas desvantagens descritas anteriormente, Manzione (2007, p. 16) destaca também:

- a) a limitação dos índices de esbeltez das edificações em alvenaria estrutural. Para elevados índices são requeridas grandes quantidades de aço, o que pode comprometer o custo da construção;
- b) o tamanho dos vãos, que não devem ser muito grandes, mesmo assim necessitando de elementos pré-moldados para dissipar as cargas. Se os vãos forem muito grandes podem ser necessários blocos de resistência maior;
- c) o problema de balanços, que não são recomendáveis, pois necessitariam de muita armadura para combater os esforços, comprometendo a economia da obra;
- d) a altura da edificação, que conforme já foi dito anteriormente, não deve ultrapassar 15 ou 16 pavimentos.

### 3.3 COMPONENTES DO SISTEMA

Segundo Camacho (2006, p. 9), existem alguns componentes básicos empregados na execução de edifícios em alvenaria estrutural:

- a) unidades (blocos estruturais);
- b) argamassa de assentamento;
- c) graute;
- d) armadura.

Além destes componentes também é frequente o uso de elementos pré-moldados na execução da alvenaria estrutural, como vergas e contra-vergas, de maneira a racionalizar o processo, facilitando o trabalho dos assentadores, diminuindo desperdícios e retrabalhos e contribuindo com o aumento da produtividade dos mesmos (CAMACHO, 2006, p. 9). Estes componentes são descritos nos próximos itens.

#### 3.3.1 Unidades de alvenaria

São as unidades básicas da alvenaria estrutural, sendo responsáveis pelas características de resistência da estrutura. Podem ser compostas de diversos materiais, contudo as mais utilizadas no Brasil são os blocos de concreto, cerâmicos e sílico-calcários (RAMALHO;

CORRÊA, 2003, p. 7). Roman et al. (1999, p. 22) indicam que “[...] para utilização em alvenaria estrutural, as unidades devem apresentar as seguintes qualidades: resistência à compressão, baixa absorção de água, durabilidade e estabilidade dimensional.”. Ramalho e Corrêa (2003, p. 7) afirmam que estas unidades “[...] podem ser maciças ou vazadas, sendo denominadas tijolos ou blocos, respectivamente.”.

A escolha por qualquer um destes tipos de blocos dependerá do local em que se estiver trabalhando, dos recursos disponíveis e das características da edificação. Então, poderá se tomar uma decisão de qual bloco será economicamente mais viável e se adaptará melhor ao projeto e características construtivas do empreendimento (ROMAN et al., 1999). As unidades de alvenaria cerâmicas e de concreto são descritas nos itens a seguir.

#### 3.3.1.1 Unidades cerâmicas

A NBR 15270-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 1) define “[...] bloco cerâmico estrutural como um componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém.”. Esta mesma Norma indica que os blocos devem ser assentados com os furos na vertical e recomenda que este deva ser fabricado por conformação plástica de matéria-prima argilosa queimada em altas temperaturas. Não são permitidos defeitos como quebras e deformações que comprometam sua utilização.

Conforme Roman et al. (1999, p. 22), “[...] a qualidade das unidades de cerâmica está intimamente relacionada à qualidade das argilas empregadas na fabricação e também no processo de produção. [...] Devido a isto, torna-se imprescindível a realização de ensaios de caracterização das unidades.”. Por serem as unidades que são empregadas no sistema de alvenaria estrutural na obra estudada, na figura 2 estão representados exemplos de blocos cerâmicos mais utilizados.

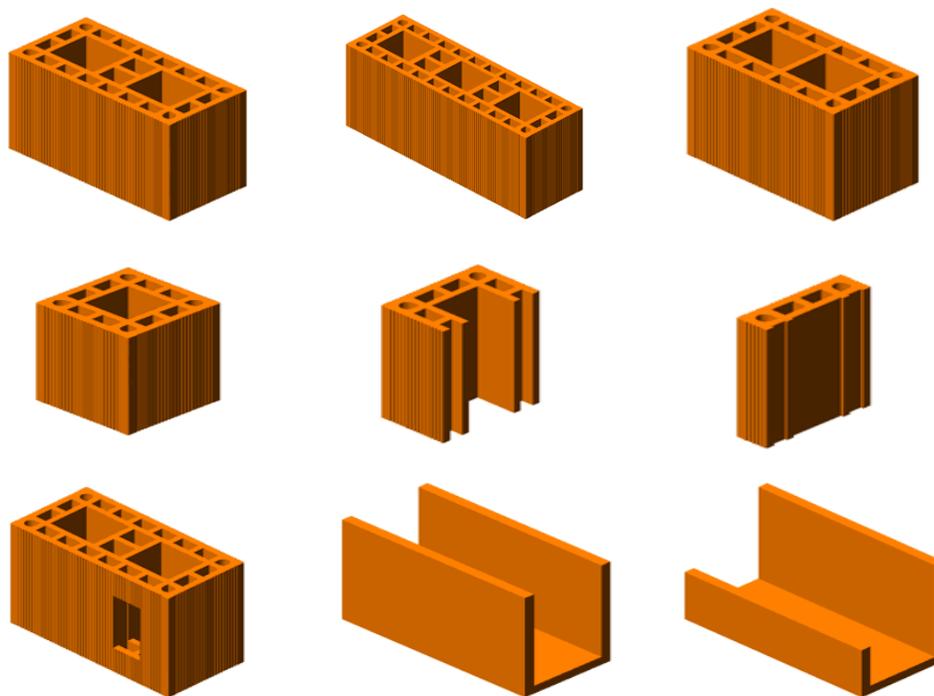


Figura 2: modelos dos blocos cerâmicos mais utilizados no sistema de alvenaria estrutural (baseado em PAULUZZI BLOCOS CERÂMICOS LTDA, 2009)

### 3.3.1.2 Unidades de concreto

Os blocos de concreto têm sido os mais utilizados no sistema de alvenaria estrutural (MANZIONE, 2007, p. 17). Estes blocos de concreto são elementos vibroprensados e constituídos de uma mistura de cimento Portland, agregados e água (MANZIONE, 2007, p. 17). Eles “[...] devem ter aspecto homogêneo, compacto e arestas vivas. Não devem apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e durabilidade da construção.” (ROMAN et al., 1999, p. 23). Manzione (2007, p. 17-18) explicita que a resistência característica à compressão dos blocos de concreto é especificada pelo fbk. Já Roman et al. (1999, p. 23) indicam que blocos de concreto chegam a resistências em média de 15 MPa, podendo atingir em casos especiais valores de até 20 MPa. A figura 3 indica alguns tipos de blocos de concreto utilizados no sistema alvenaria estrutural.

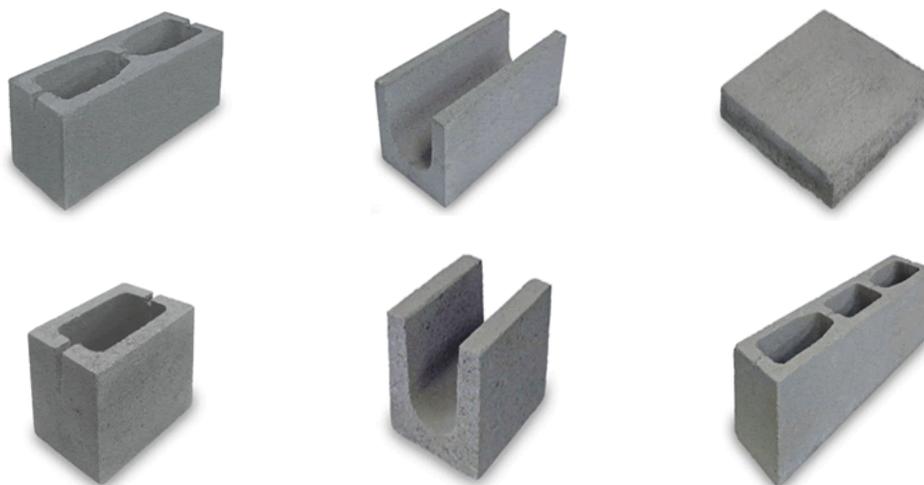


Figura 3: modelos de blocos de concreto utilizados no sistema alvenaria estrutural (baseado em TECMOLD PISOS E BLOCOS DE CONCRETO, 2010)

### 3.3.2 Argamassa de assentamento

Roman et al. (1999, p. 25) afirmam que “[...] a argamassa é o elemento de ligação das unidades de alvenaria em uma estrutura única, sendo normalmente constituída de cimento, areia e cal.”. As principais funções da argamassa de assentamento, conforme Ramalho e Corrêa (2003, p. 7-8), são:

- a) unir e solidarizar as unidades;
- b) transmitir e distribuir as cargas pela área das unidades de alvenaria;
- c) compensar imperfeições e irregularidades dimensionais dos blocos;
- d) absorver as deformações naturais de seu funcionamento;
- e) prevenir a entrada de água e vento nas edificações.

Para que a argamassa de assentamento possa desempenhar suas funções plenamente, permitindo a correta execução da alvenaria estrutural, com altos índices de produtividade e o menor índice de desperdício possível, ela deve ter uma série de características e propriedades:

- a) trabalhabilidade, para permitir bom assentamento da argamassa. A consistência ideal deve permitir que a argamassa se espalhe sobre o bloco e adira nas

superfícies verticais, não ocasionando o escorrimento de argamassa com o assentamento das fiadas subsequentes (ROMAN et. al., 1999, p. 25-26);

- b) alta retenção de água, para evitar a ocorrência de uma fraca ligação entre o bloco e a argamassa, pela sucção da água pelo bloco muito poroso, não permitindo a hidratação do cimento. A perda de água muito rápida também gera o endurecimento da argamassa, prejudicando o assentamento das fiadas seguintes (ROMAN et. al., 1999, p. 26);
- c) plasticidade, para absorver deformações sem fissuras (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 8);
- d) aderência, que é a principal característica de uma boa argamassa. É a capacidade de absorver esforços de cisalhamento e de tração (ROMAN et. al., 1999, p. 27);
- e) tempo de endurecimento, que é função da hidratação, ou seja, a reação química entre o cimento e a água. O endurecimento não pode ser muito rápido, porque gera problemas na execução do serviço, como no assentamento dos blocos, e nem muito lento, pois prejudica o andamento dos serviços, gerando tempos de espera dos assentadores para continuar a execução da alvenaria. Outros fatores, como temperatura e o grau de homogeneidade da argamassa, podem influenciar o tempo de endurecimento (ROMAN et. al., 1999, p. 27);
- f) durabilidade da argamassa (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 8);
- g) resistência à compressão, que não tem grande relevância no comportamento final da alvenaria. O que realmente são importantes são as características de aderência e plasticidade, que permitem que as tensões sejam transferidas de maneira uniforme. O acréscimo de cimento, gerando uma argamassa mais forte não implica necessariamente em parede mais forte. A argamassa ficará mais rígida, gerando retrações, que poderão ocasionar fissuras (ROMAN et al., 1999, p. 27-28; RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 8).

### 3.3.3 Graute

Segundo Manzione (2007, p. 21):

O graute é um microconcreto de alta plasticidade, cuja função principal é aumentar a resistência da parede à compressão, através do aumento da seção transversal do bloco. Quando combinado com o uso de armaduras em seu interior, o graute combaterá também os esforços de tração.

O graute é composto pelos mesmos materiais utilizados na produção do concreto convencional, com apenas algumas diferenças, como no tamanho do agregado, que é de

menor dimensão, e na relação água/cimento (ROMAN et al., 1999, p. 30). O graute é utilizado no preenchimento de pilaretes, vergas, contra-vergas e canaletas (ROMAN et al., 1999). Ramalho e Corrêa (2003, p. 8) observam que:

Considera-se que o conjunto bloco, graute e eventualmente armadura trabalhe monoliticamente, de maneira análoga ao que ocorre com o concreto armado. Para tanto, o graute deve envolver completamente as armaduras e aderir tanto a ela quanto ao bloco, de modo a formar um conjunto único.

É interessante, sob aspectos econômicos e de produtividade, que o calculista reduza ao mínimo a utilização de pontos de graute, pois a operação de grauteamento representa uma quebra no ritmo de produção da alvenaria (MANZIONE, 2007, p. 21). Pode ser interessante também a criação de uma equipe de grauteamento, que possa executar todos os serviços ligados a esta atividade, como limpeza das células, lançamento e adensamento do graute. Isto representa uma garantia de melhor qualidade nesta atividade, que tem importância vital em termos estruturais da edificação, e também a liberação dos assentadores para terem um foco exclusivo na produção da alvenaria.

### **3.3.4 Armadura**

Ramalho e Corrêa (2003, p. 8) afirmam que “[...] as barras de aço utilizadas nas construções em alvenaria são as mesmas utilizadas nas estruturas de concreto armado, mas, neste caso, serão sempre envolvidas por graute, para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria.”. Manzione (2007, p. 22) afirma que outra forma de armadura utilizada na alvenaria estrutural são os grampos, que são elementos de amarrações das paredes. Contudo, seu uso é fortemente desaconselhável, pois eles não geram uma redistribuição de tensões perfeitas, podendo originar manifestações patológicas na alvenaria.

## **3.4 FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS**

Os equipamentos e ferramentas adequados têm uma importância singular na execução de qualquer serviço. Na alvenaria estrutural não é diferente. O uso das ferramentas apropriadas para cada atividade pode representar um ganho significativo em termos de produtividade,

organização do serviço e mudança de postura do trabalhador (FARIA, 2004a). A seguir a apresentação das principais ferramentas utilizadas na execução da alvenaria estrutural:

- a) colher de pedreiro: utilizada na aplicação de argamassa para assentamento da primeira fiada, nos septos dos blocos e paredes transversais, e também para retirada do excesso de argamassa depois do assentamento dos blocos (MANZIONE, 2007, p. 91; FARIA, 2004a);
- b) fio traçante: utilizado na locação dos eixos, é um fio ao qual é incorporado um pó colorido, demarcando o eixo na laje, depois do rebatimento deste no chão (MANZIONE, 2007, p. 91);
- c) esticador de linha: serve alinhar e nivelar os blocos que serão assentados (MANZIONE, 2007, p. 91);
- d) broxa: utilizada para molhar a laje antes da aplicação de argamassa para assentamento dos blocos de primeira fiada (MANZIONE, 2007, p. 91);
- e) esquadro: utilizado na verificação da perpendicularidade das paredes na fase de marcação da primeira fiada (FARIA, 2004a);
- f) régua técnica prumo-nível: utilizada para verificação de prumo, nível e também planicidade das paredes durante a elevação da alvenaria (MANZIONE, 2007, p. 92; FARIA, 2004a);
- g) nível laser: instrumento para verificação de níveis da alvenaria (MANZIONE, 2007, p. 92);
- h) escantilhão: consiste em uma haste vertical com cursor graduado de 20 em 20 cm, apoiado com o auxílio de outras duas hastes. Pode ser fixado na laje com o auxílio de buchas e parafusos e tem a função de nivelamento e alinhamento vertical das fiadas, sendo assentado aos pares nos cantos das paredes durante a marcação da alvenaria (MANZIONE, 2007, p. 92; FARIA, 2004a);
- i) argamassadeira: serve para preparar a argamassa, estando normalmente associada às argamassas industrializadas. É mais recomendada que a betoneira, pois incorpora ar à mistura (MANZIONE, 2007, p. 92);
- j) carrinho porta-argamassadeira: suporte com rodas que permite ao pedreiro o transporte do caixote de massa sem auxílio do servente (MANZIONE, 2007, p. 92; FARIA, 2004a);
- k) andaime: plataforma montada sobre cavaletes para assentamento dos blocos das últimas fiadas (MANZIONE, 2007, p. 93);
- l) bisnaga: recomendada sua utilização apenas para rejuntamento vertical dos blocos. A argamassa deve ser de alta plasticidade e pode representar um ganho de produtividade, pois esta tarefa pode ser delegada ao ajudante, permitindo ao pedreiro focar-se apenas na elevação da parede (MANZIONE, 2007, p. 93; FARIA, 2004a);

- m) **palheta**: instrumento utilizado para aplicação do cordão de argamassa nas paredes longitudinais dos blocos. Apresenta altos índices de produtividade quando utilizado (MANZIONE, 2007, p. 93; FARIA, 2004a);
- n) carrinho **paleteiro**: equipamento para transporte horizontal de blocos, forma um *pallet*, permitindo cargas com até 18 blocos (MANZIONE, 2007, p. 93);
- o) carrinho **jericão**: utilizado para transporte de argamassa. Não é recomendado pra transporte de blocos (MANZIONE, 2007, p. 93);
- p) trena de 30 metros: utilizada na fase de conferência de medidas e esquadro do pavimento (FARIA, 2004a);
- q) funil para graute: utilizado no processo de grauteamento, se encaixa no furo do bloco, não permitindo desperdício de graute (MANZIONE, 2007, p. 93).

### 3.5 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO SISTEMA

O processo executivo do sistema de alvenaria estrutural está dividido basicamente em duas etapas: marcação e elevação da alvenaria.

#### 3.5.1 Marcação de primeira fiada

Para se dar início à atividade de marcação da primeira fiada da alvenaria, deve-se possuir o projeto específico para esta etapa. Nesta planta, segundo Manzione (2007, p. 41), devem constar algumas informações básicas sem as quais não seria possível iniciar esta atividade:

- a) eixos de locação com medidas acumuladas a partir da origem;
- b) eixos de locação com medidas acumuladas até a face dos blocos;
- c) dimensões internas dos ambientes com medidas sem acabamentos;
- d) indicação dos blocos estratégicos com cores diferentes;
- e) indicação de elementos pré-fabricados;
- f) posicionamento de shafts e furação de lajes;
- g) representação diferente entre as paredes estruturais e as de vedação;
- h) numeração das paredes e indicação de suas vistas;
- i) indicação dos pontos de graute;

j) medidas dos vãos das portas;

k) representação das cotas de forma direta evitando a obtenção de medidas por diferenças.

Após o estudo dos projetos e de se ter providenciado todas as ferramentas, equipamentos, componentes e mão de obra necessários para a execução do serviço, inicia-se a marcação da primeira fiada. Esta fiada é referência para elevação da alvenaria no pavimento no qual está sendo executada e para todos outros pavimentos da edificação (FARIA, 2004b). Os principais passos da etapa de marcação são descritos a seguir:

- a) esquadro e nível: primeiramente verifica-se o esquadro do pavimento, através das diferenças entre as diagonais de um retângulo. Depois, com o uso de nível laser, deve-se procurar o ponto mais alto da laje e neste ponto assentar um bloco que será a referência de nível (MANZIONE, 2007; FARIA, 2004b);
- b) locação dos eixos: os eixos devem ser locados na laje com a utilização do fio traçante, a partir da planta de primeira fiada (MANZIONE, 2007, p. 96);
- c) assentamento dos blocos estratégicos: a partir dos blocos de referência de nível e dos eixos de locação marcados anteriormente na laje, devem ser assentados os blocos estratégicos e realizada a conferência do esquadro entre estes (MANZIONE, 2007, p. 96);
- d) umedecimento da superfície: deverá ser molhada a superfície da laje onde serão assentados os blocos de primeira fiada (MANZIONE, 2007, p. 97);
- e) espalhamento da argamassa: deve ser espalhada a argamassa de assentamento, com o auxílio de uma colher de pedreiro, em toda área dos blocos sobre a base (MANZIONE, 2007, p. 97);
- f) assentamento dos blocos de primeira fiada: primeiramente os esticadores de linha deverão ser fixados na cabeça dos blocos para alinhamento e nivelamento da primeira fiada. Posteriormente deve-se executar o assentamento dos blocos de primeira fiada com o auxílio de régua prumo-técnica. Os blocos com janelas de inspeção para limpeza das células a serem grauteadas devem obrigatoriamente ser assentados com o corte destas janelas já realizados previamente. Nesta mesma situação de blocos com células a serem grauteadas, quando houver necessidade de colocação de esperas de aço para pilaretes, como acontece no pavimento térreo, estas devem ser posicionadas logo após o assentamento da primeira fiada, antes da elevação das fiadas seguintes (MANZIONE, 2007, p. 97; trabalho não publicado<sup>1</sup>);

---

<sup>1</sup> Informação obtida em Manual Técnico de Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos utilizado por construtora de Porto Alegre na execução de suas obras.

- g) instalação dos escantilhões: devem-se distribuir os escantilhões nos cantos dos cômodos, fixá-los e aprumá-los. As marcas nos escantilhões indicam as alturas das fiadas, auxiliando no alinhamento, nivelamento e prumo das fiadas assentadas (MANZIONE, 2007, p. 97; FARIA, 2004b).

Segundo Manzione (2007, p. 100):

As principais verificações a serem feitas na fase de marcação são:

- a) locação e conferência dos vãos das portas;
- b) checagem dos pontos a serem grauteados e assentamento de blocos com “janelas” para vazamento do graute;
- c) posicionamento dos conduítes elétricos;
- d) verificação geral das cotas.

A figura 4 representa algumas das etapas de marcação da primeira fiada.

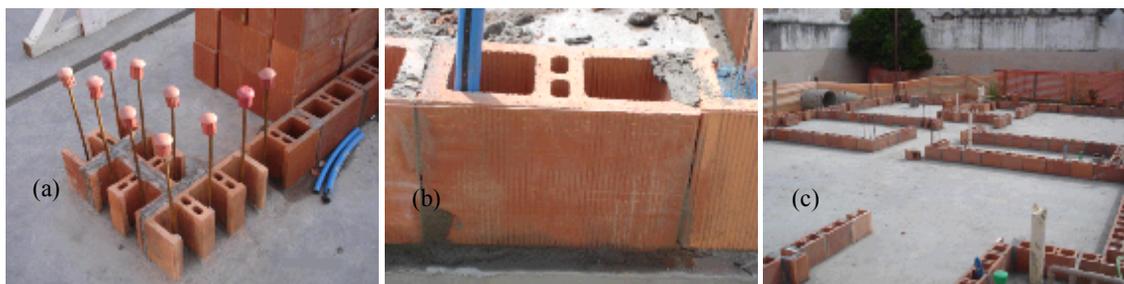


Figura 4: (a) blocos assentados com janelas de inspeção e esperas para pilaretes; (b) assentamento dos blocos com auxílio de linha para alinhamento e nivelamento destes; (c) primeira fiada de algumas paredes já assentadas

### 3.5.2 Elevação da alvenaria

Concluída a marcação da primeira fiada, segue-se para execução das demais fiadas da parede. Roman et al. (1999, p. 48) afirmam que se deve utilizar projetos de paginação das paredes, com os detalhamentos de aberturas, vergas, contra-vergas, caixas de passagem, eletrodutos, etc., para elevação das demais fiadas. Conforme Manzione (2007, p. 100), durante a elevação da alvenaria são fundamentais algumas características que devem ser garantidas e constantemente verificadas nas paredes:

- a) prumo;
- b) nível;
- c) alinhamento;
- d) planicidade.

Sabbatini (2003 apud MANZIONE, 2007) sugere algumas recomendações práticas durante a elevação das paredes de alvenaria para facilitar a execução por parte dos assentadores, aumentar a produtividade e qualidade do serviço e manter as características que uma parede portante como esta deve apresentar:

- a) uso obrigatório de projeto para produção compatibilizado e com as informações de instalações;
- b) assentamento sobre base nivelada, não sendo recomendada a elevação sobre baldrame sem a concretagem prévia do piso térreo;
- c) o assentamento não poderá ser feito debaixo de chuva;
- d) não molhar os blocos durante a elevação;
- e) não cortar blocos para ajustes de medidas; utilizar para isto peças pré-moldadas previstas em projeto;
- f) as contra-vergas deverão ser armadas, ultrapassando 30 cm a lateral do vão;
- g) o respaldo deverá ser feito em blocos canaletas, sendo perfeitamente niveladas e grauteadas antes da montagem da laje;
- h) as vergas de portas e janelas devem ser previstas em projeto e avançarão 10 cm para a lateral do vão;
- i) a união entre paredes estruturais deve ser feita preferencialmente por amarração de blocos. Não se recomenda o uso de grampos, pois, além de difícil controle em obra, possibilitam o aparecimento de patologias;
- j) as paredes estruturais e não-estruturais não devem ser unidas, devendo ser previstas juntas de trabalho.

Os cantos e as amarrações entre as paredes estruturais, por serem pontos de transferência de cargas e concentração de tensões, devem ser tratados cuidadosamente. O projeto de modulação deve prever resoluções simples, sem a necessidade de blocos especiais, e as amarrações devem ser sempre na forma de escadinha (figura 4b) e nunca em castelinho, pois geram uma melhor distribuição de tensões (MANZIONE, 2007). A figura 5 mostra o processo de elevação da alvenaria de algumas paredes, reforçando as características descritas acima.



Figura 5: (a) colocação de massa para assentamento do bloco;  
 (b) amarração das paredes em escadinha; (c) elevação de parede;  
 (d) paredes já elevadas até última fiada

Neste processo de elevação das fiadas das paredes de alvenaria, existem algumas recomendações e práticas que devem ser seguidas quanto às operações de grauteamento, instalações elétricas, hidráulicas e colocação dos elementos pré-moldados. Isto para que não haja comprometimento da parede como elemento estrutural e do serviço como um todo, mantendo uma alta produtividade, alto padrão de qualidade e baixos índices de perdas e desperdícios. Estas recomendações são tratadas nos próximos itens.

### 3.5.2.1 Processo de grauteamento

O graute já foi definido anteriormente como um microconcreto de alta plasticidade. Contudo existem algumas particularidades durante as operações de grauteamento dos elementos definidos em projeto, como pilaretes, cintas, vergas e contra-vergas, que não podem ser ignoradas.

Recomenda-se que a operação de grauteamento aconteça em duas etapas, primeiramente na altura da sétima fiada e, posteriormente, na altura da última fiada (MANZIONE, 2007, p. 102). Conforme Roman et al. (1999, p. 32), “[...] este procedimento diminuirá a possibilidade

de ocorrência de vazios nos alvéolos dos blocos.”. O procedimento de grauteamento dos pilaretes consiste em algumas etapas básicas (trabalho não publicado)<sup>2</sup>:

- a) limpar bem a base através da janela de inspeção deixada na primeira fiada;
- b) amarrar a armadura vertical na espera. Deve-se ter cuidado para que o posicionamento seja rigorosamente o indicado no projeto;
- c) molhar o interior com um balde d’água, a fim de saciar a sucção da cerâmica e permitir melhor aderência do graute. Usualmente um balde de 5,0 litros por pilarete apresenta um resultado satisfatório;
- d) retirar o excesso de água da base pela janela de inspeção deixada no bloco;
- e) fechar a janela de inspeção e grautear o pilarete.

Deve-se ter cuidado com a limpeza das células dos pilaretes a serem grauteados. É comum que estas fiquem com excesso de massa do momento do assentamento dos blocos e isto pode prejudicar o processo de grauteamento, gerando obstruções à passagem do graute. Roman et al. (1999, p. 32) indicam que o lançamento do graute pode ser realizado por bombeamento ou manualmente. Contudo, os mesmos autores afirmam que se deve sempre atentar para o adensamento, que deve ser executado através de vibradores de agulha de pequeno diâmetro ou manualmente com o auxílio de barra auxiliar.

Os pilaretes que trespassam vergas e contra-vergas devem ser grauteados juntamente com elas até a altura correspondente a estas canaletas. Com relação à concretagem destas canaletas, quando a elevação atinge a altura delas, a sequência do assentamento só poderá ocorrer depois de executado o grauteamento delas, caso contrário haveria prejuízo na estabilização da fiada superior ao graute (trabalho não publicado)<sup>3</sup>. Na figura 6 estão ilustradas algumas etapas e componentes das operações de grauteamento nas paredes de alvenaria estrutural.

---

<sup>2</sup> Informação obtida em Manual Técnico de Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos utilizado por construtora de Porto Alegre na execução de suas obras.

<sup>3</sup> Idem.

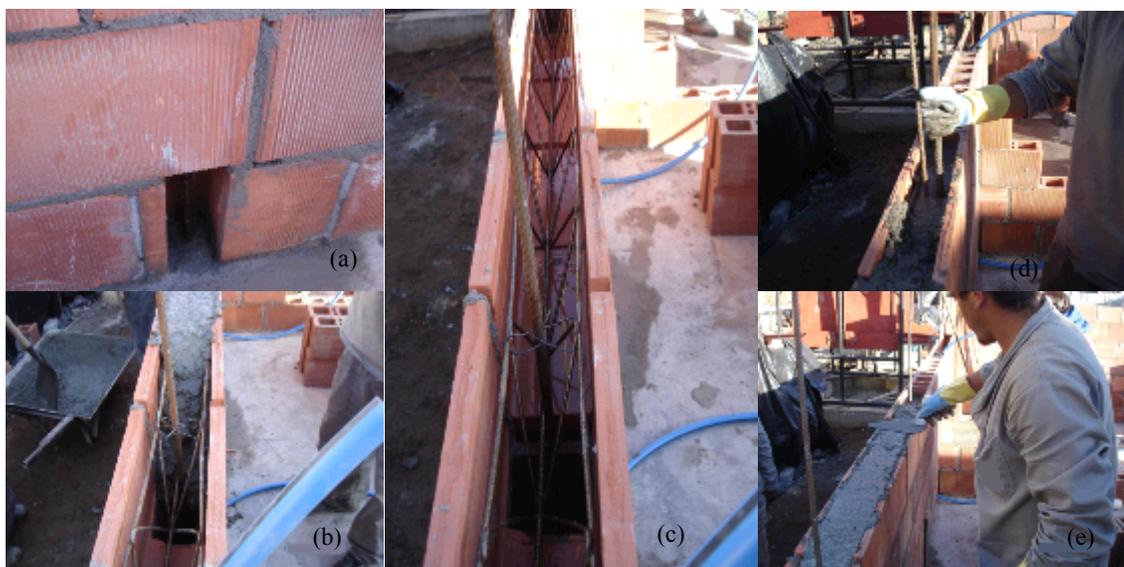


Figura 6: (a) janela de inspeção com armadura colocada; (b) grauteamento do pilarete e da calha da janela; (c) posicionamento da treliça na calha da janela; (d) vibração do graute com barra de ferro auxiliar; (e) alisamento do graute com colher de pedreiro

### 3.5.2.2 Instalações

Segundo Manzione (2007, p. 63), “[...] a alvenaria estrutural integra todos os subsistemas e possibilita uma grande sinergia entre eles, devendo ser adotados critérios racionais para o seu projeto e sua execução.”. Manzione (2007, p. 64) afirma ainda que “[...] nas edificações, os subsistemas de instalações são os que mais interferem nos outros, implicando em baixa produtividade, ociosidade da mão de obra e patologias.”.

Manzione (2007, p. 64, grifo do autor) sugere que:

Como as paredes em alvenaria estrutural não podem ser quebradas, o caminhamento de todas as tubulações deve ser previsto em projeto. A premissa principal de projeto deverá ser a ausência de vínculos físicos entre as instalações e a obra civil, por isso, tanto os projetos de elétrica quanto de hidráulica devem prever *shafts* horizontais e verticais para o caminhamento das instalações, sem interferência com alvenaria.

Segundo Manzione (2007, p. 64-65), “[...] como princípio geral, o caminhamento das tubulações elétricas será sempre feito na direção vertical, aproveitando-se o vazado dos blocos para a passagem das mangueiras e não se permitindo cortes horizontais para interligação de pontos.”. Manzione (2007) afirma que a técnica de racionalização do processo, separando ele

em duas etapas, de fabricação em central de blocos elétricos e montagem *in loco*, trás muitos benefícios:

- a) maior produtividade;
- b) maior precisão no corte do bloco;
- c) tempo gasto pela mão de obra é menor, pois profissional acaba assimilando o projeto.

A passagem das mangueiras deverá ser realizada com os blocos elétricos já assentados. Recomenda-se que esta atividade seja realizada pelos eletricitistas, não desmobilizando os pedreiros do assentamento de blocos na parede e criando uma nova etapa de trabalho (MANZIONE, 2007, p. 67-68).

Conforme Manzione (2007, p. 69, grifo do autor) “[...] a solução para a passagem das tubulações hidráulicas é mais difícil, pois não se podem embutir tubulações com fluidos em paredes estruturais. Deve-se prever sua passagem dentro de *shafts* e forros falsos.”. O mesmo autor recomenda que ao se projetar a edificação, concentre-se as áreas molhadas em um mesmo local, pois isto resulta em uma economia de prumadas e, conseqüentemente, materiais e mão de obra.

Uma grande vantagem ao se trabalhar com *shafts* é a possibilidade de se trabalhar com kits hidráulicos pré-fabricados, que reduzem o custo da mão de obra, possibilitando um melhor controle do consumo de materiais e da qualidade do serviço (MANZIONE, 2007, p. 69).

### 3.5.2.3 Elementos pré-moldados

O assentamento dos pré-moldados leves, como vergas, suportes de quadros elétricos e ar condicionado deve ocorrer durante a elevação da alvenaria, para otimizar a mão de obra e não criar uma nova etapa de trabalho. Caso contrário, ocorreria um prejuízo técnico na consolidação das fiadas com o concreto dos elementos pré-moldados (MANZIONE, 2007, p. 102).

A escada é um elemento que pode gerar problemas na execução da estrutura, por necessitar de materiais e profissionais especializados para executá-la. As escadas pré-moldadas surgem

então como uma alternativa interessante, pois dispensam revestimento e acabam com a possibilidade de erros e imprecisões das escadas moldadas *in loco* (MANZIONE, 2007, p. 61). Na figura 7 é apresentado um exemplo de escada pré-moldada e sua montagem.



Figura 7: exemplo de escadas pré-moldadas

Manzione (2007) afirma que as lajes podem ser moldadas *in loco* na obra ou executadas através da colocação de elementos pré-moldados, chamados de pré-lajes. Estas pré-lajes podem ser de diversos tipos, maciças ou exigindo um capeamento de concreto, contudo elas apresentam muitas vantagens em relação à laje convencional, dentre as quais se destacam:

- a) economia pela não necessidade de mão de obra especializada e materiais, como fôrmas;
- b) as marcações dos pontos elétricos e hidráulicos são precisas, gerando economia de materiais;
- c) rapidez de montagem, pois a laje já é um elemento semipronto;
- d) economia de custo e maior controle de qualidade e de prazo.

## 4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o processo de planejamento e controle da produção (PCP). Primeiramente é contextualizada sua importância em uma nova realidade de produção na construção civil. Em seguida, são apresentados conceitos de PCP, assim como as dimensões de planejamento existentes, e também alguns princípios de *Lean Construction*. São realizadas algumas considerações procurando vincular estes conceitos de PCP e *Lean Construction* descritos com as ferramentas, procedimentos e estratégias de planejamento que foram implementadas na execução da alvenaria estrutural na obra em estudo e tiveram sua eficiência mensurada. No final é realizada a definição de produtividade e dos fatores intervenientes nesta, à medida que este indicador é utilizado na avaliação do planejamento executivo.

### 4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Devido à crescente competitividade de mercado, novas exigências por parte dos clientes e limitação da disponibilidade financeira para construção de empreendimentos, a construção civil vem sofrendo nos últimos anos mudanças substanciais, com um enfoque muito maior na gestão da produção (FORMOSO et al., 1999). Anteriormente, desperdícios, perdas, retrabalhos, baixos índices de produtividade, problemas de prazos e qualidade sempre eram contabilizados pela construtora no momento de planejar o empreendimento, ao invés de procurar alternativas para solucionar estes problemas. Esta realidade mudou para as indústrias manufatureiras após o término da ditadura militar no Brasil, que ascendeu o mercado. As indústrias sofreram então uma grande reestruturação administrativa e operacional, passando a dar um enfoque a sua cadeia de suprimentos, que consiste no fluxo de materiais, serviços e mão de obra. Contudo, a construção civil não se inseriu neste contexto (VIEIRA, 2006).

Esta mudança de mentalidade vem ocorrendo lentamente na construção civil, à medida que a concorrência de mercado e as novas exigências dos consumidores têm imposto a adoção de uma nova postura (BOWERSOX et al., 2006). Vieira (2006) afirma que as empresas começam a destinar o foco de suas estratégias às atividades relacionadas à produção, surgindo programas de melhoria de qualidade, treinamentos e qualificação dos funcionários, novas

tecnologias operacionais e de informação, com intuito de ganhos na produtividade e integração dos serviços e setores da empresa.

Conseqüentemente, esta nova realidade nas empresas de construção civil passa por um enfoque maior no processo de planejamento e controle da produção, à medida que este exerce grande impacto na produção, sendo responsável direto por problemas de produtividade, altos índices de perdas e desperdícios e baixa qualidade dos serviços (FORMOSO et al., 1999). Assumpção (1996 apud BERNARDES, 2003) afirma que tem se procurado adaptar conceitos, técnicas e métodos de PCP utilizados em ambientes industriais, contudo estes nem sempre são adaptáveis à construção civil, fazendo com que gerem sistemas de gestão de baixa eficiência. O mesmo autor indica que o desenvolvimento de sistemas de planejamento e controle da produção exige mudanças estruturais e comportamentais das empresas, tanto no âmbito produtivo quanto administrativo.

## 4.2 CONCEITO DE PLANEJAMENTO

Formoso (1991) define o processo de planejamento como o estabelecimento de metas e dos procedimentos necessários para atingí-las, devendo ser sempre seguido de um controle para que seja efetivo. Ballard e Howell (1996 apud BERNARDES, 2003) afirmam que estas metas possibilitam o gerenciamento dos processos produtivos, enquanto o controle permite o cumprimento destas metas, assim como a avaliação delas, fornecendo informações para a preparação de planejamentos futuros.

Problemas na implementação e gerenciamento do planejamento e controle da produção têm sido apontados como causa do baixo desempenho de empreendimentos. A seguir são apresentadas as principais causas desta ineficiência do planejamento (FORMOSO et al., 1999):

- a) planejamento e controle da produção não é encarado como um processo gerencial, mas como resultado de aplicações de técnicas para elaboração de planos;
- b) a incerteza, inerente ao processo de construção, é negligenciada. Muitas vezes empresas tentam eliminá-la através de um planejamento detalhado nas etapas iniciais do empreendimento. Contudo estes planos tendem ser ineficazes e necessitam atualizações constantes;

- c) execução da obra guiada por um planejamento excessivamente informal, realizado improvisadamente pela equipe da obra e sem vínculo com outros níveis de planejamento;
- d) implementação correta do planejamento e controle da produção implica necessariamente em mudança de comportamento dos profissionais responsáveis por ele. Engenheiros e mestres de obras, que normalmente fazem parte da cultura de “tocadores de obras”, tomando decisões rápidas com base em suas próprias experiências, frequentemente não acreditam nos benefícios que um planejamento executado corretamente pode proporcionar.

Portanto, conforme afirma Bernardes (2003), o processo de planejamento e controle da produção é de grande importância para o desempenho dos empreendimentos e das empresas de construção civil. Contudo, ele não vem sendo implementado de uma maneira em que possa explorar todos seus benefícios.

### 4.3 DIMENSÕES DE PLANEJAMENTO

O processo de planejamento e controle da produção pode ser representado através de duas dimensões: horizontal e vertical. A dimensão horizontal refere-se às etapas que constituem o processo de planejamento e controle, enquanto a vertical refere-se a como estas etapas são vinculadas a diferentes níveis gerenciais da empresa (LAUFER; TUCKER, 1987 apud BERNARDES, 2003).

#### 4.3.1 Dimensão horizontal de planejamento

Segundo Laufer e Tucker (1987 apud BERNARDES, 2003), a dimensão horizontal é responsável pela realização do processo de planejamento. Pode ser dividida em cinco etapas:

- a) preparação do processo de planejamento: nesta etapa são definidas as características da obra e os procedimentos a serem adotados para o planejamento desta. Níveis de detalhe dos planejamentos, definição de responsáveis, níveis hierárquicos adotados e periodicidade de replanejamento também são pontos abordados nesta etapa (FORMOSO et al., 1999). O zoneamento, com a definição de áreas de trabalho para as equipes de produção, também deve ser realizado nesta fase, pois vincula as metas de produção com o posto de trabalho do operário (BERNARDES, 2003);

- b) coleta de informações: o planejamento depende da disponibilidade de informações para os responsáveis por realizá-lo. Estas são disponibilizadas em vários formatos e provenientes de diversas fontes, como setores da empresa ou outros intervenientes externos, como clientes, fornecedores e empreiteiros (FORMOSO et al., 1999). Projetos, contratos, especificações técnicas, tecnologias e ferramentas a serem utilizadas e estabelecimento de metas pela gerência são algumas das informações fornecidas nesta etapa para realização do planejamento (LAUFER; TUCKER, 1987 apud BERNARDES, 2003);
- c) elaboração dos planos: é a etapa que recebe maior atenção por parte dos responsáveis pelo planejamento, pois é neste momento que são formulados os planos. Existem diversas técnicas e métodos para realização de planos. Muitas variáveis podem determinar qual a melhor técnica a ser utilizada, como o nível de planejamento a ser executado, características da obra e habilidade dos responsáveis em elaborar os planos (FORMOSO et al., 1999);
- d) difusão das informações: estes planos gerados devem ser difundidos para os diferentes setores interessados, como equipe de obra, empreiteiros, projetistas, fornecedores e departamentos da empresa (FORMOSO et al., 1999). Nesta etapa deve-se atentar para problemas que possam prejudicar esta distribuição das informações, como pessoas que se sintam prejudicadas pelo planejamento, impondo resistência a sua implementação, e informações formatadas e apresentadas de maneira incorreta, não de acordo com o conhecimento dos funcionários que irão utilizá-la (LAUFER; TUCKER, 1987 apud BERNARDES, 2003);
- e) avaliação do processo de planejamento: o planejamento e controle da produção implementado necessita ser avaliado, de forma a propiciar a contínua melhora do processo (FORMOSO et al., 1999). Normalmente ocorre no final do empreendimento ou ao longo da execução do mesmo, caso ocorram mudanças significativas (LAUFER; TUCKER, 1987 apud BERNARDES, 2003). São utilizados indicadores de desempenho nestas avaliações, com intuito de detectar eventuais falhas e determinar ações corretivas que devem ser implementadas (BERNARDES, 2003).

Estas etapas estão divididas em dois ciclos: o de preparação e avaliação do processo e o de planejamento e controle. O ciclo de preparação e avaliação engloba a primeira e a última fase e tem um caráter intermitente. A etapa de preparação ocorre no início do empreendimento e a de avaliação ao final deste ou de alguma fase importante da obra. Já o ciclo de planejamento e controle corresponde às etapas de coleta de dados, elaboração de planos, difusão de informações e ação. Esta última possibilita o cumprimento das metas estabelecidas e implementação dos planos estipulados (FORMOSO et al., 1999). Este ciclo ocorre repetidamente, sempre realizando a identificação das causas das metas não cumpridas e a reformulação dos planos elaborados (LAUFER; TUCKER, 1987 apud BERNARDES, 2003).

A figura 8 apresenta um esquema das etapas do planejamento e controle da produção descritas anteriormente.

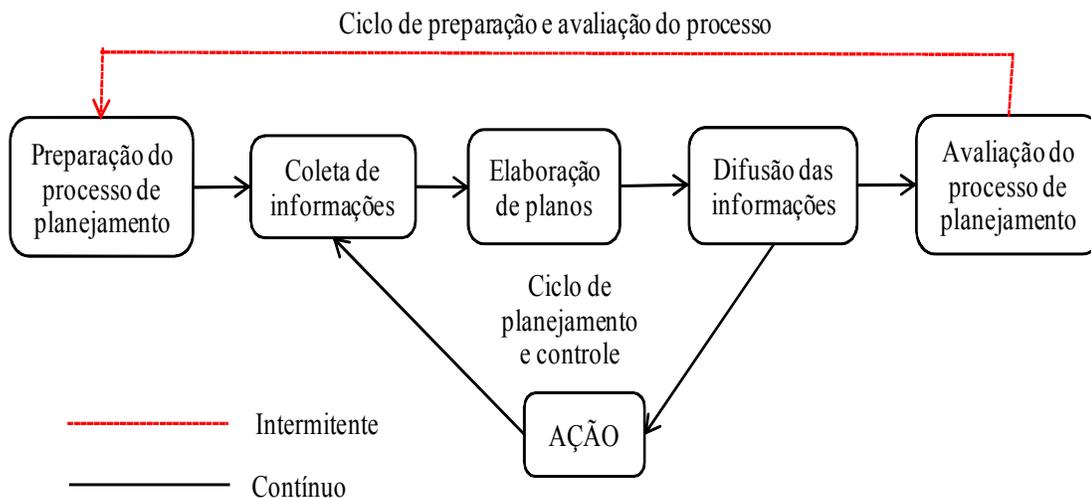


Figura 8: cinco etapas de planejamento  
(adaptado de LAUFER; TUCKER, 1987 apud BERNARDES, 2003)

### 4.3.2 Dimensão vertical de planejamento

A dimensão vertical indica que o planejamento e controle da produção deve ser dividido em três diferentes níveis hierárquicos, devido a complexidade e variabilidade existentes nos empreendimentos na construção civil (FORMOSO et al., 1999):

- a) estratégico: definição das metas e objetivos do empreendimento e estratégias para alcançá-las, como definição do prazo da obra, estabelecimento de parcerias e determinação de fontes de financiamento;
- b) tático: refere-se à seleção de recursos (equipamentos, materiais e mão de obra) e definição de meios para o cumprimento das metas estabelecidas, através da elaboração de planos para o gerenciamento destes recursos;
- c) operacional: está relacionado com as decisões tomadas no período de curto prazo. A definição das atividades a serem executadas, momento de execução das mesmas e os recursos a serem alocados para sua realização são determinados neste nível de planejamento.

O horizonte de planejamento de cada nível pode variar de acordo com a característica da obra a ser executada, o tempo necessário para a execução do empreendimento e o método de desenvolvimento do planejamento (BERNARDES, 2003). O mesmo autor salienta que esta definição dos horizontes dos planejamentos elaborados está mais relacionada com o grau de incerteza existente e a influência deste no ambiente produtivo. Formoso et al. (1999) afirmam que o nível de detalhamento do empreendimento varia de acordo com o grau de incerteza envolvido. Quando o grau de incerteza é grande, é recomendada realização dos planos no momento mais próximo à execução, de forma a evitar a constante necessidade de replanejamento. A seguir são apresentados os horizontes de planejamento usualmente utilizados pelas empresas e nos canteiros de obra das mesmas.

#### 4.3.2.1 Planejamento de longo prazo

É o chamado plano mestre, sendo o primeiro planejamento de nível tático. Neste plano são definidos os ritmos e ciclos de execução das atividades de produção assim como a programação de recursos de baixa repetitividade e elaboração de um fluxo de caixa mais detalhado em relação ao gerado no início do empreendimento (FORMOSO et al., 1999). Este planejamento destina-se também à alta gerência da empresa, de forma que esta possa acompanhar o ritmo de execução da obra (TOMMELEIN; BALLARD, 1997 apud BERNARDES, 2003).

#### 4.3.2.2 Planejamento de médio prazo

O planejamento de médio prazo constitui-se no segundo nível de planejamento tático, realizando o vínculo entre as atividades do plano mestre e as dos planos de curto prazo. É denominado *Look Ahead Planning*, pois tem um caráter móvel. Neste planejamento, gerado a partir do plano mestre, as atividades a serem executadas são descritas e detalhadas em pacotes de trabalho para diferentes equipes de produção, estabelecidos em zoneamento previamente realizado (FORMOSO et al., 1999).

Bernardes (2003) afirma que a análise dos fluxos de trabalho, procurando reduzir as atividades que não agregam valor ao processo, é realizada nestes planos de médio prazo.

Tommelein e Ballard (1997 apud BERNARDES, 2003) afirmam que, à medida que os serviços são programados, a disponibilização de recursos para execução destes, assim como a eliminação das restrições que impeçam o desenvolvimento dos trabalhos, deve ser considerada. Os recursos necessários para as atividades, assim como as restrições existentes, devem ser identificados antes do início destas, para assim impedir o atraso da programação realizada.

#### 4.3.2.3 Planejamento de curto prazo

Também chamado de planejamento operacional, é usualmente realizado em ciclos semanais com o objetivo de nortear a execução da obra. As atividades do plano de médio prazo são segmentadas em lotes menores executáveis semanalmente, chamados pacotes de trabalhos ou tarefas, sendo atribuídas a estas, recursos físicos (mão de obra, ferramentas e equipamentos). Este planejamento deve fundamentalmente contar com um grande comprometimento das equipes de produção com o que foi programado (FORMOSO et al., 1999).

A figura 9 representa a programação semanal de tarefas de um plano de curto prazo. Nesta, são apresentados os pacotes de trabalho a serem executados na semana, a quantificação dos funcionários realizando cada serviço diariamente, assim como a identificação de causas do não cumprimento de alguma atividade programada (BERNARDES, 2003). Existe também uma lista de tarefas reservas, que são atividades com um grau menor de prioridade para o caso de impossibilidade de execução do serviço de alguma equipe ou produtividade acima do esperado da mesma (FORMOSO et al., 1999). Este procedimento objetiva o cumprimento das metas programadas, através da elaboração de planos alcançáveis e da proteção da produção contra os efeitos da incerteza (BALLARD; HOWELL, 1997 apud BERNARDES, 2003).

O procedimento de monitoramento das metas estabelecidas no planejamento de curto prazo deve ser realizado. A partir da programação elaborada, pode-se calcular o indicador Percentagem de Planos Concluídos (PPC), através da razão do número de pacotes de trabalho executados pelos programados (BERNARDES, 2003). Este indicador demonstra o grau de eficácia do planejamento realizado. A outra avaliação refere-se às causas do não cumprimento de atividades programadas, para que se possam identificar problemas na realização do planejamento ou nos fluxos de trabalho e de materiais.

PROGRAMAÇÃO SEMANAL DE TAREFAS							
Semana: 15/05 a 19/05		Mestre: João			Engenheiro: Pedro		
Tarefa	S	T	Q	Q	S	OK	Problemas
Montagem de formas do 6º pav.	10	10	10			x	OK
Armadura laje 6 pavimento			6	6		x	OK
Instalações elétricas laje 6 pav.				4	4	x	OK
Instalações hidráulicas laje 6 pav.				3	3	x	OK
Alvenaria 3 pavimento	5	5	5	5	5		Baixa produtividade
Reboco pav. térreo	2	2	2	2	2	x	OK
PPC = 5/6 = 83,33%							
Tarefas reservas:							
Preparação armaduras do 7º pavimento							
Regularização dos pisos do 2º pavimento							

Figura 9: exemplo de planejamento semanal de tarefas  
(baseado em BALLARD; HOWELL, 1997 apud BERNARDES, 2003)

#### 4.4 LEAN CONSTRUCTION

Setores industriais têm implementado um novo modelo de gestão da produção, com intuito de satisfazer as crescentes exigências por parte de seus clientes. Este novo paradigma de produção originou-se na indústria automobilística japonesa, mais precisamente com o Sistema Toyota de Produção (FORMOSO, 2000). No período Pós-Guerra a economia japonesa enfrentava sérias dificuldades e a Toyota, inserida neste contexto, criou o Sistema Toyota de Produção com o intuito de alcançar as empresas norte-americanas em três anos. Este sistema tinha como fundamento a eliminação completa de perdas e desperdícios (OHNO, 1997). Isatto et al. (2000) afirmam que as perdas estão relacionadas à utilização, acima da quantidade mínima necessária, de recursos (material, equipamentos e mão de obra). Segundo Ohno (1997) existem sete tipos de perdas no Sistema Toyota de Produção:

- a) por superprodução;
- b) por transporte;
- c) por espera;
- d) no processamento;
- e) por estoque;

- f) por movimento;
- g) por produção de produtos defeituosos.

Esta nova maneira de gerenciar a produção com enfoque na redução de desperdícios implementada pelos japoneses foi chamada de *Lean Production*, ou Produção Enxuta. Estes conceitos de produção, pelos benefícios que apresentam, foram naturalmente adotados por outros setores industriais, como a construção civil (SOARES, 2003). A *Lean Construction*, denominação dada para aplicação dos conceitos do Sistema Toyota na construção civil, tem como maior inovação para o setor uma nova maneira de se entender os processo produtivos (KOSKELA, 1992 apud BERNARDES, 2001).

Tradicionalmente o modelo de produção adotado era o denominado de conversão ou transformação. O processo de produção era definido como a conversão de matérias-primas em produtos. Neste modelo, o processo pode ser dividido em subprocessos, que também são atividades de conversão. O valor de um subprocesso está diretamente relacionado com o custo dos processos, que está associado ao valor da matéria-prima utilizada (KOSKELA, 1992 apud BERNARDES, 2001). Segundo o mesmo autor, este modelo apresenta deficiências, como o fato dos fluxos físicos não serem considerados.

Contudo, esta nova maneira de gerenciar a produção através dos conceitos do *Lean Construction* considera que os processos produtivos são compostos por atividades de conversão e de fluxo (KOSKELA, 1992 apud BERNARDES, 2001). Shingo (1996 apud SOARES, 2003) indica uma distinção existente entre os conceitos de processo e operação:

- a) processo: é o fluxo de materiais no tempo e espaço;
- b) operação: fluxo da mão de obra que executa o serviço.

Portanto, o mesmo autor afirma que processo é a conversão da matéria-prima, sendo esta realizada através de uma série de operações. Koskela (1992 apud BERNARDES, 2001) afirma que embora sejam as atividades de conversão que agregam valor ao produto, o gerenciamento do fluxo de materiais, equipamentos e mão de obra tem papel fundamental no processo de planejamento e controle da produção e no melhor desempenho dos processos produtivos.

#### 4.5 VÍNCULO DO PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA IMPLEMENTADO COM PCP E *LEAN CONSTRUCTION*

No trabalho foram propostos alguns procedimentos, ferramentas e estratégias a serem adotados no planejamento de execução da alvenaria estrutural da obra em estudo. Este sistema de planejamento de execução refere-se à organização e planejamento das etapas de produção, dimensionamento e formação de equipes, processo de elevação da alvenaria, plano de ataque ao pavimento, sequência de execução das vistas, abastecimento de materiais e tecnologias industrializadas de grauteamento. Estas ferramentas e estratégias foram avaliadas através de indicadores de produtividade e tempo de ciclo, para assim determinar a eficiência deste planejamento de execução da alvenaria proposto.

O planejamento e controle da produção estão intimamente relacionados com os procedimentos e estratégias implementados na obra em estudo. Isto porque algumas definições, como tecnologias utilizadas, estabelecimento de metas, ciclos de produção, zoneamento das atividades e alocação de recursos, que são realizados nos horizontes de planejamento existentes, auxiliam a determinar e implantar algumas destas ferramentas e procedimentos. Por exemplo, a definição de tecnologia ou equipamento de transporte vertical no início da obra pode auxiliar na definição de uma ferramenta de abastecimento de materiais que represente um ganho de desempenho do processo. A definição de metas e ciclos de produção pode determinar a composição de equipes de produção para diferentes etapas do processo, como marcação e elevação de alvenaria, e o dimensionamento destas. O zoneamento das atividades, com a definição de áreas de trabalho para equipes de produção, que é realizado no início da obra, pode ser realizado de forma mais específica na execução da alvenaria. Assim, pode-se organizar e distribuir os profissionais da equipe de melhor forma no pavimento, estabelecendo um plano de ataque à alvenaria, o que pode apresentar um ganho no desempenho do serviço.

Portanto, conceitos de PCP também podem ser utilizados de maneira mais específica no planejamento da execução de um serviço, e não apenas na programação global do empreendimento. O mesmo ocorre com os princípios da *Lean Construction*. A análise de processo e operação e das atividades de conversão e de fluxo pode permitir um aumento significativo da produtividade na alvenaria e do desempenho do processo. Estas análises podem indicar eventuais gargalos que estejam prejudicando o processo, não permitindo que a

atividade de execução de alvenaria seja realizada ao seu máximo potencial. Bernardes (2003) afirma que princípios da *Lean Construction* podem representar uma redução das atividades que não agregam valor ao produto, como movimentação, espera e inspeção, representando uma melhora no desempenho do processo. Conseqüentemente, ferramentas de abastecimento de materiais e de distribuição da equipe implementadas na execução da alvenaria na obra em estudo, podem apresentar benefícios nos fluxos de materiais e mão de obra, representando um aumento da produtividade no processo.

#### 4.6 PRODUTIVIDADE

Alarcon (1995 apud RAMOS, 2001) afirma que a avaliação da produtividade dos processos produtivos e utilização de ferramentas para aumentá-la são fundamentais na gestão da produção, à medida que usualmente nos canteiros de obra apenas um terço do tempo consumido pela mão de obra são em atividades que agregam valor. Segundo Ramos (2001), o indicador de produtividade corresponde à quantidade de serviços executados em um determinado período de tempo. Um exemplo disto é a medição de metros quadrados de alvenaria executados por um determinado número de profissionais em um período de tempo.

Segundo Ramos (2001), existem alguns fatores ao longo da execução da obra que podem causar grande impacto na produtividade de serviços executados. É pelo gerenciamento destes que pode se controlar os indicadores de produtividade. A seguir são apresentados os principais fatores:

- a) modulação;
- b) ferramentas e componentes;
- c) mão de obra;
- d) materiais;
- e) layout da obra.

A coordenação modular gera a aplicação de métodos construtivos de maneira racional, trazendo ganhos de produtividade, qualidade e redução de custos na execução da alvenaria (RAMOS, 2001). Conforme Roman et al. (1999), isto ocorre devido à impossibilidade de

improvisações e retrabalhos na execução da alvenaria que a coordenação modular proporciona, não permitindo quebras, cortes e com os elementos tendo posicionamento pré-definido no projeto de paginação. O mesmo autor salienta que isto representa um ganho de tempo, material e mão de obra na execução. Na alvenaria estrutural, a utilização de coordenação modular pode representar acréscimos de 10% na produtividade.

A utilização de ferramentas, componentes e procedimentos de execução apropriados que maximizem o desempenho dos profissionais na elevação da alvenaria podem representar uma produção de maior qualidade e mais eficiente. A racionalização dos processos e adoção de tecnologias industrializadas podem contribuir para construção de empreendimentos de melhor qualidade e menor preço, aplicando da melhor maneira técnicas e ferramentas construtivas (RAMOS, 2001). Componentes industrializados, como os citados em 3.5.2.3, e ferramentas utilizadas na execução, como as citadas em 3.4, podem auxiliar neste melhor desempenho dos profissionais.

A qualificação da mão de obra disponível para executar a alvenaria do empreendimento é de primordial importância para desenvolvimento dos serviços com qualidade e produtividade almejadas (RAMOS, 2001). O mesmo autor afirma que o principal caminho para um alto desempenho da produção é insistir no treinamento dos profissionais. Marchiori (1998 apud RAMOS, 2001) afirma que este treinamento pode ocorrer de maneira espontânea. À medida que a repetitividade na execução de tarefas e a experiência aumentem, é natural que os profissionais apresentem desempenhos melhores. Isto é chamado de efeito aprendizado. Heineck e Marchiori (1998 apud LEITE et al., 2004) afirmam que à medida que a atividade seja apresentada em grandes quantidades e de maneira contínua, os profissionais podem apresentar aumentos muito significativos de produtividade devido aos efeitos de aprendizado, continuidade e concentração. Esta melhora de desempenho proporcionada pelo efeito aprendizado pode ser creditada a uma série de fatores (THOMAS et al., 1986):

- a) familiarização dos profissionais com o trabalho;
- b) melhor coordenação da equipe e equipamentos;
- c) melhor gerenciamento e coordenação do trabalho;
- d) adoção de metodologias mais eficientes de execução;
- e) menos alterações na execução dos trabalhos.

Já Meseguer (1991 apud RAMOS, 2001) indica que a maneira mais rápida de aumentar a produtividade de uma equipe é fornecendo benefícios financeiros aos profissionais. Contudo, esta visão é considerada simplista, à medida que estes benefícios só apresentam resultados dentro de um limite e se aplicados esporadicamente. Marchiori (1998 apud RAMOS, 2001) afirma que o gerenciamento e coordenação da obra e das equipes internas de trabalho também são fatores preponderantes para melhores índices de produtividade.

A qualidade dos materiais é de fundamental importância para a execução da alvenaria dentro dos requisitos de produtividade, custo e qualidade existentes. Os elementos construtivos devem estar de acordo com as especificações e possuir características dimensionais perfeitas. Diferenças dimensionais nos blocos podem prejudicar o desempenho dos pedreiros, que são obrigados a compensar estas imperfeições na execução da alvenaria (RAMOS, 2001). O mesmo autor destaca que além da qualidade dos materiais, a disponibilidade e gerenciamento destes para execução da atividade são de extrema relevância. Soilbelman (1993 apud RAMOS, 2001) afirma que o gerenciamento ineficiente dos materiais pode reduzir a produtividade da mão de obra, além de ocasionar elevados índices de perdas.

Um projeto de layout de canteiro deve satisfazer todos os envolvidos. Ele deve basear-se em alguns princípios de utilizar efetivamente o espaço disponível, evitar investimentos e custos desnecessários em movimentações de materiais, simplificar os processos e operações e prover a segurança e satisfação dos trabalhadores (OLIVEIRA; LEÃO, 1997 apud RAMOS, 2001).

## 5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas de controle a serem utilizadas para avaliar a eficiência do planejamento de execução implementado. Primeiramente é apresentada uma descrição da obra em estudo com especificações de como o sistema alvenaria estrutural é ali aplicado. Os indicadores de desempenho, instrumentos de controle a serem utilizados e o procedimento adotado para realização da avaliação são abordados em seguida. No final, a descrição das tecnologias construtivas e ferramentas e estratégias de planejamento de execução implementadas e avaliadas na obra em estudo é realizada.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA EM ESTUDO

A apresentação da obra em estudo e como o sistema alvenaria estrutural é aplicado nesta são informações importantes para que se possa analisar a produção e melhor gerenciá-la e organizá-la. A construtora responsável por este empreendimento residencial tem sede no município de Porto Alegre. A execução de obras em alvenaria estrutural é recente na empresa, o que reflete a necessidade de análise do sistema de produção e implementação de melhorias neste.

A obra em estudo constitui-se num condomínio residencial formado por quatro torres, duas de sete e duas de dez pavimentos tipo. Existe também um prédio garagem, vagas externas e diversas áreas comuns como piscinas, churrasqueiras, salões de festas, *fitness* e sala de jogos. Cada pavimento possui oito apartamentos, totalizando 262 unidades, à medida que os térreos das torres também têm apartamentos além de áreas comuns. Existem três tipos de apartamentos diferentes:

- a) três dormitórios: tem área privativa de 68,6 m<sup>2</sup> e possui uma suíte, dois dormitórios, banho social, cozinha, área de serviço e sala de estar com sacada. Existem quatro apartamentos deste tipo por pavimento;
- b) dois dormitórios com suíte: tem área privativa de 54,62 m<sup>2</sup> e possui uma suíte, um dormitório, banho social, cozinha, área de serviço e sala de estar com sacada. Existem dois apartamentos deste tipo por pavimento;

- c) dois dormitórios sem suíte: tem área privativa de 50,85 m<sup>2</sup> e possui dois dormitórios, um banho social, cozinha, área de serviço e sala de estar com sacada. Existem dois apartamentos deste tipo por pavimento.

As torres são construídas no sistema alvenaria estrutural em blocos cerâmicos estruturais e as lajes concretadas *in loco*. A argamassa utilizada é industrializada e, por definição de projeto, são empregadas diferentes resistências de blocos e argamassas nos diferentes pavimentos das torres. Isto requer uma gestão muito organizada destes materiais e dos fluxos deles na obra para que não se utilizem componentes de uma determinada resistência em local indevido. Alguns elementos pré-moldados são utilizados na obra buscando racionalizar o processo de execução da alvenaria. Estes elementos são vergas, tampas de ar condicionado e escadas pré-moldadas.

Existem centrais de corte de blocos, de colocação de caixas nos blocos elétricos e de produção de graute no canteiro da obra, com intuito racionalizar o processo e facilitar as etapas da produção. O equipamento para transporte vertical adotado nas torres é o elevador de carga. Para transporte horizontal dos materiais utilizam-se alguns equipamentos descritos em 3.4, como carrinho **paleteiro** e **jerião**. A figura 10 apresenta as torres de alvenaria no canteiro e os elevadores utilizados para transporte vertical dos materiais.



Figura 10: torres de alvenaria e elevadores de carga para transporte vertical

Funcionários da empresa e também terceirizados trabalham nas diversas atividades existentes no canteiro de obra. Contudo, na execução das paredes de alvenaria estrutural, as equipes responsáveis são compostas inteiramente por pedreiros da empresa. Estes funcionários são remunerados de acordo com a sua produtividade no mês. Na execução da alvenaria sempre são utilizados por eles projetos de paginação das paredes e também algumas ferramentas descritas em 3.4, como colher de pedreiro, esquadro, régua, escantilhão, argamassadeira e palheta. Estas ferramentas auxiliam no controle de qualidade e no aumento dos índices de produtividade destes profissionais.

## 5.2 FERRAMENTAS DE CONTROLE E AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO

Oliveira et al. (1995) afirmam que a medição do desempenho dos processos é fundamental para a gestão da qualidade. Estas medições fornecem aos gestores informações importantes para planejamento dos empreendimentos, tomada de decisão, controle dos processos e desenvolvimento de um sistema de melhoria contínua da qualidade. Os mesmos autores indicam que a geração de indicadores de qualidade e produtividade é fundamental para acompanhar o desempenho e melhoria dos processos nas empresas.

Oliveira et al. (1995) afirmam existem diferentes tipos de medição de desempenho, de acordo com a finalidade desta:

- a) visibilidade: medição com objetivo de demonstrar desempenho atual. É realizada quando empresa ainda não tem controle sobre seus processos, procurando identificar possíveis ações de melhorias;
- b) controle: medição realizada após definição de padrões de desempenho. Portanto, quando os indicadores mostrarem algum desvio em relação aos padrões pré-definidos, busca-se identificar os problemas existentes e ações para eliminação destes;
- c) melhoria: medições que permitem verificar o impacto das ações realizadas, a partir de metas de desempenho estabelecidas inicialmente.

Quando se utilizam indicadores de desempenho, a empresa deve selecionar criteriosamente os processos a serem avaliados, certificando-se de que estes realmente representem os principais problemas encontrados e que necessitem uma melhoria de desempenho. Estes indicadores

devem ser coerentes com o planejamento e objetivos da empresa e estabelecidos sobre os resultados controláveis dos processos. Para que as medições e geração de indicadores sejam corretas, é importante a participação de todos aqueles que são afetados de alguma forma por estes indicadores. Estes profissionais devem necessariamente participar das etapas existentes na medição de desempenho: coleta, processamento e avaliação dos dados (OLIVEIRA et al., 1995).

Isatto et al. (2000) afirmam que as ferramentas utilizadas para controle e avaliação da produção devem ser adequadamente aplicadas para atingir um objetivo específico. Elas precisam ser empregadas de forma correta, por profissionais habilitados, para que apresentem os resultados pretendidos, auxiliando assim à gestão dos processos produtivos. Os mesmos autores indicam a existência de dois tipos de classificação das ferramentas utilizadas para controle da produção:

- a) acompanhamento da produção: são ferramentas aplicadas periodicamente, voltadas para a avaliação da eficácia e eficiência da produção. Permite a avaliação do desempenho e identificação de problemas, através da comparação entre resultados planejados e atingidos ao longo do tempo;
- b) avaliação e diagnóstico: são ferramentas de caráter descritivo para avaliação de forma qualitativa e quantitativa de aspectos da produção e dos processos, permitindo a identificação de problemas e suas causas, de maneira a gerar uma melhoria da gestão da produção.

Existem diversas ferramentas que possibilitam uma melhora no desempenho dos processos produtivos. No caso do planejamento executivo implementado na obra em estudo, foram utilizadas ferramentas de acompanhamento da produção para mensurar a eficiência dos procedimentos e estratégias propostos. A ferramenta utilizada foi o cartão da produção.

Segundo Isatto et al. (2000), o cartão de produção é uma ferramenta para medir a produção de uma equipe ou operário em um certo período e, a partir destes dados, gerar o indicador de produtividade. Existem dois tipos de controles que podem ser realizados. Eles estão detalhados a seguir:

- a) por período: registra-se, em intervalos de tempo previamente definidos, a produção no período. Este tipo de controle exige uma homogeneidade do processo, com um grau de repetição grande das atividades, não existindo uma variabilidade de execução ao longo dos períodos. O controle também demanda

um grande esforço para a medição física das quantidades e o estabelecimento de critérios muito claros a serem seguidos na medição;

- b) por evento: registra-se o tempo utilizado para executar determinada atividade da obra. A quantificação dos elementos das etapas deve ser realizada previamente. Este controle exige que se registrem as datas de início e final das etapas com exatidão e permite também o controle dos prazos de execução, estabelecendo uma comparação com os prazos inicialmente planejados. Para que o controle seja adequadamente aplicado, deve-se estimular a terminalidade das etapas, uma vez que arremates deixados para trás podem distorcer os dados coletados.

Na obra em estudo implementou-se algumas técnicas construtivas, estratégias e ferramentas de planejamento executivo, que tiveram sua eficiência avaliada através dos indicadores de produtividade e tempo de ciclo. O tipo de controle utilizado foi por evento. Determinou-se o lote de execução como sendo o pavimento de alvenaria, registrando-se então o tempo de execução deste, com as datas iniciais e finais dos serviços. Para que se pudesse gerar o indicador produtividade, foi necessário o controle da mão de obra, com a relação das horas trabalhadas neste período por cada operário e a totalização destas. Estes dados foram coletados com o auxílio do cartão de produção pelo estagiário da obra.

Quando estes dados de quantidade de m<sup>2</sup> de alvenaria do pavimento, horas trabalhadas pelos profissionais na etapa e tempo de execução estiverem disponíveis, podem ser gerados dois indicadores de produtividade utilizados no trabalho. Para o cálculo destes são utilizadas as seguintes fórmulas, que foram adaptadas das apresentadas por Oliveira et al. (1995):

$$\text{Índice de produtividade} = HH / Q_{serv} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

HH = homens-hora na produção, sendo o número total de horas trabalhadas na execução do serviço. Constitui-se nas horas trabalhadas por cada operário multiplicadas pelo número de operários. Consideraram-se apenas os operários envolvidos diretamente na execução do serviço, como pedreiros;

Q<sub>serv</sub> = quantidade de serviço levantada em projeto em determinado período de tempo. As áreas da alvenaria foram calculadas descontando-se todos os vãos.

$$\text{Índice de produtividade} = Q_{\text{serv}} / \text{Equipe} / t \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

$Q_{\text{serv}}$  = quantidade de serviço levantada em projeto em determinado período de tempo;

Equipe = número de pedreiros médio que executaram a etapa;

t = período de tempo necessário para executar o serviço.

Os dois indicadores referem-se à produção média da equipe em todos os dias trabalhados no pavimento. Contudo, deve-se realizar uma análise distinta dos dois indicadores. O primeiro refere-se à quantidade de horas de profissionais necessárias para executar um lote de alvenaria, portanto, quanto menor o índice, maior a produtividade da equipe. Já o segundo refere-se à quantidade média de m<sup>2</sup> de alvenaria executado por dia por algum pedreiro da equipe. Quanto maior for este indicador, melhor a produtividade da equipe.

Estes indicadores foram gerados para todos os pavimentos do empreendimento executados até a data de entrega do trabalho. Eles permitiram avaliar a eficiência do sistema de planejamento de execução proposto, à medida que estes pavimentos estiveram sob diferentes realidades de gerenciamento e organização da produção, composição de equipes, abastecimento de materiais, etc.

### 5.3 PLANEJAMENTO EXECUTIVO PROPOSTO

O gerenciamento e a organização têm papel fundamental para obtenção de desempenhos satisfatórios da produção, com alto grau de qualidade, produtividade e baixo custo. O estudo da forma de trabalho das equipes de produção, de como estas se organizam e dos seus fluxos de materiais e mão de obra podem representar muitos benefícios no desempenho do processo analisado. A diminuição das atividades que não agregam valor e a maximização dos índices de produtividade podem ser alcançadas à medida que se planeje adequadamente a execução da atividade.

Portanto, a seguir são descritos algumas estratégias, ferramentas e técnicas construtivas relacionadas ao planejamento executivo de alvenaria estrutural que foram implementadas na obra em estudo. Estas se referem à composição e dimensionamento de equipes, plano de ataque à alvenaria, sequência de execução e distribuição das equipes, ferramentas para abastecimento de materiais e utilização de grauteamento bombeado. Este planejamento de execução foi implementado ao longo da construção da obra, de forma que se possa comparar realidades distintas, antes e depois da implementação dele, mensurando assim a efetividade do que foi proposto.

### **5.3.1 Composição e dimensionamento de equipes**

O estudo da produção e das equipes de execução dos serviços é fundamental para maximizar o desempenho do processo e a qualidade do serviço realizado. As equipes de produção formadas e as características destas dependem de algumas definições que remetem ao horizonte de longo prazo de planejamento. Algumas destas definições são o tipo de mão de obra contratada, a forma de pagamento desta, a definição do prazo de execução e, conseqüentemente, dos ciclos dos serviços e até tecnologias de produção e equipamentos utilizados.

Estas variáveis podem influenciar no dimensionamento e na necessidade ou não de equipes de produção para determinadas atividades. Por exemplo, a adoção de lajes pré-moldadas poderia representar uma economia de equipes de armadura e fôrmas. Alguns serviços podem apresentar mais de uma etapa de execução. Conseqüentemente, a adoção de uma equipe para cada uma destas etapas pode apresentar benefícios. Este pode ser o caso da alvenaria, com as etapas de marcação e elevação. A análise da composição, dimensionamento e organização das equipes de produção é realizada com objetivo de melhorar os fluxos de profissionais, aumentar a produção e qualidade dos serviços, diminuir realização de atividades que não agregam valor e maximizar o desempenho do processo.

A obra em estudo é constituída por quatro torres. Pelo planejamento realizado no início do empreendimento, adotou-se que os ciclos de execução destas seriam intercalados. Por exemplo, as torres A e B, com dez pavimentos tipo cada uma, teriam os ciclos de produção intercalados. Portanto, em uma executa-se fôrma no momento em que na outra se estiver

realizando alvenaria. Nas torres C e D, com sete pavimentos tipo, ocorre da mesma maneira. Com isso, a necessidade é de apenas uma equipe para cada duas torres para as etapas da estrutura: alvenaria, fôrmas e armadura. A figura 11 a seguir apresenta estes ciclos intercalados das torres. Como se vê não existem folgas, o atraso de uma equipe na execução do serviço corresponde a um período ocioso pela outra equipe.

Legenda:			
C1: equipe de execução da laje (carpinteiros, ferreiros e instalações)			
P1: equipe de pedreiros para execução do pavimento			
TORRE A			
	Alvenaria	Concreto	
	Ciclo	Ciclo	
10° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
9° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
8° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
7° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
6° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
5° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
4° Pav.	10 dias		P1
		10 dias	C1
3° Pav.	10 dias		P1
		10 dias	C1
2° Pav.	10 dias		P1
		10 dias	C1
TORRE B			
	Alvenaria	Concreto	
	Ciclo	Ciclo	
10° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
9° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
8° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
7° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
6° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
5° Pav.	8 dias		P1
		8 dias	C1
4° Pav.	8 dias		P1
		10 dias	C1
3° Pav.	10 dias		P1
		10 dias	C1
2° Pav.	10 dias		P1
		10 dias	C1

Figura 11: ciclo intercalado da estrutura em duas torres

A alvenaria estrutural é composta por diversas etapas de execução, como marcação e elevação das paredes. Como forma de especializar os profissionais na execução de uma atividade, aumentar os índices de produtividade e qualidade e racionalizar a execução dos processos, adotou-se na obra em estudo equipes distintas de produção para cada uma destas etapas da alvenaria. Portanto, foram formadas duas equipes de elevação da alvenaria, uma para as torres A e B e outra para as torres C e B. Contudo, por ter um ciclo de execução menor, a marcação de alvenaria necessitou de apenas uma equipe de produção para atender todas as torres.

Para o dimensionamento destas equipes de produção foram necessários alguns dados sobre a alvenaria nos pavimentos tipo. Os ciclos de execução determinados pelo planejamento variam. Eles são de dez dias nos primeiros pavimentos das torres e oito dias nos últimos. Isto ocorre devido às equipes de execução ainda estarem sendo formadas nos primeiros pavimentos e não terem atingido seu potencial máximo de produção. Estes ciclos englobam todas as etapas de marcação, elevação e grauteamento da alvenaria. Portanto, o ciclo existente para efetivamente a elevação da alvenaria é em torno de cinco a seis dias. A área de alvenaria nos pavimentos tipo é de 1081,6 m<sup>2</sup>. A empresa trabalha com uma produtividade média diária dos pedreiros de 15 m<sup>2</sup>. A partir destes dados pode-se realizar o levantamento da equipe necessária para a elevação de alvenaria. A figura 12 apresenta o dimensionamento da equipe de elevação. A equipe foi composta por aproximadamente 14 pedreiros, variando com a produtividade atingida por estes profissionais.

Metragem alvenaria pav. tipo descontando vãos = 1081,60 m <sup>2</sup>		
Produtividade diária esperada do pedreiro = 15 m <sup>2</sup> /dia		
Ciclo de elevação de alvenaria (dias)	Metragem diária da equipe (m <sup>2</sup> )	Número de pedreiros na equipe
5	216,32	<b>14</b>
6	180,27	<b>12</b>

Figura 12: dimensionamento de equipes de elevação de alvenaria

A metodologia de marcação de alvenaria que se procurou implantar foi a realização apenas da marcação dos blocos principais e amarrações das paredes. Os pedreiros da equipe são responsáveis pela transferência dos eixos e marcação apenas destes blocos. Os demais blocos da primeira fiada são assentados pelos pedreiros da equipe de elevação da torre. O ciclo para esta marcação deve ser no máximo dois dias. Pela marcação ser executada desta maneira simplificada, dimensionou-se uma equipe cinco pedreiros para execução deste serviço. Já a equipe de serventes necessária para abastecimento dos pedreiros de execução de alvenaria varia de acordo com a capacidade produtiva destes profissionais. Além do guincheiro e seus ajudantes nos térreos das torres, a empresa trabalha com um número aproximado de dois serventes de abastecimento para cada três pedreiros de elevação nos pavimentos tipo. Contudo, este número varia de acordo com a qualificação dos profissionais da equipe, podendo ser necessário até que um servente abasteça apenas um único pedreiro de alta produção.

É importante salientar que estas equipes foram formadas e dimensionadas no momento de se planejar a execução da alvenaria, com as informações disponíveis naquele momento. Contudo, fatores como a variabilidade de desempenho das equipes, não disponibilidade de mão de obra conforme necessidade e adoção de outras metodologias de execução podem representar mudanças nestas equipes de produção.

### **5.3.2 Plano de ataque à alvenaria e sequência de execução**

O estudo da execução de uma atividade e do fluxo de profissionais trabalhando nesta é fundamental para que se atinja um desempenho satisfatório. A análise da operação, que seriam os fluxos de profissionais e equipamentos, pode representar uma diminuição significativa das atividades que não agregam valor à produção e um consequente aumento dos índices de produtividade alcançados.

O estabelecimento de um plano de ataque à alvenaria, com a distribuição dos pedreiros em regiões de execução, e a determinação de um sequenciamento de execução do pavimento, pode permitir uma melhor organização do trabalho destes profissionais e um acréscimo no desempenho deles.

A figura 13 a seguir apresenta o plano de ataque à alvenaria estabelecido na obra em estudo. A partir de um dimensionamento das equipes de produção realizado previamente, dividiu-se o pavimento em 14 regiões de execução da alvenaria, determinando uma sequência de execução destas. As regiões foram divididas desta forma devido as paredes terem certo grau de independência das outras regiões, com poucas amarrações entre as elas, permitindo que os pedreiros possam trabalhar livremente sem interferência de outro profissional com capacidade produtiva diferente. Outro motivo desta divisão foi o tamanho das regiões. Procurou-se definir áreas que possam ser executadas por um profissional qualificado no ciclo definido.

O objetivo desta sequência de execução é estabelecer uma metodologia padrão de organização dos profissionais e execução da alvenaria no pavimento, proporcionando a estes um ambiente de trabalho livre, desimpedido e sem obstruções. O aumento de desempenho dos pedreiros a partir da aplicação deste mapa de ataque pode ser muito significativo, à medida que eles executam sempre as mesmas regiões, não são prejudicados tendo que trabalhar conjuntamente

com profissionais menos qualificados, são mais bem distribuídos no pavimento, trabalham em ambiente mais organizado com materiais a sua disposição e estão orientados onde exatamente e de que maneira devem executar seu serviço.

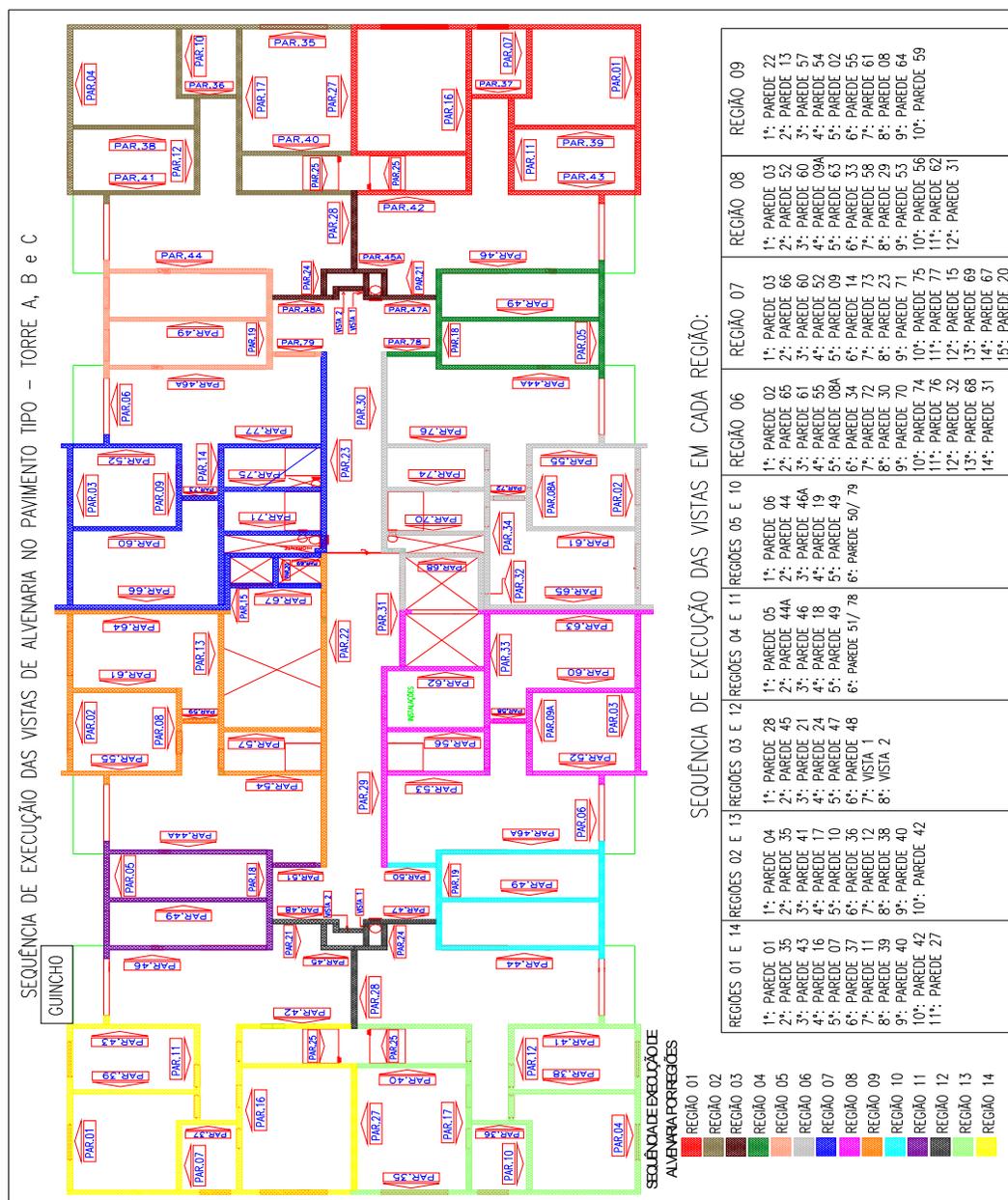


Figura 13: mapa de ataque e sequencia de execução da alvenaria

Na figura 13 estão representadas as 14 regiões de execução definidas em diversas cores. A sequência de execução destas áreas também é apresentada. Como a laje é dividida em duas partes, possuindo uma junta de dilatação no meio, a execução da alvenaria sempre terá início no lado oposto de onde se situa o guincho de abastecimento do pavimento. Desta maneira, finaliza-se a alvenaria com a execução das paredes do guincho, não gerando problemas de transporte de materiais, acúmulo destes próximo ao guincho e circulação de profissionais no andar. A marcação de alvenaria também inicia pelo lado contrário ao guincho, contudo, por serem marcados apenas os blocos principais, não existe esta distinção de regiões de execução definidas.

Em cada região também existe a especificação da sequência de execução das paredes existentes nela. Quando um pedreiro está trabalhando, não deve caber a ele a definição de qual parede executar e em qual ordem. Isto é estudado pela equipe gerencial da obra e apenas repassado aos profissionais pelo encarregado de alvenaria.

Como já descrito anteriormente, procurou-se definir as regiões em áreas que um profissional qualificado possa executar no ciclo. Contudo, até pela variabilidade existente na produtividade dos pedreiros, adaptações podem ser necessárias. À medida que a produtividade dos pedreiros da equipe não é constante, o dimensionamento desta poderá ser modificado de acordo com a necessidade e a distribuição dos pedreiros nas regiões de produção também. Estas regiões têm diferentes áreas, para que pedreiros de capacidades produtivas distintas existentes na equipe possam realizá-las no prazo estipulado. Contudo, quando uma equipe tem pedreiros com desempenho abaixo do esperado, cabe a gerência da obra analisar a possibilidade de colocar mais de um pedreiro nas regiões, objetivando ainda executar a alvenaria do pavimento no ciclo. Outro caso, em regiões de pouca área existentes, pode-se colocar um pedreiro com alta produtividade para executar mais de uma destas regiões em menor prazo. Tudo depende do desempenho dos profissionais disponíveis.

As regiões 3 e 12 são um caso particular. Estas áreas circundam os *shafts* na circulação, que são de difícil execução, por serem regiões com paredes muito pequenas e muitas amarrações. Os pedreiros usualmente baixam sua produtividade quando as executam. As regiões são pequenas e procura-se delegá-las para um pedreiro diferente a cada pavimento, de forma a não prejudicar a produção de um mesmo profissional. São normalmente executadas por um dos primeiros pedreiros a finalizar uma das áreas adjacentes.

### 5.3.3 Ferramentas de abastecimento de materiais

O estudo do abastecimento dos materiais para realização de qualquer serviço é de extrema importância para o melhor desempenho dos profissionais trabalhando neste. A análise do processo, que seriam os fluxos de materiais, pode contribuir muito para a diminuição de atividades que não agregam valor, como tempos ociosos dos profissionais, e um aumento da qualidade e produtividade. Na alvenaria estrutural, o abastecimento correto dos materiais, mantendo um ambiente limpo, organizado e uma continuidade produtiva para os pedreiros, pode apresentar grandes benefícios para a produção. A figura 14 a seguir apresenta a estrutura dos materiais necessários para a execução de paredes em alvenaria estrutural.

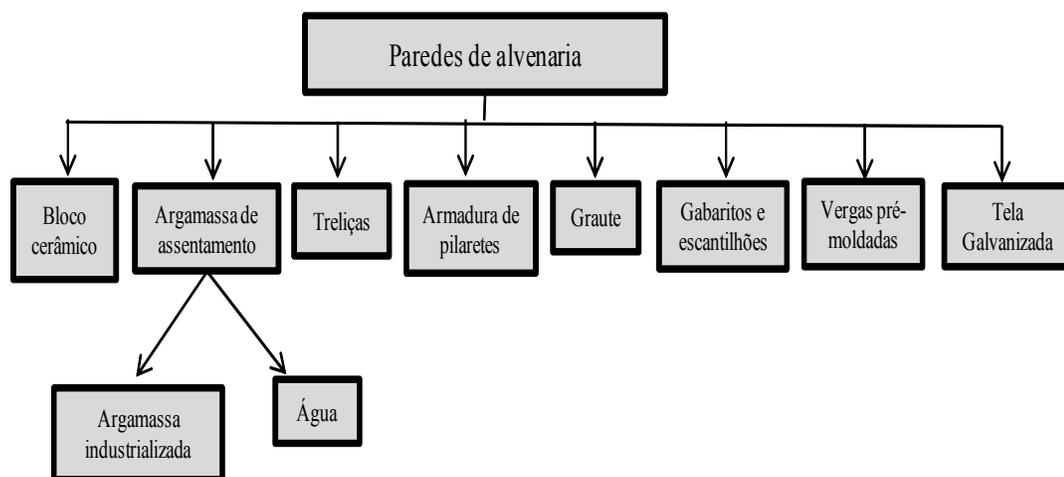


Figura 14: materiais necessários para execução de paredes em alvenaria estrutural

Todos estes materiais e equipamentos são depositados ou possuem uma central de produção em algum local do canteiro da obra. A figura 15 apresenta um *layout* do canteiro, com os principais depósitos de materiais e os fluxos existentes entre estes e as torres. Analisando o *layout*, percebe-se que algumas melhorias em relação ao processo, como diminuição da distância entre alguns depósitos e os guinchos das torres e redução do tempo de transporte de alguns insumos até os pedreiros, poderiam ocorrer. Contudo, apesar destes problemas, não ocorreu a falta de materiais na produção da alvenaria em momento algum. Portanto, diagnosticou-se que o principal problema no abastecimento era em relação aos blocos cerâmicos no pavimento tipo. Não em relação à quantidade abastecida no pavimento, mas sim em relação à disponibilidade deles da maneira necessária aos pedreiros no momento correto.

Até pela existência de projetos de paginação, que exigem determinado bloco em posições específicas da parede, os pedreiros não tinham os blocos com as características que necessitavam perto de si e nem na quantidade correta. Isto gerava uma intensa movimentação na laje, por parte dos profissionais e seus ajudantes, em busca dos blocos com as características necessárias que se encontravam espalhados pelo pavimento.

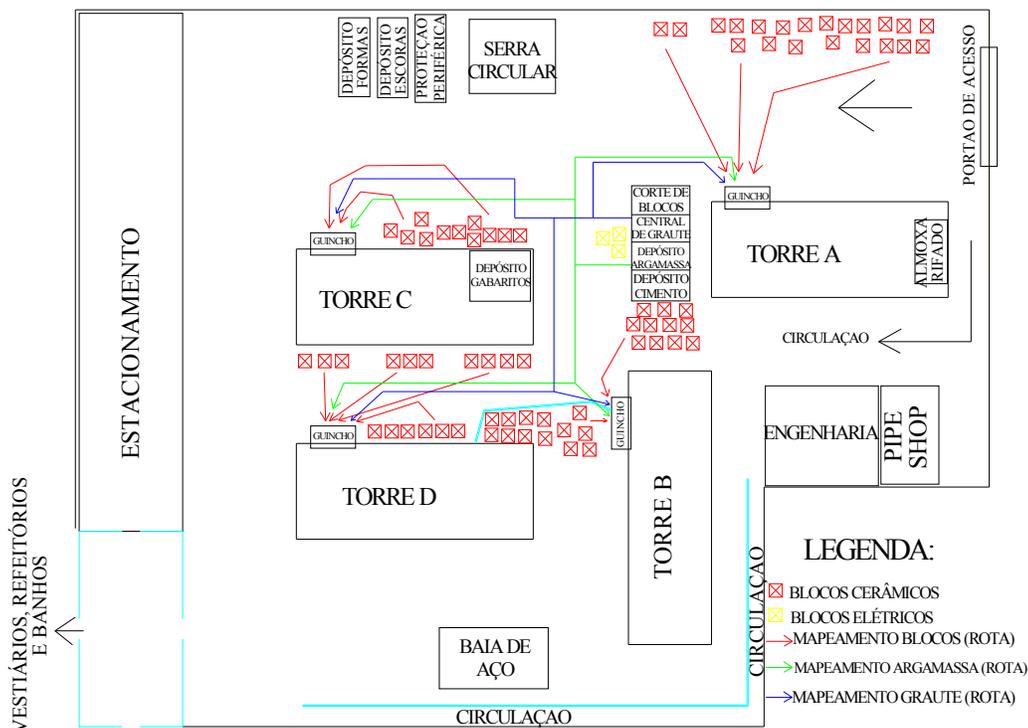


Figura 15: layout do canteiro da obra em estudo

Procurou-se então implementar uma ferramenta na obra para solucionar este problema. Esta foi o Kanban, que é uma ferramenta do sistema JIT (*Just in Time*) com a finalidade de fornecer o material na quantidade certa, no local certo e no momento apropriado. Ela consiste em um cartão onde está especificada a quantidade de um material para um determinado local de aplicação. À medida que o material seja necessário na produção, o Kanban é utilizado para transmitir esta informação.

O cartão de Kanban utilizado na obra é apresentado na figura 16. Este Kanban refere-se à elevação das paredes de alvenaria. Ele mostra claramente qual é a parede a que se refere, assim como as fotos e a denominação dos blocos cerâmicos e elementos pré-moldados e as

suas quantidades unitárias. Os blocos especiais com caixas elétricas também devem ser especificados no Kanban, pois já vêm cortados dos fornecedores e sobem ao pavimento com as caixas já instaladas, o que ocorre em uma central para instalação destas caixas existente no canteiro. No Kanban também devem ser especificados os cortes nos blocos. Muitos são cortados para passagem do aço do pilarete na última fiada, encaixe das calhas no encontro de paredes e existência de janelas de inspeção do grauteamento. Portanto, os blocos podem ser cortados na central existente em obra e transportados ao pavimento no momento em que forem solicitados.

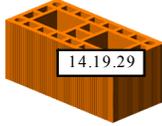
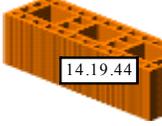
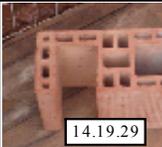
MATERIAIS PARA ELEVAÇÃO DE PAREDES					
PAREDE <b>23</b> :		PARA 1 (UMA) PAREDE		NOME DA OBRA	
KANBAN DA 2ª A 13ª FIADA					
BLOCO 14 cm	QUANT.	BLOCO 14 cm	QUANT.	BLOCO ELÉTRICO 14 cm	QUANT.
	140		25		1
BLOCO 14 cm	QUANT.	BLOCO 09x19x29	QUANT.	Bloco 14x44 c/ 1 corte	QUANT.
	42		4		3
Bloco 14x29 c/ 1 corte	QUANT.	BLOCO 14 cm	QUANT.		QUANT.
	1		2		
	QUANT.		QUANT.	OBSERVAÇÕES:	

Figura 16: cartão do Kanban de elevação da alvenaria

O Kanban de primeira fiada, representado na figura 17, possui algumas diferenças em relação ao de elevação das paredes. Ele refere-se à totalidade dos blocos utilizados na marcação, computando todas as paredes. Isto ocorre porque a marcação é executada antes por uma equipe específica e o lote de transporte de apenas uma parede seria pequeno e prejudicial à

produção. Como se nota, neste Kanban também estão especificados os blocos com cortes. É importante salientar que, apesar da marcação na primeira fiada ser com o assentamento apenas dos blocos principais, os outros blocos transportados neste Kanban são posicionados ao lado das paredes para o momento da equipe de elevação iniciar seu trabalho.

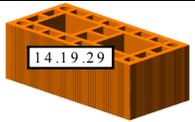
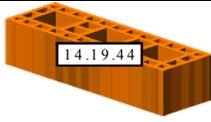
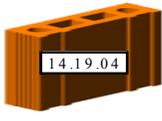
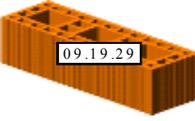
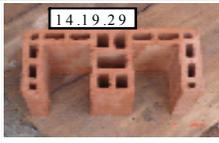
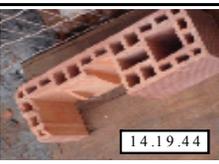
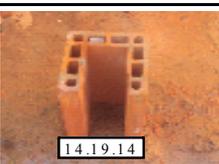
MATERIAIS PARA MARCAÇÃO DE PAREDES					
PARA TODO PAV. TIPO		KANBAN DE MARCAÇÃO DE ALVENARIA		NOME DA OBRA	
<b>BLOCOS INTEIROS</b>					
BLOCO 14 cm	QUANT.	BLOCO 14 cm	QUANT.	BLOCO 14 cm	QUANT.
	1038		48		12
BLOCO 14 cm	QUANT.	BLOCO 14 cm	QUANT.	BLOCO 19 cm	QUANT.
	12		25		20
BLOCO 09 cm	QUANT.				
	18				
<b>BLOCOS CORTADOS</b>					
BLOCO 14X29 com 1 corte	QUANT.	BLOCO 14X29 com 2 cortes	QUANT.	BLOCO 44 c/ 1 corte no meio	QUANT.
	158		74		35
BLOCO 14X44 com 2 cortes	QUANT.	BLOCO 14X14 com 1 corte	QUANT.		
	5		4		

Figura 17: cartão do Kanban de marcação da alvenaria

Sempre se deve realizar o ajuste do Kanban à medida que este é aplicado nos pavimentos. Os quantitativos teóricos existentes nos projetos utilizados para montagem deles não necessariamente refletem a realidade de execução. Adaptações podem surgir durante a execução ou a identificação de erros nos levantamentos iniciais. Os Kanbans devem então ser

ajustados para que reflitam as quantidades de materiais efetivamente utilizadas nos pavimentos.

Para aplicação correta da ferramenta é fundamental o comprometimento e treinamento dos funcionários envolvidos no processo. O guincheiro da torre é responsável por todo gerenciamento do abastecimento destes materiais. Ele possui uma pasta com os Kanbans de todas as paredes do pavimento e através desta, ele irá instruir seus ajudantes a recolher nos *pallets* os blocos na quantidade exata para determinada parede, conforme lhe for solicitado. O guincheiro costuma utilizar uma caneta para identificar os números das paredes em alguns dos blocos sendo transportados, de forma a facilitar a gestão no pavimento tipo. Quando as cargas chegam a este pavimento, os serventes têm facilidade em identificar a qual vista os blocos pertencem e transportá-los até os postos de trabalho.

O encarregado de alvenaria também tem papel fundamental na gestão do processo. A partir do mapa de ataque à alvenaria do pavimento, cabe a ele juntamente com a gerência da obra definir a distribuição da equipe de alvenaria nas regiões de execução definidas. A partir deste momento, se sabe quais regiões serão as primeiras a serem realizadas e quais vistas também. O encarregado, à medida que gerencia todo processo de execução da alvenaria e acompanha a produção dos pedreiros, estando atento às suas necessidades, deve manter comunicação constante com o guincheiro, procurando informá-lo sobre qual parede deve ser abastecida em determinado momento. Ele deve sempre procurar abastecer as paredes antecipadamente à sua execução, de forma a não deixar os pedreiros parados.

Os serventes abastecendo os pedreiros nos pavimentos tipo devem ser treinados e ter entendimento de como a ferramenta funciona e como aplicá-la. À medida que os blocos são transportados, estes profissionais devem efetuar a descarga do guincho, transportando os blocos para a respectiva parede. Os materiais sempre devem ser posicionados de forma organizada, facilitando ao máximo a execução pelo pedreiro. Por exemplo, o posicionamento dos blocos verticalmente facilita o manuseio dos pedreiros no momento de recolhê-los do chão. É importante também que estes serventes tenham uma pasta com os kanbans e a capacidade de novamente separar e contar os blocos. Isto pode ser necessário no caso de várias vistas terem sido carregadas no guincho simultaneamente ou das cargas serem estocadas próximas do guincho para liberar este mais rapidamente, demandando uma recontagem dos blocos.

### 5.3.4 Operação de grauteamento

O grauteamento da alvenaria tem grande importância para a estabilidade da estrutura, à medida que representa um reforço na resistência das paredes. A adoção de tecnologias industrializadas e formação de uma equipe específica para os serviços relacionados ao grauteamento, como preparação das células, lançamento e adensamento do mesmo, podem representar benefícios na execução da alvenaria. A diminuição do ciclo de execução, melhor controle de qualidade do serviço realizado e aumento de produtividade dos pedreiros, à medida que estes não mais precisam realizar esta atividade, são algumas destas vantagens.

Na obra em estudo, planejou-se realizar o grauteamento das estruturas com o auxílio de uma bomba. Esta é utilizada para realização do graute dos pilaretes e das canaletas da última fiada. As vergas e contra-vergas são grauteadas pelos próprios pedreiros de elevação com o graute sendo produzido em uma central na obra.

O grauteamento bombeado proposto é realizado com o auxílio da mesma bomba utilizada nas concretagens. É recomendável que seja realizado em dia diferente da concretagem da laje. Desta forma não se compromete a qualidade da armadura, com o afastamento dos positivos e esmagamento dos negativos pela circulação de pessoas, e também das instalações, com o esmagamento e deslocamento das caixas e eletrodutos. Também se tem controle da qualidade da laje, à medida que o assoalho pode ser limpo para retirada do graute esparramado, o que não poderia ocorrer se armadura e instalações já tivessem sido posicionadas. Apesar da montagem do assoalho antes da execução do graute apresentar benefícios para a operação, não se recomenda isto, à medida que pode ocasionar quebras das canaletas de respaldo. Caso se opte por executar o graute no mesmo dia da concretagem, existe a possibilidade de grautear apenas os pilaretes e concretar as calhas, uma vez que a resistência do concreto é superior a do graute.

Este graute bombeado permite a realização de toda operação em poucas horas, diminuindo significativamente o tempo de ciclo da alvenaria. Contudo, para que esta operação ocorra como planejada e com o controle de qualidade requerido pela empresa, é interessante formar uma equipe que seja responsável apenas por esta atividade. Esta equipe é composta por pedreiros e serventes e tem a função de preparação das células para o graute, lançamento e adensamento do mesmo. Ela segue a execução da alvenaria pelos pedreiros deixando as células limpas e preparadas para recebimento do graute. No dia do grauteamento, são

espalhadas pela laje diversas caixas onde é depositado o graute pela bomba, permitindo que a equipe retire destas e lance o graute nos pilaretes e canaletas, com auxílio de carrinhos de mão. Desta forma, apesar desta operação ser chamada de grauteamento bombeado, apenas o transporte vertical do graute é realizado com auxílio da bomba, à medida que no pavimento tipo o lançamento é realizado manualmente nos pilaretes e calhas. A figura 18 apresenta a realização desta operação de grauteamento, como o lançamento deste graute nas caixas espalhadas na laje e também nos pilaretes e a limpeza do assoalho.



Figura 18: (a) disposição das caixas e mangote da bomba na laje; (b) lançamento do graute nas caixas; (c) adensamento do graute com barra de aço auxiliar; (d) limpeza do assoalho após grauteamento

É importante salientar que este grauteamento bombeado representa o que foi planejado pela gerência da obra no começo do empreendimento. Contudo, devido a alguns problemas, esta tecnologia só pode ser utilizada nos últimos pavimentos do empreendimento. Antes disto, o grauteamento de todas as estruturas, incluindo calhas e pilaretes, era produzido em obra e lançado por uma equipe em separado também, o que representava um tempo de execução muito maior. O dimensionamento das equipes do grauteamento produzido em obra ou bombeado era muito semelhante. Apenas no momento de bombeamento do graute era necessário reforçar a equipe, mas somente pelo curto período de duração desta operação.

## 6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos referentes ao sistema de planejamento de execução na alvenaria estrutural implementado na obra em estudo. Através de indicadores de produtividade das equipes de produção e do ciclo de execução das etapas, procurou-se avaliar a eficácia que ferramentas, estratégias e procedimentos de planejamento de execução propostos tiveram no sistema.

À medida que se adotaram equipes distintas de produção para cada duas torres do empreendimento, pelo ciclo de produção da estrutura ser intercalado, também se analisou separadamente a eficiência do sistema de planejamento de execução nestas torres. Isto ocorre pelo fato das torres A e B, com dez pavimentos tipo, e as torres C e D, com sete, possuírem equipes de produção diferentes, com capacidades produtivas distintas e a aplicação dos procedimentos e ferramentas de planejamento terem acontecido em momentos distintos.

A metodologia adotada para avaliar a eficácia do sistema de planejamento executivo proposto, de maneira a facilitar a análise e compreensão dos dados, foi a de dividir os pavimentos das torres em cenários, que representem realidades de produção distintas. Nestes cenários são agrupados pavimentos com as mesmas características de produção e de aplicação das ferramentas e estratégias de planejamento implementados. Desta forma, obtêm-se diferentes realidades de produção nas torres, permitindo através da comparação destas, com o auxílio de indicadores de desempenho, a avaliação dos benefícios gerados pelo sistema de planejamento de execução. A seguir são apresentados, avaliados e comparados os resultados dos diferentes cenários de produção, das equipes das torres A e B e torres C e D.

### 6.1 CENÁRIO 1

Este cenário representa a realidade de produção existente nos primeiros pavimentos do empreendimento, quando o sistema de planejamento executivo não havia sido implementado. Equipes distintas de produção para as etapas de marcação e elevação da alvenaria já existiam, contudo estas equipes apresentavam problemas de dimensionamento e composição, até pela variabilidade da mão de obra existente. Consequentemente, o ciclo de execução da alvenaria era maior do que o planejado. Apesar de o planejado ser que esta equipe específica de

marcação deveria assentar somente os blocos principais, neste cenário os profissionais da equipe assentaram todos os blocos da primeira fiada.

Nestes pavimentos não existia um plano de ataque à alvenaria, com estabelecimento de regiões de execução para os profissionais, um sequenciamento definido de execução das vistas e uma distribuição formal dos pedreiros nestas regiões. A alocação dos pedreiros no pavimento, assim como a definição de quais paredes executar e em que ordem, era realizada de maneira informal, sendo definida pelo encarregado de alvenaria. Nestes primeiros pavimentos, a empresa ainda encontrava-se em um processo de captação de profissionais no mercado. Por isso, a rotatividade de profissionais na obra em estudo era muito grande, o que prejudicava a formação das equipes de produção, gerava uma mão de obra, em geral, muito desqualificada e um índice de retrabalhos enorme na alvenaria. Estes fatores também eram prejudiciais ao desempenho da produção.

O abastecimento de materiais não vinha prejudicando a produtividade dos profissionais. Contudo, nos pavimentos deste cenário 1, não foi utilizada nenhuma ferramenta, como o Kanban, para auxiliar o abastecimento de materiais, disponibilizando estes de uma maneira mais organizada, nas quantidades corretas e no momento apropriado, maximizando assim o desempenho dos pedreiros. Nestes pavimentos o grauteamento das estruturas não foi bombeado como se havia planejado inicialmente. O graute era produzido em uma central na obra e executado por uma equipe apenas responsável por este serviço. Contudo, esta equipe era composta por um número de profissionais abaixo do necessário, o que gerava um ciclo de grauteamento acima do planejado.

### **6.1.1 Cenário 1 nas torres A e B**

No quadro 1 são apresentados os resultados encontrados para o cenário 1 nos pavimentos das torres A e B inseridos nesta realidade de produção. Esse quadro apresenta a identificação dos pavimentos, o número de dias trabalhados nas etapas de marcação, elevação e graute, o total de dias para execução de toda alvenaria do pavimento e os indicadores de produtividade gerados. É importante salientar que estes indicadores referem-se apenas à etapa de elevação da alvenaria. À medida que as fases de marcação e grauteamento ocorreram com

metodologias distintas e com equipes diferentes das de elevação, não seria possível gerar os indicadores de produtividade para elas.

CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA - TORRES A e B - CENÁRIO 1											
							INDICADORES APENAS DA ELEVÇÃO DE ALVENARIA				
	PAV.	ÁREA TOTAL ALVENARIA (m²)	CICLO TEÓRICO DA ALVENARIA (DIAS)	CICLO DA MARCAÇÃO (DIAS)	CICLO ELEVÇÃO ALVENARIA (DIAS)	CICLO DO GRAUTE (DIAS)	CICLO EFETIVO EXECUÇÃO ALVENARIA (DIAS)	Nº MÉDIO DE PEDREIROS NA ELEVÇÃO DE ALVENARIA	QTDE DE HORAS	PRODUTIVIDADE (h.h/m²)	PRODUTIVIDADE (m²/pedreiro/dia)
Torre A	TÉRREO	1089,36	15	7,8	18,7	13,5	29,3	12,1	1991,18	1,83	4,81
	2º	1081,51	10	9,50	16,6	19,6	34,1	12,17	1777,79	1,64	5,35
	3º	1081,51	10	9,7	16,7	15,8	27,7	8,98	1319,70	1,22	7,21
	4º	1081,51	8	11,00	19,1	11,1	24,1	5,5	924,44	0,85	10,30
Torre B	TÉRREO	1089,36	15	10,8	14,8	9,7	26,2	12,35	1608,46	1,48	5,96
	2º	1081,51	10	14,6	10,5	8	24,1	13,43	1240,93	1,15	7,67
	3º	1081,51	10	13,8	19,8	9	22,8	5,1	888,62	0,82	10,71
	MÉDIAS	1083,75	11,14	11,03	16,60	12,39	26,90	9,95	1393,02	1,28	7,43

Quadro 1: resultados do cenário 1 para torres A e B

O quadro demonstra que os ciclos médios de execução da alvenaria estão muito altos nestes pavimentos, muito acima dos ciclos teóricos planejados inicialmente. Os ciclos de marcação apresentam valores acima do esperado também pelo fato da marcação da primeira fiada ter sido realizada nestes pavimentos de maneira completa. Todos os blocos de primeira fiada foram assentados pela equipe específica de marcação. O planejado inicialmente era o assentamento apenas dos blocos principais e amarrações das paredes por esta equipe e os outros blocos da primeira fiada pela equipe de elevação. Consequentemente estes ciclos apresentaram valores muito elevados.

Os indicadores de produtividade também estão longe do esperado, como a média de 7,43 m²/pedreiro/dia, que está longe da produtividade diária mínima de 15 m² definida pela empresa. O 4. pavimento da torre A e o 3. da torre B já apresentaram resultados melhores da produtividade de seus profissionais. Isto ocorreu devido ao processo de formação das equipes que ocorria na obra neste período. Com isso, estes pavimentos foram executados com os poucos profissionais que haviam demonstrado qualificação até o momento, e não com os outros que apresentaram limitações, como nos pavimentos anteriores.

### 6.1.2 Cenário 1 nas torres C e D

No quadro 2 são apresentados os resultados dos pavimentos nas torres C e D inseridos nesta realidade de produção do cenário 1. Os ciclos de execução das etapas de alvenaria são muito elevados e os indicadores de produtividade médios estão muito fracos. O índice médio de 1,19 h.h/m<sup>2</sup> indica que é necessário mais de uma hora de um profissional para executar apenas 1 m<sup>2</sup>. Como o m<sup>2</sup> tem em torno de 17 blocos, este indicador mostra que o profissional demora mais de 4 minutos para assentar um bloco. Isto reflete a baixa qualificação dos profissionais trabalhando nestes pavimentos e os benefícios que podem ocasionar a implementação efetiva de estratégias e ferramentas de planejamento de execução no desempenho dos profissionais e nos ciclos das etapas de execução da alvenaria.

É importante salientar que apesar da mesma equipe executar a alvenaria das duas torres, existem variações nos tempos de ciclo dos pavimentos devido principalmente a variação do número de pedreiros da equipe, como se nota no quadro. Esta variação deve-se a grande rotatividade de profissionais trabalhando na obra, o que também explica a variabilidade dos indicadores de produtividade, à medida que não foram necessariamente os mesmos pedreiros que compuseram a equipe nestes pavimentos. O 2. pavimento da torre C apresentou um ciclo de produção muito elevado na etapa de marcação devido a necessidade de nova execução deste serviço, à medida que primeiramente havia sido realizado de maneira incorreta.

CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA - TORRES C e D - CENÁRIO 1											
								INDICADORES APENAS DA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA			
	PAV.	ÁREA TOTAL ALVENARIA (m <sup>2</sup> )	CICLO TEÓRICO DA ALVENARIA (DIAS)	CICLO DA MARCAÇÃO (DIAS)	CICLO ELEVAÇÃO ALVENARIA (DIAS)	CICLO DO GRAUTE (DIAS)	CICLO EFETIVO ENXECUÇÃO ALVENARIA (DIAS)	Nº MÉDIO DE PEDREIROS NA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA	QTEDE HORAS	PRODUTIVIDADE (h.h/m <sup>2</sup> )	PRODUTIVIDADE (m <sup>2</sup> /pedreiro/dia)
Torre C	TÉRREO	1089,36	15	8,7	16,8	9,5	26,4	10,7	1581,89	1,45	6,06
	2º	1081,51	10	17,70	14,8	12	33,5	7,57	985,92	0,91	9,65
Torre D	TÉRREO	1089,36	15	7,5	17	7,8	25,8	11,8	1765,28	1,62	5,43
	2º	1081,51	10	11,6	18,3	6,5	23,3	5,7	917,93	0,85	10,37
	3º	1081,51	10	6	13	6	24	10,6	1212,64	1,12	7,85
	MÉDIAS	1084,65	12,00	10,30	15,98	8,36	26,60	9,27	1292,73	1,19	7,87

Quadro 2: resultados do cenário 1 para torres C e D

## 6.2 CENÁRIO 2

Este cenário representa uma realidade de produção com algumas mudanças em relação aquela apresentada no cenário 1. A obra não sofre mais tanto com a rotatividade dos profissionais, o que possibilita uma melhor composição das equipes, com a definição dos pedreiros que fazem parte delas. Contudo, o número de profissionais disponíveis ainda está abaixo do necessário. Portanto, alguns pedreiros de boa capacidade produtiva são alocados na equipe, porém este contingente está aquém do dimensionado inicialmente.

Nos pavimentos do cenário 2 ocorreram a aplicação do plano de ataque à alvenaria proposto anteriormente. A distribuição dos profissionais no pavimento ocorreu de maneira formal e organizada nas regiões de execução estabelecidas. A sequência de execução destas e das vistas também foi seguida, de forma que os pedreiros tivessem toda informação e orientação de como executar seu serviço.

### 6.2.1 Cenário 2 nas torres A e B

O quadro 3 apresenta os resultados da produção de alvenaria dos pavimentos das torres A e B inseridos na realidade do cenário 2. Nota-se que os ciclos de execução das etapas de alvenaria, assim como o número de pedreiros na equipe e os indicadores de produtividade, têm valores mais satisfatórios em relação ao cenário anterior. Isto reflete a estabilização de profissionais nas equipes de produção, o aprendizado que estes vêm adquirindo a cada pavimento e os benefícios proporcionados pelo estabelecimento de um plano de ataque à alvenaria, com definição de um seqüenciamento de execução e distribuição organizada dos pedreiros no pavimento.

Analisando-se os indicadores de produtividade, constata-se que eles têm melhorado à medida que os pavimentos vão sendo executados. Isto reflete a melhora de produção que pode representar o estabelecimento de um planejamento de execução da alvenaria. A cada pavimento os profissionais assimilam mais esta maneira de se trabalhar no pavimento, o que representa uma melhora no desempenho deles.

CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA - TORRES A e B - CENÁRIO 2											
								INDICADORES APENAS DA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA			
	PAV.	ÁREA TOTAL ALVENARIA (m²)	CICLO TEÓRICO DA ALVENARIA (DIAS)	CICLO DA MARCAÇÃO (DIAS)	CICLO ELEVAÇÃO ALVENARIA (DIAS)	CICLO DO GRAUTE (DIAS)	CICLO EFETIVO EXECUÇÃO ALVENARIA (DIAS)	Nº MÉDIO DE PEDREIROS NA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA	QI DE HORAS	PRODUTIVIDADE (h.l/m²)	PRODUTIVIDADE (m²/pedreiro/dia)
Torre A	5º	1081,51	8	7,3	10	6	18,8	8,4	739,20	0,68	12,88
	4º	1081,51	8	5,3	10,6	9	21,6	6,98	651,09	0,60	14,62
Torre B	5º	1081,51	8	9,2	8,95	7,25	20,2	6,82	537,14	0,50	17,72
	MÉDIAS	1081,51	8,00	7,27	9,85	7,42	20,20	7,40	642,48	0,59	15,07

Quadro 3: resultados do cenário 2 para torres A e B

## 6.2.2 Cenário 2 nas torres C e D

Assim como nas torres A e B, pode-se observar no quadro 4 que os resultados de produção obtidos nesta realidade nas torres C e D também são de melhorias do desempenho dos profissionais. Os indicadores médios de produtividade apresentaram evolução em relação ao cenário 1. Constata-se também que, apesar da variação do número de pedreiros trabalhando nos pavimentos, que deve ser creditada à saída de profissionais ocorrida naquele período, a capacidade produtiva da equipe manteve-se constante e satisfatória, o que é demonstrado pelos valores dos indicadores. Isto reflete o efeito causado pela implementação de um plano de ataque à alvenaria neste cenário que organizou e auxiliou o melhor gerenciamento da produção.

CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA - TORRES C e D - CENÁRIO 2											
								INDICADORES APENAS DA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA			
	PAV.	ÁREA TOTAL ALVENARIA (m²)	CICLO TEÓRICO DA ALVENARIA (DIAS)	CICLO DA MARCAÇÃO (DIAS)	CICLO ELEVAÇÃO ALVENARIA (DIAS)	CICLO DO GRAUTE (DIAS)	CICLO EFETIVO EXECUÇÃO ALVENARIA (DIAS)	Nº MÉDIO DE PEDREIROS NA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA	QI DE HORAS	PRODUTIVIDADE (h.l/m²)	PRODUTIVIDADE (m²/pedreiro/dia)
Torre C	3º	1081,51	10	4,4	9,3	4,3	17	9,6	785,66	0,73	12,11
	4º	1081,51	8	7,00	14	6	22	6,5	800,80	0,74	11,88
	MÉDIAS	1081,51	9,00	5,70	11,65	5,15	19,50	8,05	793,23	0,73	12,00

Quadro 4: resultados do cenário 2 para torres C e D

### 6.3 CENÁRIO 3

A realidade de produção deste cenário apresenta a implementação de mais algumas ferramentas e estratégias propostas no sistema de planejamento executivo referenciado. Nos pavimentos inseridos neste cenário foi aplicada a ferramenta Kanban descrita anteriormente para abastecimento dos blocos e elementos pré-moldados. A utilização de bomba no auxílio do grauteamento das canaletas e pilaretes da alvenaria também foi implementada, objetivando a diminuição do ciclo de execução desta etapa. Para que esta operação ocorresse de maneira satisfatória foi necessário reforçar a equipe que vinha executando o grauteamento produzido em obra. À medida que o volume de graute é lançado num tempo menor, necessitou-se de um número grande de profissionais para executar o serviço. Também é importante que ao menos uma parte da equipe realize, à medida que a alvenaria vai sendo concluída, a preparação e limpeza das células dos blocos. A quantidade destes profissionais e o tempo demandado para a preparação das células é o mesmo de quando o graute era produzido em obra. Enquanto no grauteamento produzido em obra a equipe de lançamento e adensamento do graute era composta por em torno de 8 profissionais, entre pedreiros e serventes, para ciclos de execução de diversos dias, no grauteamento bombeado a equipe foi reforçada para 12 profissionais, em um pequeno período de tempo, com resultados muito mais eficientes. Mesmo com este leve aumento da equipe, a eficiência da operação do grauteamento bombeado foi muito maior.

Nestes pavimentos, devido aos resultados insatisfatórios que vinham sendo obtidos com uma equipe em separado para a marcação, estabeleceu-se que a equipe de elevação da alvenaria também seria responsável pela marcação. À medida que os pedreiros dependem da marcação para executar o resto da parede, concluiu-se que a equipe poderia executar este serviço com maior comprometimento e em menor prazo. O assentamento de todos os blocos é realizado e, assim como na elevação de alvenaria, inicia-se no lado oposto ao da localização do guincho. Este cenário apresenta assim como a realidade do cenário 2, equipes de execução da alvenaria estabilizadas, uma qualificação da mão de obra bem superior em relação ao início da obra e um índice de retrabalho bem menor na execução dos serviços.

### 6.3.1 Cenário 3 nas torres A e B

Nas torres A e B, conforme o quadro 5, observa-se que os ciclos de execução das etapas de alvenaria e os indicadores de produtividade têm valores mais uniformes e próximos dos pretendidos pela empresa. A única exceção é o 6. pavimento da torre A, em que a marcação de alvenaria não foi totalmente realizada pela equipe de elevação, prejudicando o ciclo.

Estes valores encontrados refletem principalmente os ganhos obtidos com a implementação do grauteamento bombeado e a definição da execução da marcação de alvenaria pela mesma equipe da elevação. O ciclo de execução do graute passou a ser menos de meio-dia, em torno de duas a três horas, o que se comparado com anteriormente quando demorava vários dias, representa um benefício enorme. Este ciclo de graute refere-se apenas à operação de lançamento e adensamento deste, da mesma maneira que se avaliou quando da aplicação do graute produzido na obra. A marcação também apresentou grandes melhoras no ciclo, que chegou a ser executado em dois dias, isto sendo contabilizados a colocação dos escantilhões e gabaritos para a elevação das paredes.

CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA - TORRES A e B - CENÁRIO 3											
								INDICADORES APENAS DA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA			
	PAV.	ÁREA TOTAL ALVENARIA (m <sup>2</sup> )	CICLO TEÓRICO DA ALVENARIA (DIAS)	CICLO DA MARCAÇÃO (DIAS)	CICLO ELEVAÇÃO ALVENARIA (DIAS)	CICLO DO GRAUTE (DIAS)	CICLO EFETIVO EXECUÇÃO ALVENARIA (DIAS)	Nº MÉDIO DE PEDREIROS NA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA	QTDE DE HORAS	PRODUTIVIDADE (h.h/m <sup>2</sup> )	PRODUTIVIDADE (m <sup>2</sup> /pedreiro/dia)
Torre A	6°	1081,51	8	6,00	7,5	0,6	14,1	10,27	677,82	0,63	14,04
	7°	1081,51	8	2,15	6,5	0,3	8,95	10,62	607,46	0,56	15,67
	8°	1081,51	8	2	6	0,25	8	10,17	536,98	0,50	17,72
Torre B	6°	1081,51	8	3,5	7	0,3	10,8	9,43	580,89	0,54	16,38
	7°	1081,51	8	2	6,5	0,25	8,75	10,31	589,73	0,55	16,14
	8°	1081,51	8	2	6	0,35	8	10,33	545,42	0,50	17,45
	MÉDIAS	1081,51	8,00	2,94	6,58	0,34	9,77	10,19	589,72	0,55	16,23

Quadro 5: resultados do cenário 3 para torres A e B

### 6.3.2 Cenário 3 nas torres C e D

O quadro 6 apresenta os resultados da produção das torres C e D inseridos na realidade existente no cenário 3. Estes resultados se mostraram um pouco contraditórios. A marcação de

alvenaria executada pela equipe de elevação da torre apresentou uma melhora, não atingindo o ciclo de 1,5 a 2 dias como nas outras torres apenas pela falta de qualificação da equipe. O grauteamento bombeado apresentou resultados muito satisfatórios, com a execução de todo pavimento em poucas horas.

Contudo, apesar destes ganhos de tempo de execução na marcação e no graute, observa-se que o ciclo total de execução da alvenaria foi alto e os indicadores de desempenho da equipe foram abaixo dos apresentados em pavimentos anteriores. Credita-se isso à troca dos profissionais da equipe. No período de execução destes pavimentos, a grande maioria dos pedreiros desta equipe deixou a empresa vislumbrando uma melhor situação econômica. Como são pagos por produtividade e não vinham apresentando os resultados esperados, o retorno financeiro não era o aguardado por estes profissionais. Consequentemente, a empresa teve de recompor praticamente toda equipe. Esta mão de obra recém contratada e ainda não treinada explica o porquê de indicadores de produtividade tão fracos e ciclos de produção acima dos planejados.

CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA - TORRES C e D - CENÁRIO 3											
								INDICADORES APENAS DA ELEVÇÃO DE ALVENARIA			
	PAV.	ÁREA TOTAL ALVENARIA (m <sup>2</sup> )	CICLO TÍPICO DA ALVENARIA (DIAS)	CICLO DA MARCAÇÃO (DIAS)	CICLO ELEVÇÃO ALVENARIA (DIAS)	CICLO DO GRAUTE (DIAS)	CICLO REATIVO EXECUÇÃO ALVENARIA (DIAS)	Nº MÉDIO DE PEDREIROS NA ELEVÇÃO DE ALVENARIA	QDE DE HORAS	PRODUTIVIDADE (h/m <sup>2</sup> )	PRODUTIVIDADE (m <sup>2</sup> /pedreiro/dia)
Torre C	5	1081,51	8	5	17,5	0,25	22,5	9,1	1401,40	1,30	6,79
Torre D	4	1081,51	8	42	13	0,3	16,5	10,8	1235,52	1,14	7,70
	MÉDIAS	1081,51	8,00	4,60	15,25	0,28	19,50	9,95	1318,46	1,22	7,25

Quadro 6: resultados do cenário 3 para torres C e D

## 6.4 COMPARAÇÕES ENTRE RESULTADOS DE DIFERENTES CENÁRIOS

Os cenários nos quais os pavimentos foram divididos representam diversas realidades de produção e diferentes níveis de aplicação das ferramentas e estratégias do sistema de planejamento de execução proposto. A seguir é apresentada e analisada a comparação entre os resultados obtidos nestes cenários para as diferentes torres. Para esta análise é utilizado um

quadro que mostra as médias dos ciclos de execução e dos indicadores entre os diversos pavimentos de cada cenário, de forma que se agrupem os dados para auxiliar na comparação entre estas realidades. Para facilitar a análise, o quadro 7 apresenta um resumo das estratégias e ferramentas de planejamento e técnicas construtivas aplicadas em cada cenário de produção existente.

RESUMO DA APLICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS E FERRAMENTAS PROPOSTAS			
	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
PLANO DA ATAQUE À ALVENARIA	NÃO APLICADO	APLICADO	APLICADO
FERRAMENTA KANBAN DE ABASTECIMENTO	NÃO APLICADA	NÃO APLICADA	APLICADA
MARCAÇÃO EXECUTADA POR EQUIPE ESPECÍFICA	APLICADA	APLICADA	NÃO APLICADA
MARCAÇÃO EXECUTADA POR EQUIPE DE ELEVAÇÃO	NÃO APLICADA	NÃO APLICADA	APLICADA
GRAUTEAMENTO COM AUXÍLIO DE BOMBA	NÃO APLICADO	NÃO APLICADO	APLICADO

Quadro 7: resumo da aplicação das técnicas construtivas, estratégias e ferramentas de planejamento propostas nos cenários existentes

#### 6.4.1 Comparação entre cenários das torres A e B

O quadro 8 apresenta os resultados médios encontrados entre os pavimentos inseridos na realidade de produção de cada cenário existente.

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES CENÁRIOS - TORRES A E B													
									INDICADORES APENAS DA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA				
	CICLO MÉDIO DE MARCAÇÃO (DIAS)		CICLO MÉDIO DE ELEVAÇÃO ALVENARIA (DIAS)		CICLO MÉDIO DE GRAUTE (DIAS)		CICLO MÉDIO EXECUÇÃO TODA ALVENARIA (DIAS)		Nº MÉDIO DE PEDREIROS NA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA	PRODUTIVIDADE MÉDIA (h.h/m²)		PRODUTIVIDADE MÉDIA (m²/pedreiro/dia)	
	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL		VALORES	AUMENTO PERCENTUAL	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL
CENÁRIO 1	11,03	-----	16,6	-----	12,39	-----	26,9	-----	9,95	1,28	-----	7,43	-----
CENÁRIO 2	7,27	51,72%	9,85	68,53%	7,42	66,98%	20,2	33,17%	7,40	0,59	116,95%	15,07	102,83%
CENÁRIO 3	2,94	147,28%	6,58	49,70%	0,34	2082,35%	9,77	106,76%	10,19	0,55	7,27%	16,23	7,70%

Quadro 8: comparação de resultados entre cenários das torres A e B

Analisando esse quadro, observa-se a evolução ocorrida na produção da alvenaria estrutural à medida que pavimentos foram executados. Os ciclos de todas as etapas de execução, como

marcação, elevação e graute, assim como o ciclo da execução total da alvenaria, apresentaram melhoras significativas. Esta redução de todos os ciclos de execução pode ser mais bem interpretada no gráfico da figura 19. A marcação diminuiu em quase 4 vezes o ciclo médio em relação aos primeiros pavimentos destas torres. Contabilizando-se que a equipe de elevação que realizou a marcação no cenário 3 tem aproximadamente o dobro de profissionais da equipe específica de marcação utilizada inicialmente, e no cenário 3, realizou-se o assentamento completo da primeira fiada, o que não ocorria anteriormente, verifica-se que esta redução em 4 vezes de ciclo representa uma grande evolução.

A elevação de alvenaria, conforme demonstra o avanço percentual no quadro, reduziu para menos da metade o número de dias necessários para sua realização. O tecnologia de bombear o graute implementada foi a que representou um maior benefício em termos de redução do ciclo de alvenaria. Como se observa no quadro o aumento percentual foi superior a 2000% em relação ao grauteamento produzido na obra no cenário 2. O gráfico da figura 19 demonstra que eram necessários dias para esta operação anteriormente e a adoção da bomba modificou esta realidade para poucas horas. À medida que as etapas da alvenaria foram executadas em menor tempo, naturalmente o ciclo de todo processo de alvenaria também sofreu redução. É importante salientar que esta redução dos ciclos, causada em grande parte pela melhora de desempenho dos profissionais, pode estar relacionada com o efeito aprendido existente, principalmente nos primeiros pavimentos do empreendimento. Nestes pavimentos os profissionais vão assimilando a maneira de se trabalhar e naturalmente melhorando seu desempenho.

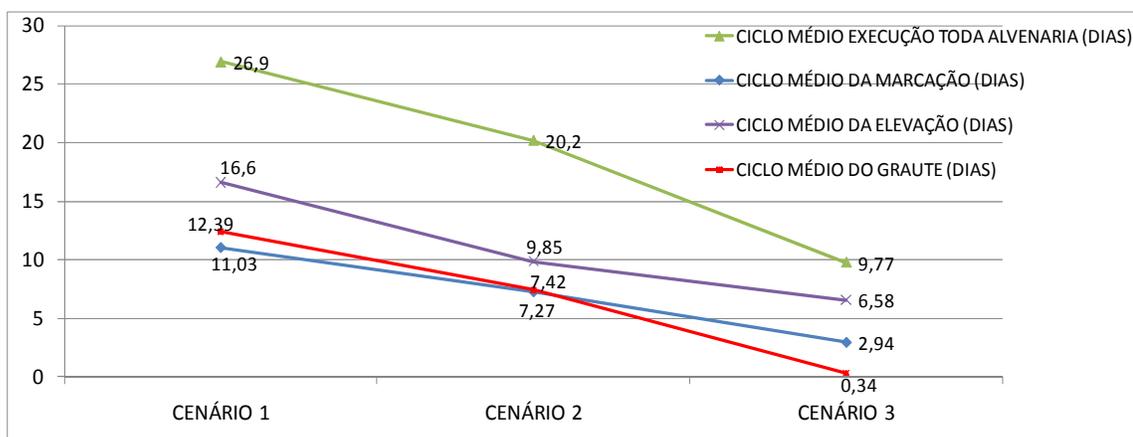


Figura 19: ciclos de execução nos cenários das torres A e B

Esta redução dos ciclos de execução, combinada com os melhores indicadores de produtividade apresentados pelas equipes, refletem a eficácia gerada pela implementação de um sistema de planejamento de execução na alvenaria estrutural. A evolução dos indicadores de produtividade dos profissionais nos diferentes cenários pode ser mais bem interpretada com o auxílio do gráfico da figura 20. Ele demonstra uma melhora de mais de 100% nestes índices em relação à realidade inicial da obra.

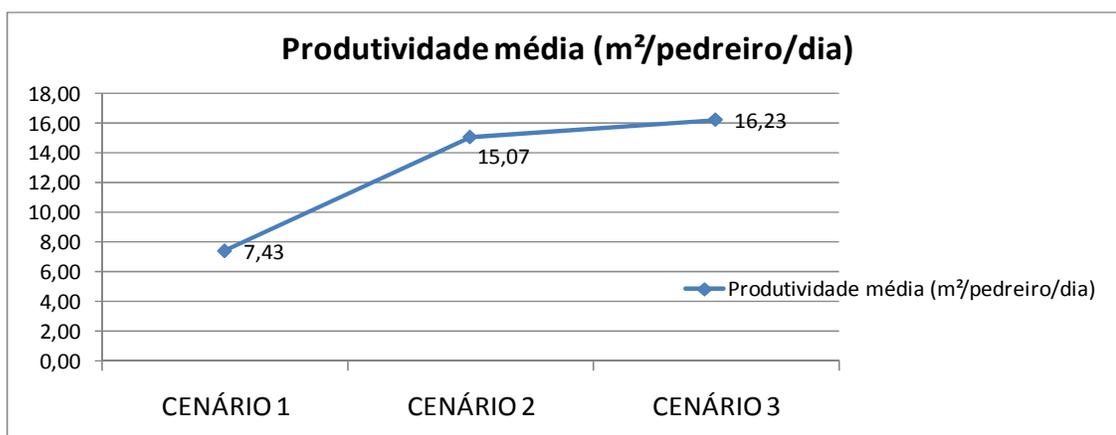


Figura 20: produtividades médias dos pedreiros nos cenários das torres A e B

Credita-se esta evolução dos ciclos de execução e da produtividade dos pedreiros ao planejamento executivo proposto. Tanto com o estabelecimento de um planejamento de ataque à alvenaria, que gerou uma melhora da produtividade dos profissionais por proporcionar um melhor gerenciamento da equipe de produção, quanto com o graute bombeado e a marcação executada pelos pedreiros de elevação, que proporcionaram reduções consideráveis dos ciclos de execução.

Entretanto, pode-se observar que a evolução dos indicadores de produtividade do cenário 2 para o 3 foi pequena, apenas em torno de 7%. Dentre as alterações existentes entre estas duas realidades, a que mais poderia ter causado um aumento do desempenho dos profissionais seria a utilização do Kanban de abastecimento, à medida que o graute bombeado e marcação executada pelos pedreiros de elevação representam reduções dos ciclos. Portanto, nota-se que esta ferramenta de abastecimento não representou um aumento significativo de produtividade. À medida que antes de aplicá-la não estavam faltando blocos no pavimento, estes dados estão coerentes. O principal benefício que ela apresentou foi a disponibilização dos materiais no

momento correto, quantidade certa e de forma organizada, proporcionando um ambiente produtivo desobstruído, limpo e mais organizado.

### 6.4.2 Comparação entre cenários das torres C e D

Os resultados médios dos pavimentos dos diferentes cenários existentes nestas torres são apresentados no quadro 9.

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES CENÁRIOS - TORRES C E D													
									INDICADORES APENAS DA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA				
	CICLO MÉDIO DE MARCAÇÃO (DIAS)		CICLO MÉDIO DE ELEVAÇÃO ALVENARIA (DIAS)		CICLO MÉDIO DE GRAUTE (DIAS)		CICLO MÉDIO EXECUÇÃO TODA ALVENARIA (DIAS)		Nº MÉDIO DE PEDREIROS NA ELEVAÇÃO DE ALVENARIA	PRODUTIVIDADE MÉDIA (h.h/m²)		PRODUTIVIDADE MÉDIA (m³/pedreiro/dia)	
	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL		VALORES	AUMENTO PERCENTUAL	VALORES	AUMENTO PERCENTUAL
CENÁRIO 1	10,3	-----	15,98	-----	8,36	-----	26,6	-----	9,27	1,19	-----	7,87	-----
CENÁRIO 2	5,7	80,70%	11,65	37,17%	5,15	62,33%	19,5	36,41%	8,05	0,73	63,01%	12,00	52,48%
CENÁRIO 3	4,6	23,91%	15,25	-23,61%	0,28	1739,29%	19,5	0,00%	9,95	1,22	-40,16%	7,25	-39,58%

Quadro 9: comparação de resultados entre cenários das torres C e D

Pode-se observar que reduções dos ciclos de execução e melhoras nos indicadores de desempenho dos profissionais ocorreram em relação aos pavimentos iniciais das torres. Conforme indicado no quadro e melhor demonstrado no gráfico da figura 21, as principais reduções de ciclo ocorreram com a aplicação do graute bombeado e marcação executada pelos pedreiros de elevação, apesar da falta de qualificação dos profissionais desta equipe. Contudo, devido à necessidade de reestruturação da equipe de elevação nos pavimentos do cenário 3 pela saída de muitos profissionais da empresa, a evolução do ciclo de elevação não ocorreu da forma esperada. Caso a equipe fosse mantida, a tendência era de que a redução dos tempos de ciclo seguisse em relação ao apresentado no cenário 2.

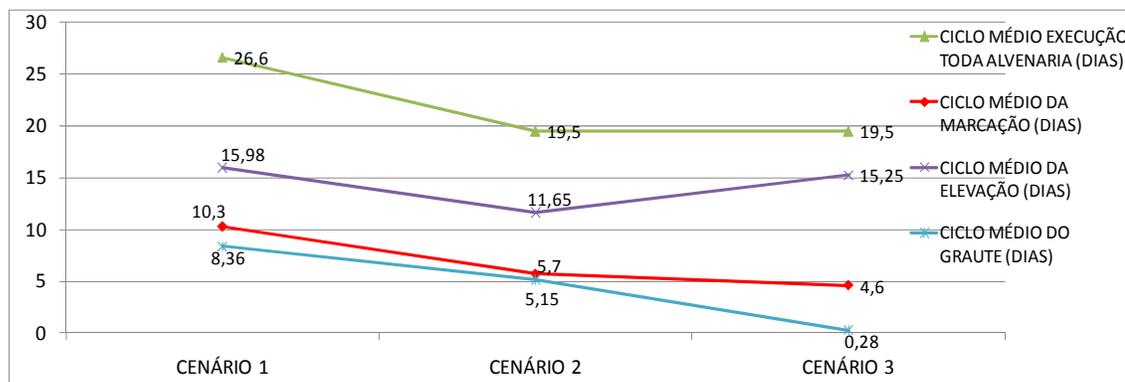


Figura 21: ciclos de execução nos cenários das torres C e D

Conforme apresentado no quadro 9 e no gráfico da figura 22, os indicadores de produtividade também apresentaram evolução do cenário 1 para o 2. O aumento foi de mais de 50%, de 7,87 para 12 m<sup>2</sup>/pedreiro/dia. Isto demonstra o benefício gerado pela aplicação do plano de ataque à alvenaria implementado neste período. Contudo, neste período as equipes ainda estavam em fase de formação e os profissionais em treinamento. Portanto, é coerente afirmar que parte da melhora de desempenho ocorrida entre estes cenários possa ser creditada ao efeito aprendido, com o constante aperfeiçoamento dos pedreiros devido à repetitividade dos serviços. No cenário 3, devido ao motivo de reestruturação da equipe de alvenaria, o desempenho da equipe de produção apresentou uma queda. A aplicação do Kanban de abastecimento de blocos foi realizada na realidade de produção do cenário 3. Portanto, foi complicado estabelecer uma avaliação sobre a ferramenta neste caso, se ela representou alguma melhoria de desempenho, à medida que a rotatividade dos profissionais na equipe comprometeu a produtividade desta.

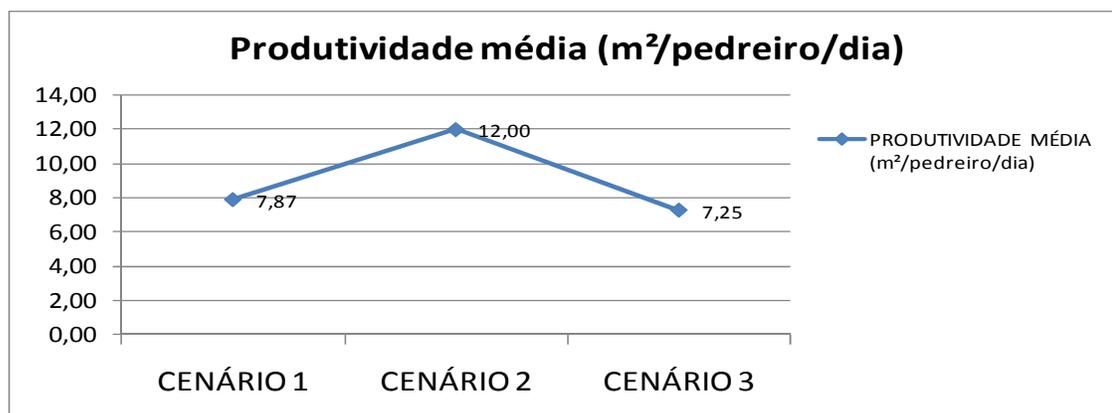


Figura 22: produtividades médias dos pedreiros nos cenários nas torres C e D

Os valores apresentados comprovam a eficiência das ferramentas e procedimentos de planejamento de execução implementados. Mesmo com os problemas da variabilidade e falta de qualificação dos profissionais desta equipe, os ciclos de produção são significativamente reduzidos e os indicadores de produtividades também apresentaram melhoras, quando a rotatividade da mão de obra não interferiu negativamente.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do trabalho, de avaliar a eficácia de um sistema de planejamento de execução na alvenaria estrutural, foi atingido. O planejamento implementado se referiu à composição e dimensionamento das equipes, plano de ataque à alvenaria, sequência de execução e distribuição das equipes, ferramentas de abastecimento de materiais e adoção de grauteamento com auxílio de bomba. Estes procedimentos e ferramentas, com o auxílio de indicadores de produtividade e tempo de ciclo, tiveram, de modo geral, sua eficácia comprovada.

Os resultados mostraram, através da comparação de diferentes cenários que refletiam realidades distintas de produção, que este planejamento executivo proposto apresentou benefícios nos indicadores de produtividade das equipes de alvenaria e também na redução dos ciclos de execução das diferentes etapas de produção. Contudo, estes benefícios gerados não ocorreram de maneira uniforme por todas as estratégias e ferramentas de planejamento implementadas. O bombeamento do graute foi o que apresentou os melhores resultados. Enquanto anteriormente uma equipe distinta demorava dias para realizar o lançamento e adensamento do graute produzido em obra, a utilização de uma bomba nesta operação reduziu o prazo de execução para poucas horas.

Outras estratégias de planejamento implementadas também se mostraram eficazes, promovendo melhorias nos indicadores de desempenho. O estabelecimento de um plano de ataque à alvenaria, com a definição de regiões de execução em sequência, também auxiliou no melhor gerenciamento e organização das equipes de produção, permitindo uma melhora nos índices de produtividade dos profissionais. Apesar de inicialmente se planejar utilizar equipes distintas para marcação e elevação de alvenaria, os resultados mostraram ciclos de execução da marcação inferiores quando esta foi realizada pela mesma equipe da elevação. Creditam-se estes resultados à falta de qualificação dos profissionais que compunham a equipe de marcação anteriormente e ao maior comprometimento por parte dos pedreiros de elevação, à medida que necessitavam executar esta etapa o mais rápido possível para iniciar a elevação.

A ferramenta Kanban para abastecimento de blocos não se mostrou eficaz. Aplicada nos últimos pavimentos avaliados das torres, ela não trouxe acréscimos relevantes na produtividade dos profissionais. À medida que antes de implementá-la não havia falta de material nos pavimentos, é pertinente que não haja aumento significativo de produtividade. Os principais benefícios que ela apresentou foram de proporcionar um pavimento mais organizado, limpo e desobstruído, à medida que os blocos eram posicionados ao lado dos profissionais. É importante salientar que esta ferramenta teve sua análise prejudicada pelo fato da variabilidade de profissionais na equipe ocorrida nos últimos pavimentos das torres C e D.

Apesar de o planejamento executivo implementado ter se mostrado eficaz, deve-se considerar que outros fatores que não foram avaliados possam ter influenciado na melhora de desempenho alcançada. O principal é o efeito aprendizado, presente principalmente nos primeiros pavimentos do empreendimento quando os profissionais não estão habituados com o serviço. Este fenômeno, apesar de não ter sido avaliado, mostra que os pedreiros à medida que foram familiarizando-se com a atividade apresentaram uma melhora de desempenho. Com isso, pode-se concluir que parte da evolução dos indicadores apresentada pode ser creditada a este fenômeno, além do sistema de planejamento executivo proposto. É possível também que outros fatores, como piso salarial, que sofreram variações ao longo da execução da obra, tenham causado algum impacto nos resultados obtidos. Contudo, estes fatores não foram avaliados e não se pode precisar se representariam algum ganho ou modificariam a relevância das estratégias e procedimentos de planejamento implementadas.

Os objetivos secundários do trabalho também foram atingidos. A descrição do sistema construtivo alvenaria estrutural foi realizada, especificando como este foi aplicado na obra em estudo. À medida que se concluiu que o planejamento de execução proposto foi eficaz, pode-se estabelecer que as estratégias de planejamento e tecnologias construtivas com os melhores resultados, como grauteamento bombeado e plano de ataque à alvenaria, possam ser seguidas por outros profissionais quando da utilização do sistema. É importante salientar que o sistema de planejamento executivo proposto neste trabalho apresentou resultados satisfatórios, contudo ele não representa uma alternativa para qualquer canteiro de obra. Foi a opção proposta para a realidade encontrada na obra em estudo. Entretanto, em outra realidade, com diferentes profissionais, de capacidades produtivas distintas, com equipamentos e tecnologias de execução diferentes, outras alternativas podem ser mais interessantes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: componentes cerâmicos - parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento e Controle da Produção para Micro e Pequenas Empresas de Construção**. 2001. 255 f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil. Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.

\_\_\_\_\_. **Planejamento e Controle da Produção para Empresas de Construção Civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão logística de cadeias de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CAMACHO, J. D. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Ilha Solteira – SP: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2006. Notas de aula. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/downloads.html>>. Acesso em: 15 set. 2009.

FARIA, M. S. (Coord.). **Alvenaria com blocos de concreto**: ferramentas para melhorar a qualidade e a produtividade da sua obra. Recife: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2004a. Prática recomendada PR – 3. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/downloads>>. Acesso em: 21 set. 2009.

\_\_\_\_\_. **Alvenaria com blocos de concreto**: execução de alvenaria – marcação. Recife: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2004b. Prática recomendada PR – 4. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/downloads>>. Acesso em: 21 set. 2009.

FORMOSO, C. T. **A Knowledge Based Framework for Planning House Building Projects**. Salford: Tese de doutorado – Department of Quantity and Building Surveying. University of Salford, 1991.

\_\_\_\_\_. **C. T. The New Operations Management Paradigm**. Berkley: University of California, 2000. White Paper.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M. S.; OLIVEIRA, L. F. M.; OLIVEIRA, A. K. **Termo de Referência para o Processo de Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras**. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M.; HIROTA, E. H.; ALVES, T. C. L. **Lean Construction**: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil. Porto Alegre: SEBRAE-RS, 2000.

LEITE, M. O.; POSSAMAI, O.; HEINECK, L. F. M. **A utilização de curvas de aprendizagem no planejamento da construção civil**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis, 2004.

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

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

OLIVEIRA, M.; LANTELME, E.; FORMOSO, C. T. **Sistemas de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil: manual de utilização**. Porto Alegre: SEBRAE-RS, 1995.

PAULUZZI PRODUTOS CERÂMICOS LTDA. Sapucaia do Sul. Disponível em: <<http://www.pauluzzi.com.br/produtos.php>>. Acesso em: 28 set. 2009.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. (3. tiragem) São Paulo: Pini, 2003.

RAMOS, A. S. **Influência da dimensão modular da unidade na produtividade em alvenarias estruturais de blocos de concreto**. 2001. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

SOARES, A. C. **Diretrizes para a manutenção e o aperfeiçoamento do processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. 2003. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil. Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.

TECMOLD PISOS E BLOCOS DE CONCRETO. Gravataí. Disponível em: <[http://www.tecmold.com.br/produtos/produto\\_blocos\\_alvenaria.html](http://www.tecmold.com.br/produtos/produto_blocos_alvenaria.html)>. Acesso em: 15 dez. 2010.

THOMAS, H. R.; MATHEWS, C. T.; WARD, J. G. **Learning Curve Models of Construction Productivity**. Journal of Construction Engineering and Managment, Vol. 112, n. 2, June, 1986.

VIEIRA, H. F. **Logística aplicada à construção civil: como melhorar o fluxo de produção nas obras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2006.