

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,  
ARQUITETURA E URBANISMO



UNICAMP

*Mestrado*

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO

ANÁLISE DO RITMO DE PRODUÇÃO E  
NIVELAMENTO DOS RECURSOS NA ETAPA DE  
PLANEJAMENTO - UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE LINHAS  
DE BALANÇO EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS  
REPETITIVOS

Eng. Tatiana Borges Branco

Orientador: Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja

Campinas/SP

2007

ENG. TATIANA BORGES BRANCO

ANÁLISE DO RITMO DE PRODUÇÃO E  
NIVELAMENTO DOS RECURSOS NA ETAPA DE  
PLANEJAMENTO - UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE LINHAS  
DE BALANÇO EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS  
REPETITIVOS

Dissertação de mestrado apresentada a comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de concentração de Arquitetura e Construção.

Campinas/SP

2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

B732a Branco, Tatiana Borges  
Análise do ritmo de produção e nivelamento do  
recursos na etapa de planejamento - utilização da técnica  
de linhas de balanço em empreendimentos habitacionais  
repetitivos / Tatiana Borges Branco. --Campinas, SP:  
[s.n.], 2007.

Orientador: Ariovaldo Denis Granja.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo.

1. Planejamento da produção. 2. Controle da  
produção. I. Granja, Ariovaldo Denis. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Analysis of the production rhythm and level of resources in the  
planning stage – lines of balance technique applied on repeatable  
standard constructions

Palavras-chave em Inglês: Production planning, Production control

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Flávio Augusto Picchi, José Francisco Pontes Assumpção

Data da defesa: 26/01/2007

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**ANÁLISE DO RITMO DE PRODUÇÃO E NIVELAMENTO DOS RECURSOS  
NA ETAPA DE PLANEJAMENTO – UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE LINHAS  
DE BALANÇO EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS REPETITIVOS**

**Tatiana Borges Branco**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**



**Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja  
Presidente e Orientador / FEC - UNICAMP**



**Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi  
FEC - UNICAMP**



**Prof. Dr. José Francisco Pontes Assumpção  
DECIV - UFSCar**

Campinas, 26 de janeiro de 2007

## Dedicatória

Aos meus pais, irmãos e marido  
pelo apoio e incentivo.

“Nenhum vento sopra  
a favor de quem  
não sabe para onde ir”

Sêneca

## **Agradecimentos**

Ao *Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja* pela orientação e dedicação ao longo desta jornada.

Ao *Renato* por simplesmente estar ao meu lado.

Aos meus pais, *Ibsen e Deise*, pela motivação sempre, e meus irmãos, *Fábio e Thaisy*, pela paciência, e falta dela.

A *Iamara* pela cooperação, contribuições e por ter confiado no meu trabalho, você me fez acreditar que seria possível.

Aos *Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi e Prof. Dr. José Francisco Pontes Assumpção* por importantes contribuições contidas nesta dissertação.

Aos meus amigos e companheiros *Veimar, Gabriel, Carlos, Alexandre, Patrícia e Tathiana* que participaram de tantas formas durante esta etapa da minha vida.

A todos os professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

**Muito Obrigada**

## Resumo

BRANCO, Tatiana Borges – **Análise do ritmo de produção e nivelamento de recursos na etapa de planejamento – utilização da técnica de linhas de balanço em empreendimentos habitacionais repetitivos** – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

A indústria da construção atravessa uma fase de adequação à realidade financeira do país, onde a melhoria na produção é requisito para reduzir custos e manter a competitividade da empresa. A busca por ritmar a produção e nivelar os recursos, ainda na etapa de planejamento, visa facilitar as tomadas de decisões no canteiro de obras. Este estudo analisa o planejamento de empreendimentos habitacionais repetitivos destacando situações que identificam gargalos futuros de produção no canteiro de obras. Dois estudos de caso foram realizados em condomínios residenciais repetitivos. As medições mensais dos serviços executados no primeiro estudo de caso e os problemas encontrados serviram de embasamento para a elaboração do planejamento do segundo estudo. Analisando os fluxos físicos das atividades a serem desenvolvidas, utilizando a técnica de Linhas de Balanço como ferramenta, e tomando-se ações corretivas na fase de planejamento destas, as perdas inerentes ao processo produtivo na construção civil poderão ser reduzidas.

Palavras-chave: planejamento da produção, controle da produção.

## **Abstract**

BRANCO, Tatiana Borges – **Analysis of the production rhythm and level of resources in the planning stage – lines of balance technique applied on repeatable standard constructions** – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

The construction industry faces a phase of adequacy to the country's financial reality, where the improvement in the production is requisite to reduce costs and to keep the company competitive. The search for balance the production and leveling the resources, during the planning, aims to facilitate the taking of decisions during the construction. This study analyzes the planning of repetitive enterprises detaching situations that identify future problems of production during the construction. Two studies of case had been carried through in repetitive residential condominiums. The monthly measurements of the services executed in the first study of case and the joined problems had served of basement for the elaboration of the second study of case planning. Analyzing the physical flows of the activities to be developed, using the technique of Lines of Balance as tool, and taking corrective actions in the phase of planning of these, the inherent losses of the productive process in the civil construction could be reduced.

Keywords: Production planning, production control.

# Sumário

<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	1
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E LIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	5
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.3.1 <i>Objetivo geral</i> .....	7
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	7
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	8
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>9</b>
2.1 O PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP) 10	
2.1.1 <i>Definição e objetivos</i> .....	10
2.1.2 <i>Níveis e etapas do planejamento</i> .....	13
2.1.3 <i>Técnicas de planejamento</i> .....	19
2.1.3.1 Técnicas de rede .....	20
2.1.3.2 Diagrama de barras .....	23
2.1.3.3 Técnica de linhas de balanço .....	24
2.1.4 <i>Discussão</i> .....	24
2.2 TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO POR LINHAS DE BALANÇO E APLICAÇÕES 26	

2.2.1	<i>Histórico</i> .....	26
2.2.2	<i>Programação de projetos repetitivos</i> .....	28
2.2.3	<i>A técnica de linhas de balanço</i> .....	29
2.2.4	<i>Métodos de aplicação da técnica de linhas de balanço</i> .....	38
2.2.5	<i>A aplicação da técnica de linhas de balanço</i> .....	43
2.2.6	<i>Discussão</i> .....	44
2.3	<i>LEAN THINKING E FLUXOS DE PRODUÇÃO</i> .....	45
2.3.1	<i>A filosofia lean thinking</i> .....	45
2.3.2	<i>Fluxos de produção</i> .....	48
2.3.3	<i>Discussão</i> .....	52
<b>3</b>	<b>MÉTODOS DA PESQUISA</b> .....	<b>53</b>
3.1	<i>ESTRATÉGIA DA PESQUISA</i> .....	53
3.2	<i>DELINEAMENTO E ETAPAS DA PESQUISA</i> .....	55
3.2.1	<i>Revisão Bibliográfica</i> .....	57
3.2.2	<i>Estudo de caso I</i> .....	57
3.2.3	<i>Estudo de caso II</i> .....	57
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS ESTUDOS DE CASO</b> .....	<b>59</b>
4.1	<i>ESTUDO DE CASO I</i> .....	59
4.1.1	<i>O empreendimento</i> .....	59
4.1.2	<i>Os cronogramas da obra</i> .....	60
4.1.3	<i>As medições mensais da obra</i> .....	61
4.1.4	<i>Análise dos problemas identificados</i> .....	62
4.1.5	<i>Discussão</i> .....	67

4.2	ESTUDO DE CASO II.....	68
4.2.1	<i>O empreendimento</i> .....	68
4.2.2	<i>O cronograma do empreendimento</i> .....	70
4.2.3	<i>Simulações das linhas de balanço – ritmo e nivelamento de recursos</i> .....	74
4.2.4	<i>Discussão</i> .....	85
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>86</b>
5.1	LINHAS DE BALANÇO E O FLUXO CONTÍNUO NA PRODUÇÃO .....	86
5.2	CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E PRÁTICAS DA PESQUISA .....	89
5.3	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	90
5.3.1	<i>Sistemas de medições de serviços que apóiem o fluxo de produção</i> .....	90
5.3.2	<i>Desenvolvimento de configurações espaciais de realização de atividades</i> .....	91
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>92</b>

## Lista de figuras

Figura 1.1 - Comparações entre a produção industrial e a construção (KIIRAS, 1998).....	3
Figura 2.1 - Estrutura sintetizada da revisão bibliográfica.....	9
Figura 2.2 - Fases do ciclo de planejamento (LAUFER; TUCKER, 1987).....	14
Figura 2.3 – Exemplo de uma WBS.....	17
Figura 2.4 - Gráfico de Gantt x gráfico de LB (MENDES JR, 1999).....	30
Figura 2.5 - LB conceitual para um processo (MENDES JR, 1999).....	31
Figura 2.6 - Curvas de produção - processos desbalanceados (MENDES JR., 1999).....	32
Figura 2.7 - Linhas de produção de processos (LUTZ, 1990).....	34
Figura 2.8 - Mudança na programação (MENDES JR.; HEINECK, 1997).....	36
Figura 2.9 - Ritmo de execução para conclusão das atividades no prazo estabelecido (MENDES JR., 1999).....	39
Figura 2.10 - Faixa de produção (MADERS, 1987).....	41
Figura 2.11 - Determinação de recursos necessários em ciclos repetitivos (KIIRAS, 1998).....	42
Figura 2.12 - Fluxos na construção civil (PICCHI, 2001).....	49

Figura 3.1 - Delineamento da pesquisa.....	55
Figura 4.1 – Comparativo entre a evolução das obras e o cronograma.....	61
Figura 4.2 - Detalhe da diminuição do ritmo de produção das unidades.....	62
Figura 4.3 - Gráfico das atividades executadas ao longo do tempo.....	63
Figura 4.4 - Análise da interferência entre atividades subseqüentes - cerâmica e rodapé.....	64
Figura 4.5 - Quebra de ritmo de produção.....	64
Figura 4.6 - Acréscimo de produtividade no revestimento externo.....	65
Figura 4.7 - Execução da Alvenaria e Cobertura.....	66
Figura 4.8 - Efeito aprendido na produção da atividade repetitiva.....	66
Figura 4.9 - Croqui da divisão do edifício.....	69
Figura 4.10 - Divisão dos apartamentos.....	70
Figura 4.11 - LB baseadas no cronograma de barras.....	72
Figura 4.12 – Detalhe da quebra de ritmo na última semana de serviços.....	73
Figura 4.13 - Gráfico de Linhas de Balanço – simulação I.....	75
Figura 4.14 - Comparação entre as datas de término das variantes de programações (a) e (b).....	76

Figura 4.15 - <i>Buffer</i> entre alvenaria de vedação e concretagem da laje.....	77
Figura 4.16 – Conflito entre as equipes B e C.....	78
Figura 4.17 - Gráfico das Linhas de Balanço – simulação II.....	79
Figura 4.18 - Comparação entre simulação I e simulação II – nivelamento de recursos.....	80
Figura 4.19 – Detalhe da alteração das equipes – atividade impermeabilização...81	
Figura 4.20 – Datas limites para disponibilidade de material.....	84

## Lista de tabelas

TABELA 1 – VANTAGENS E DESVANTAGENS NO USO DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS DE PCP .	26
TABELA 2 - RESUMO DAS PREVISÕES DOS CRONOGRAMAS E DAS MEDIÇÕES MENSAS DA OBRA. ....	60
TABELA 3 - CRONOGRAMA DA OBRA – ETAPA ESTRUTURAL. ....	71
TABELA 4 - ATIVIDADES E TEMPO DE EXECUÇÃO. ....	74
TABELA 5 - DISTRIBUIÇÃO DAS EQUIPES. ....	77
TABELA 6 - NOVA FORMAÇÃO DAS EQUIPES - SIMULAÇÃO II. ....	78
TABELA 7 - COMPARAÇÃO DE PRODUTIVIDADE. ....	82

# **1 Introdução**

Neste capítulo apresenta-se a introdução ao presente trabalho, contendo a justificativa da pesquisa, o escopo e contexto do trabalho e os objetivos da dissertação, além da estrutura do trabalho.

## **1.1 Justificativa**

O setor da construção civil é, historicamente, um dos mais representativos da economia nacional. Possui participação destacada na formação bruta de capital fixo e na geração do Produto Interno Bruto (PIB). Dados do IBGE, do ano de 2005 mostram que o setor responde por 13,5% do PIB nacional (IBGE, 2006).

Dentro do cenário econômico atual, com os índices de inflação estabilizados, os ganhos econômicos deixam de ser puramente por especulação financeira e passam a ser consequência de um bom gerenciamento da execução das obras.

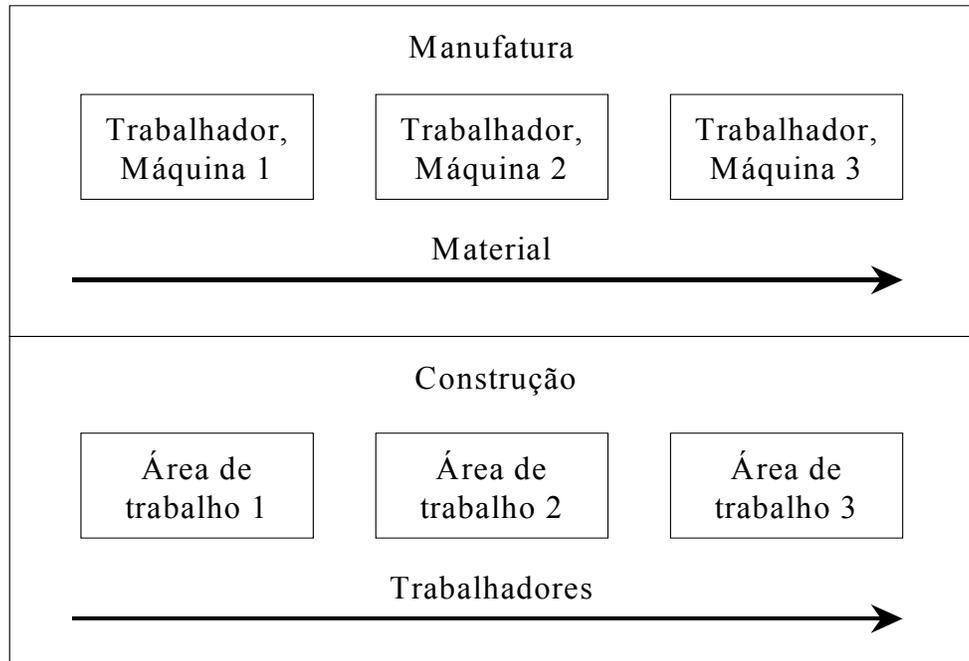
Com as mudanças no mercado e no perfil dos consumidores, que têm exigido produtos de qualidade e com prazos menores de entrega, as empresas estão à procura de ferramentas de planejamento que garantam o controle da produção, atingindo metas de prazo e custo da obra, buscando aplicar técnicas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) para melhorar seus processos. Entretanto, a gestão de processos é negligenciada por uma parcela dos

profissionais da área que não se utilizam corretamente destas ferramentas de PCP. Existe falta de planejamento antes do início da produção, o que acarreta a execução sem um estudo e constantes mudanças no plano de ataque da obra (TAVARES *et al.*, 2004).

A eficiência nos processos produtivos surge, então, como um objetivo a ser alcançado pelas empresas construtoras a fim de se garantir a sua lucratividade e, por conseguinte, assegurar sua permanência no mercado (ARAÚJO; SOUZA, 2001). Uma das estratégias utilizadas para esta eficiência ser alcançada na construção civil é a da tradução dos conceitos de PCP utilizados da engenharia de produção para construção civil. Não obstante, os sistemas desenvolvidos para o ambiente industrial nem sempre se adaptam as situações de produção que ocorrem na construção civil, gerando sistemas inadequados e de baixa eficiência (ASSUMPÇÃO, 1996). Geralmente, essa ineficiência ocorre porque os princípios desenvolvidos na produção industrial, não foram suficientemente abstraídos e aplicados de acordo com as peculiaridades intrínsecas do ambiente da construção civil (KOSKELA, 1992).

Há algumas diferenças entre o ambiente de produção industrial e a construção civil. Por exemplo, dentro da manufatura o produto se movimenta de uma máquina (com seu operador) para outra, enquanto na construção o processo é reverso (FIGURA 1.1). O produto está sendo construído enquanto os operários e máquinas se movem (KIIRAS, 1998). Não obstante, as ferramentas e princípios adotados na indústria da manufatura podem ser adequados à realidade da

indústria da construção civil, desde que cuidados sejam tomados em relação à sua adaptação e implantação neste setor.



**Figura 1.1 - Comparações entre a produção industrial e a construção (KIIRAS, 1998).**

Estudos realizados no Brasil e no exterior comprovam que o processo de PCP cumpre um papel fundamental nas empresas (BULHÕES; FORMOSO; AVELLAN, 2003). Estes indicam que o planejamento é um elemento chave que influencia diretamente o desempenho da produção de obras (BERNARDES, 2001). Deficiências no planejamento e controle estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor, das suas elevadas perdas e da baixa qualidade de seus produtos (BULHÕES; FORMOSO; AVELLAN, 2003).

Bulhões e Formoso (2004) constatam em estudo de caso que as ferramentas de controle de obras seriam mais eficazes se existisse um esforço

maior na etapa de planejamento da obra. Como possível forma de planejamento da obra, a execução das atividades em um ritmo constante pode reduzir os entraves da cadeia produtiva melhorando continuamente o processo, otimizando a produção (BORGES; *et al*, 2005).

Cada atividade a ser produzida no canteiro de obras, tem um ritmo natural de execução. Manter a execução das atividades, do seu início ao fim, em ritmo constante e linear, além da uniformização de ritmos entre as atividades subseqüentes pode minimizar a interferência entre estas.

Outro ponto que pode reduzir os entraves na produção é o nivelamento de recursos materiais e de mão-de-obra. Entende-se neste trabalho como nivelar os recursos a provisão de material na quantidade adequada e no momento requerido, assim como a disponibilização da mão-de-obra necessária para manter o ritmo de produção da atividade de forma linear.

A diminuição das restrições no ambiente produtivo, através do nivelamento dos recursos e do ritmo de produção pode favorecer a implantação de ambientes mais enxutos, como busca a filosofia do *lean thinking*<sup>1</sup>. A origem desta filosofia está na indústria da manufatura, não obstante, devido à obtenção de resultados

---

<sup>1</sup> A produção *lean*, em comparação com a produção em massa, requer menos esforço humano, menos espaço, menos capital e menos tempo para fabricar produtos com menos defeitos de acordo com as especificações precisas dos desejos dos clientes. (LEI, 2003).

favoráveis na produção, diversos estudos visam implantar esta filosofia na indústria da construção civil.

## **1.2 Contextualização e limitação da pesquisa**

O planejamento e controle da produção cumprem um papel fundamental para que seja alcançado êxito na coordenação das várias entidades participantes de um empreendimento (LAUFER; TUCKER, 1987; SINK, TUTTLE, 1993).

Em geral, na construção civil, o planejamento se resume a geração de orçamentos, programações e outros documentos referentes às etapas a serem seguidas durante a execução do empreendimento (BALLARD; HOWELL, 1997). Isso se deve, em parte, ao fato de, na construção, o termo planejamento ser interpretado como o resultado da geração de planos, denominado por programação ou cronograma geral da obra (BERNARDES, 2001).

Bernardes (1996) aponta que o planejamento das empresas de construção é mais voltado ao processamento de informações direcionadas ao planejamento do escritório e à elaboração de relatórios de acompanhamento dos serviços executados.

Planejar os fluxos de materiais e de trabalho é demorado, e na prática é pouco realizado (KOSKELA, 1992). O objetivo de se realizar o planejamento é tornar o processo de execução previsível, onde se possam antecipar as ações futuras para concretizar o empreendimento (MENDES JR., 1999).

A natureza repetitiva em alguns tipos de empreendimentos aliada à necessidade da indústria da construção civil de padronizar seus processos ao longo dos últimos anos tem impulsionado o desenvolvimento de várias técnicas e estratégias de planejamento para este tipo de construção (MENDES JR., 1999). Um conceito que se aplica a estes empreendimentos é o conceito de embasamento da técnica de linha de balanço (LB) (LUTZ, 1990; LUMSDEN, 1968).

A técnica LB foi desenvolvida para atender às necessidades de planejamento da indústria da manufatura e posteriormente foi adaptada e utilizada por empresas de construção na Europa (DRESSLER, 1980), Canadá (RUSSEL, 1990) e Austrália (COLE, 1991).

Neste contexto, buscou-se nesta pesquisa, analisar duas obras distintas, porém de caráter repetitivo, identificando na etapa de planejamento o ritmo de execução das atividades e as interferências entre atividades subseqüentes. A ferramenta utilizada para tal é a técnica de linhas de balanço, por melhor retratar o ritmo de produção das atividades a serem executadas. A partir da simulação do planejamento, por meio desta técnica, procurou-se identificar os gargalos na produção, apresentando-se soluções para estes, mantendo o ritmo constante de produção na etapa de execução das atividades e nivelando os recursos (material e mão-de-obra).

Dentro deste propósito, esta pesquisa busca responder a questão: como assegurar o ritmo de produção das atividades e nivelar os recursos na etapa de planejamento de obras repetitivas.

Portanto, a principal contribuição da pesquisa é identificar elementos a serem verificados durante o planejamento do empreendimento, capazes de criar condições favoráveis para obtenção de aumento da produtividade e redução de desperdícios na fase de execução da obra.

### **1.3 Objetivos**

A seguir apontam-se o objetivo geral e os específicos da presente pesquisa.

#### *1.3.1 Objetivo geral*

O objetivo deste trabalho consiste em identificar e promover um ritmo de produção constante em empreendimentos repetitivos por intermédio do planejamento utilizando a técnica de linhas de balanço.

#### *1.3.2 Objetivos específicos*

- Simular o planejamento de uma seqüência repetitiva de produção com a técnica de linhas de balanço, identificando os ritmos de produção de cada atividade;
- Verificar as vantagens da aplicação da técnica de linhas de balanço na geração de planos visando o nivelamento de recursos.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

A justificativa do assunto escolhido, o escopo do trabalho e a contextualização do mesmo foram apresentados no primeiro capítulo. Assim como os objetivos, geral e específico, para a pesquisa.

No segundo capítulo, apresentaram-se a revisão bibliográfica sobre o planejamento e controle da produção, seus conceitos, etapas e técnicas. O enfoque deste capítulo é a técnica de linhas de balanço. Segue o capítulo com a revisão bibliográfica dos conceitos de fluxo e ritmo de produção e a filosofia *lean thinking*.

Apresenta-se no terceiro capítulo o método de pesquisa utilizado para esta dissertação, estratégia e delineamento.

No quarto capítulo apresentam-se os dois estudos de caso, definindo o escopo das obras, os dados coletados e a simulação do planejamento.

No quinto capítulo apresentar-se-á as conclusões obtidas.

## 2 Revisão bibliográfica

O desenvolvimento da estrutura teórica desta pesquisa tem como base uma revisão bibliográfica do assunto. Está estruturada no processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP), a partir de seus conceitos, etapas e principais técnicas, como sintetizado na FIGURA 2.1.

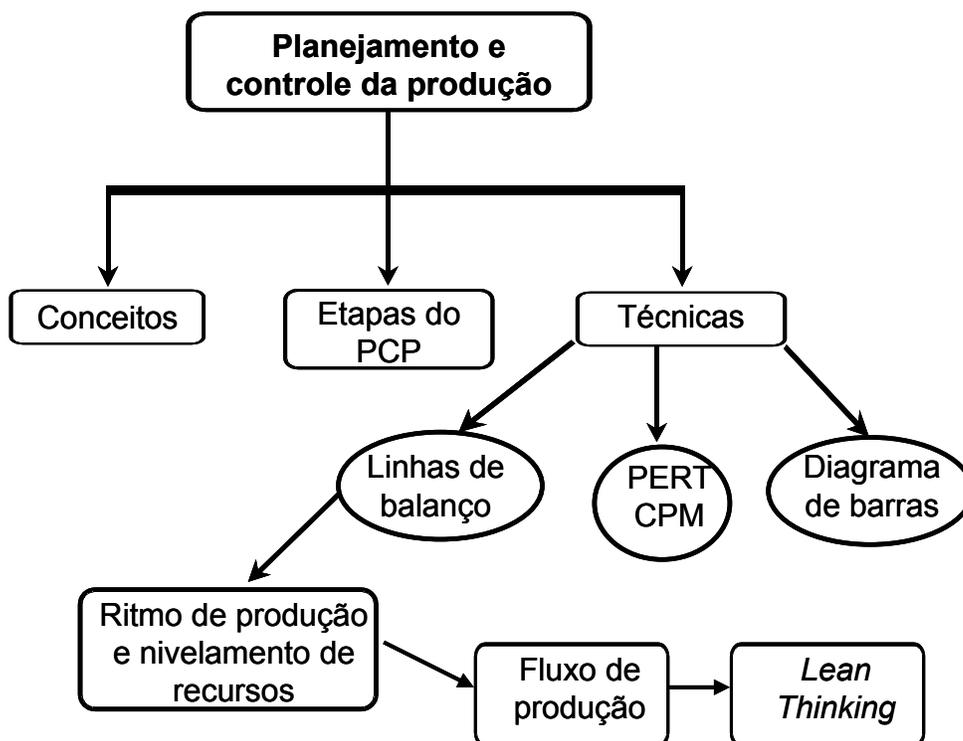


Figura 2.1 - Estrutura sintetizada da revisão bibliográfica.

Apresenta-se uma discussão sobre a conceituação e oportunidades de aplicação de LB na construção civil. Por fim este capítulo apresenta algumas considerações sobre o princípio de fluxo contínuo preconizado pela filosofia do *lean thinking* e a possível incorporação de alguns de seus elementos já na etapa de planejamento.

## **2.1 O processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP)**

Em seguida apresentam-se conceitos, etapas e as principais técnicas relacionadas ao processo de PCP.

### *2.1.1 Definição e objetivos*

Diversos trabalhos têm apontado deficiências na forma como o PCP é desenvolvido em empresas de construção. Em geral, o planejamento é entendido apenas como a tarefa de gerar um plano e não como um processo gerencial (BERNARDES, 2001).

A quantidade de conceitos para o termo planejamento disponíveis na literatura é tão extensa quanto ao número de autores que o definem, havendo um grande número de definições distintas (FORMOSO, 1991).

Considerando que uma função importante do gerenciamento da construção é o planejamento, este deve responder as seguintes questões (LAUFER; TUCKER, 1987):

- (a.) O que deve ser feito? (atividades);
- (b.) Como fazer? (métodos);
- (c.) Quem deve fazer? (recursos);
- (d.) Quando deve ser feito? (seqüência e tempo).

Syal *et al.* (1992) descrevem o planejamento como sendo um processo de tomada de decisão que resulta em um conjunto de ações necessárias para

transformar um estágio inicial de um empreendimento em um desejado estágio final. Estes autores ressaltam ainda que estas ações fixam padrões de desempenho contra o qual o progresso do empreendimento é mensurado e analisado no controle durante a fase de construção. Assim, a função controle inclui ações corretivas, em tempo real, nos postos de trabalho (GHINATO, 1996)

Além disso, Ballard e Howell (1996) citam que o planejamento produz metas que possibilitam o gerenciamento dos processos produtivos, enquanto o controle garante o cumprimento dessas metas, bem como avalia sua conformidade com o planejado, fornecendo, assim, informações para preparação de planos futuros.

Laufer e Tucker (1987) apresentam uma definição que se aproxima das apresentadas anteriormente, na qual o planejamento é considerado como um processo de tomada de decisão realizado para antecipar uma desejada ação futura, utilizando para isso meios eficazes para concretizá-la. Este processo é composto dos seguintes elementos (LAUFER *et al.*, 1994):

- (a.) Um processo de tomada de decisão para decidir o quê e quando executar ações em determinado ponto no futuro;
- (b.) Um processo de integração de decisões interdependentes, configurando um sistema que busca cumprir os objetivos do empreendimento;

- (c.) Um processo hierárquico envolvendo desde a formulação de diretrizes gerais a objetivos, através da consideração dos meios e restrições que levam a um detalhado curso de ações;
- (d.) Um processo que inclui uma cadeia de atividades compreendendo a busca de informações e sua análise, desenvolvimento de alternativas, análise e avaliação das mesmas e escolha da solução;
- (e.) Uma análise do emprego sistemático de recursos, em seus vários níveis de desenvolvimento;
- (f.) Apresentação documentada, em forma de planos.

Para estes autores, quatro são os objetivos básicos do planejamento da produção:

- (1.) Assistir o gerente na direção da empresa;
- (2.) Coordenar as várias entidades envolvidas na construção do empreendimento;
- (3.) Possibilitar o controle da construção;
- (4.) Possibilitar a comparação de alternativas, facilitando a tomada de decisão.

Na mesma linha de Laufer e Tucker (1987), Formoso (1991) define planejamento como o processo de tomada de decisão que envolve o estabelecimento de metas e dos procedimentos necessários para atingi-las,

acrescentando que somente é efetivo quando seguido de controle, e considera, o controle como parte inerente do processo de planejamento.

O significado, portanto, ainda é assunto para discussões. Neste trabalho, o conceito utilizado é o proposto por Ackoff (1976), no qual o planejamento pode ser considerado o processo de tomada de decisão desenvolvido por meio de um avanço de ações para desenhar um futuro desejado e os meios eficazes para executá-lo.

### *2.1.2 Níveis e etapas do planejamento*

O planejamento deve ser realizado em todos os níveis gerenciais da organização e ser integrado de maneira a manter os mesmo sintonizados uns com os outros. Como o processo construtivo está cercado de incertezas, é importante que os planos sejam preparados em cada nível, com um grau de detalhe apropriado (LAUFER; TUCKER, 1988; FORMOSO, 1991). Este deve variar com o horizonte do planejamento crescendo com a proximidade da implantação (LAUFER; TUCKER, 1988).

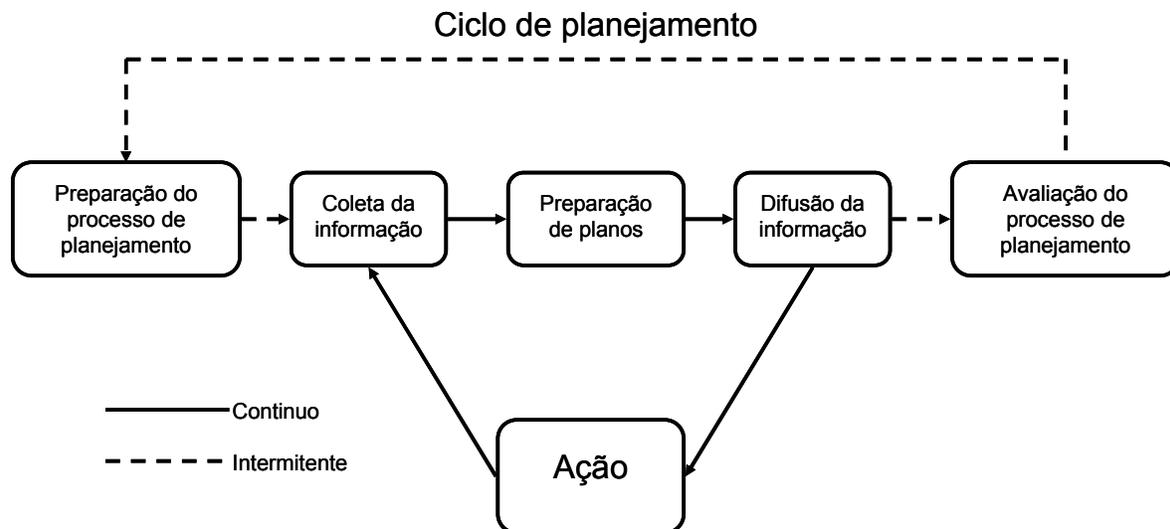
Laufer e Tucker (1987) dividem o planejamento em três níveis, estratégico, tático e operacional. Estes níveis correspondem a níveis hierárquicos e aos diversos estágios no processo de tomada de decisões, e ainda, a níveis diferenciados de detalhamento das informações (LAUFER; TUCKER, 1987).

No nível estratégico são definidos escopos e metas do empreendimento, as decisões tomadas referem-se a questões de longo prazo. No nível tático enumeram-se os meios e suas limitações para que as metas sejam alcançadas.

Finalmente, o nível operacional refere-se à seleção dos cursos de ações através das quais as metas são alcançadas. O planejamento operacional está relacionado às decisões a serem tomadas em curto prazo referentes às operações de produção (LAUFER; TUCKER, 1987).

Para Laufer e Tucker (1987), cinco etapas envolvem o processo de planejamento (FIGURA 2.2):

- (1.) Preparação do processo de planejamento;
- (2.) Coleta da informação;
- (3.) Preparação dos planos;
- (4.) Difusão da informação;
- (5.) Avaliação do processo de planejamento.



**Figura 2.2 - Fases do ciclo de planejamento (LAUFER; TUCKER, 1987).**

Analisando-se a FIGURA 2.2, percebe-se um ciclo de replanejamento. Este ciclo inicia-se com a coleta de informações sobre o sistema que está sendo controlado. Estas informações são processadas na preparação dos planos e difundidas para as entidades que delas necessitam. A partir destas informações são geradas ações que possibilitem o cumprimento das metas fixadas. Há novamente a coleta das informações, em um ciclo contínuo (BERNARDES, 2001).

Nas empresas construtoras, a primeira e última etapas da FIGURA 2.2, são praticamente inexistentes, e as demais desenvolvidas de forma deficiente, devido à execução da obra se dar em períodos distintos aos dos planos, à dificuldade na atualização destes e à falta de integração dos diferentes níveis de decisão do planejamento (LAUFER; TUCKER, 1987).

Na etapa de preparação do processo de planejamento são tomadas decisões relativas ao horizonte e nível de detalhes do planejamento, frequência de replanejamento e grau de controle a ser efetuado (BERNARDES, 2003). Entende-se por horizonte de planejamento o intervalo de tempo entre a preparação do plano e a realização da ação inerente às metas fixadas naquele plano (LAUFER; TUCKER, 1988). Essas ações são relativas aos planos que são necessários no processo de planejamento, como os mesmos serão utilizados, seu grau de detalhamento, as técnicas mais apropriadas para sua construção, quando os mesmos devem ser preparados, dentre outras (HARRISON (1985) apud FORMOSO, 1991).

Em seguida, são analisadas as características da obra e a forma pela qual a mesma será planejada, procedendo-lhe a escolha dos níveis de planejamento. (BERNARDES, 2003) A maneira como esses itens são integrados constituem a dimensão vertical do planejamento. (BERNARDES, 2003).

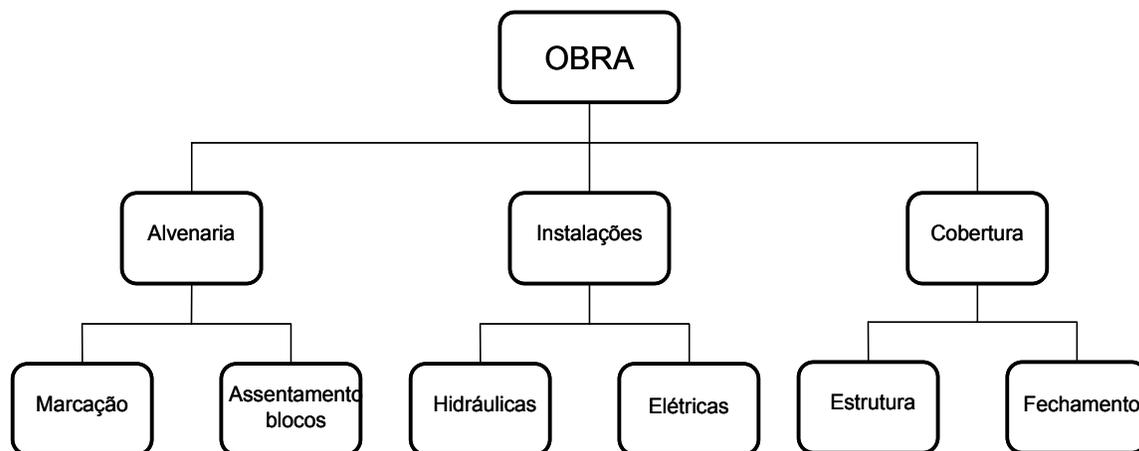
Uma maneira de se estabelecer uma vinculação padronizada de forma hierarquizada das metas dos vários planos, adotados para o planejamento da obra, é através da utilização do *WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)* ou Estrutura Analítica do Projeto (EAP). Para Mendes Jr. (1999), A EAP é a organização das informações do sistema centrada nas atividades.

Assumpção (1996) define WBS como uma estrutura de decomposição da obra em subsistemas, estabelecendo hierarquias entre as atividades que são decompostas. Através de sua utilização pode-se estabelecer linguagens padronizadas para determinadas tipologias de obras.

A definição de como será realizada a partição da obra em serviços e atividades deve partir do tipo de obra a ser executada, das diversas equipes que irão participar da mesma, do grau de controle que a empresa poderá realizar, bem como da forma pela qual o processo de produção será projetado. Assim, recomenda-se que para cada tipologia de obra, a empresa desenvolva uma WBS específica, de acordo com requisitos e princípios próprios. (BERNARDES, 2003).

A elaboração de uma WBS deve ser realizada paralelamente com o estudo das zonas de trabalho apropriadas para as equipes de produção, o zoneamento. Este busca facilitar o estabelecimento de unidades de controle que podem ser

utilizadas para o dimensionamento dos pacotes de trabalho. Por pacote de trabalho subentende-se um conjunto de tarefas similares a serem realizadas, freqüentemente em uma área bem definida, utilizando informações de projeto específicas, bem como material, mão-de-obra e equipamento, e tendo seus pré-requisitos completados em tempo hábil a sua execução (CHOO *et al*; 1999).



**Figura 2.3 – Exemplo de uma WBS.**

A coleta de informações necessárias para se realizar o planejamento é a segunda etapa do ciclo de planejamento. Para Laufer e Howell (1993) essa fase tem como objetivo reduzir a incerteza pela abordagem das informações necessárias a execução do processo produtivo. Contudo, a maior deficiência está no fato de que a incerteza não é normalmente considerada. (LAUFER; TUCKER, 1987).

A terceira etapa, preparação dos planos, é a que recebe maior atenção dos responsáveis pelo planejamento. (BERNARDES, 2003). Nesta fase que os

planejadores lançam mão das técnicas que melhor se aplicam aos objetos de estudo.

Independente das técnicas utilizadas para geração dos planos, as mesmas devem ser hierarquizadas por níveis de planejamento, principalmente no que tange a disponibilização e alocação de recursos. (HOWELL; BALLARD, 1996).

A preparação dos planos é seguida pela quarta etapa, a difusão de informações. A informação deve ser preparada de acordo com as necessidades das pessoas que irão utilizá-la, identificando aquelas que são pertinentes em seus processos decisórios. (LAUFER; TUCKER, 1987).

Durante a fase de ação o progresso da produção é controlado e monitorado, e as informações resultantes deste controle são utilizadas para atualizar os planos e preparar os relatórios sobre o desempenho da produção. (FORMOSO, 1991).

A avaliação de todo o processo de planejamento é a última etapa que deve ocorrer ao término do projeto ou ainda, durante sua execução, caso haja alterações substanciais a serem consideradas nas metas estabelecidas. (LAUFER; TUCKER, 1987).

Dentre todas as etapas de planejamento descritas, o foco dos responsáveis pelo planejamento nas empresas de construção é a etapa de preparação dos planos. (MENDES JR., 1999). Portanto, é importante uma análise crítica de algumas das técnicas utilizadas nesta fase.

### 2.1.3 Técnicas de planejamento

Muitas técnicas podem ser utilizadas para a etapa em questão, não obstante, as técnicas de rede, baseadas no Método do Caminho Crítico (CPM)<sup>2</sup> são as mais difundidas, até mesmo pelo grande número de programas computacionais disponíveis no mercado para seu processamento.

Outra técnica para preparação de planos é a LB, destinada aos empreendimentos com características repetitivas, tais como prédios altos ou condomínios habitacionais, por exemplo. Na prática, esta técnica tem sido utilizada em projetos com alto grau de repetição, e com um número relativamente baixo de atividades discretas (HEINRICH; TILLEY; KOSKELA, 2005). Tem sido utilizada satisfatoriamente em grandes projetos na Finlândia (SOINI; LESKELÄ; SEPPÄNEN, 2004).

Alguns estudos combinam a técnica de rede com LB, visando aproveitar as vantagens do uso individual de cada uma das técnicas e minimizar suas respectivas deficiências, mantendo o fluxo de trabalho contínuo entre as atividades repetitivas, tendo o controle sobre as malha de precedência entre as atividades (RUSSEL; WONG, 1993; SUHAIL; NEALE, 1994; ASSUMPÇÃO, 1996).

Quaisquer que sejam as técnicas utilizadas para a preparação dos planos, as mesmas devem ser hierarquizadas através dos níveis de planejamento, já que

---

<sup>2</sup> CPM – *Critical Path Method*. Será referenciado no texto apenas como CPM.

cada nível possui uma função específica no processo, principalmente no que tange a disponibilidade e alocação de recursos no canteiro (HOWELL; BALLARD, 1996).

#### 2.1.3.1 Técnicas de rede

Os cronogramas em rede ou, simplesmente, redes de planejamento, são grafos degenerados, que resultaram na teoria dos grafos e tiveram origem na busca de uma solução para transitar em uma rede viária interligando quatro pontos da cidade de Königsberg, Alemanha, sem se passar duas vezes por um mesmo ramo da rede (LIMMER, 1997). Este problema foi formulado em 1736 pelo matemático Euler, que viveu naquela cidade (LIMMER, 1997).

A Técnica de Avaliação e Revisão de Programas (PERT)<sup>3</sup>, de caráter probabilístico, foi desenvolvida em 1957 para uso do Departamento de Defesa dos Estados Unidos na execução de Polaris, um míssil que envolveu em seu projeto, 250 empreiteiros, cerca de 9.000 subempreiteiros e a fabricação de 70.000 componentes. (LIMMER, 1997).

A técnica CPM foi desenvolvida também em 1957 pela EI Dupont de Neymours (fundada por Eleuthere Irene du Pont), Estados Unidos, uma empresa de produtos químicos que ao expandir seu parque fabril, resolveu planejar suas

---

<sup>3</sup> PERT – *Program Evaluation and Review Technique*. Será referenciado no texto apenas como PERT.

obras por meio de técnica de redes. O CPM tem caráter determinístico (LIMMER, 1997). Esta foi criada visando cumprir prazos, não focando na melhora da eficiência na utilização dos recursos (BIRREL, 1980).

Segundo Limmer (1997) as duas técnicas foram se fundindo, passando à denominação PERT/CPM para o tipo de rede onde as atividades são representadas por setas.

Para elaborar uma rede de planejamento, Limmer (1997) aponta as seguintes etapas:

- (a.) Listar todas as atividades do projeto;
- (b.) Estabelecer a ordem de execução das atividades (a lógica da rede);
- (c.) Determinar a duração de cada atividade;
- (d.) Determinar o evento inicial e final da rede;
- (e.) Determinar as atividades que podem ser executadas em paralelo;
- (f.) Calcular as datas dos eventos iniciais e finais de cada atividade.

O planejamento em redes requer a divisão em atividades específicas que são organizadas em uma seqüência buscando a menor duração. Uma atividade

na rede PERT/CPM é uma parte da cadeia de trabalho total de uma equipe ou é ela própria uma atividade de trabalho completo (MENDES JR, 1999).

Os métodos de rede determinam as datas de início e fim das atividades sem planejarem seu ritmo de execução (MENDES JR, 1999), em contrapartida, Assumpção e Fugazza (1998) propõem um modelo para o planejamento de edifícios de múltiplos pavimentos que utiliza a técnica das redes de precedência para representar a lógica da produção. Este modelo delinea a informação, gerando redes de precedência detalhadas, voltadas para as necessidades do dia-a-dia da produção. Por meio do uso deste sistema, geram-se informações sobre custo, prazo e recursos utilizados na obra (ASSUMPÇÃO; FUGAZZA, 1998).

As principais vantagens da técnica de redes, segundo MENDES JR (1999) são:

- (a.) Ajuda a determinar a lógica de construção da produção;
- (b.) Permite a visualização dos desvios no tempo e sua influência diante da produção.

Diversos autores consideram a técnica de redes indispensável para a programação de obras (LEVITT *et al.*, 1988), enquanto não existem técnicas mais adequadas (LAUFER; TUCKER, 1987).

Para Koskela (1992) a maior desvantagem das técnicas de redes é a dificuldade de explicitar atividades de fluxo, que para este autor, são as atividades

de transferência, tais como movimentação, mobilização, etc. Esta deficiência fica um pouco mais evidente nos casos de obras repetitivas (MENDES JR, 1999).

#### 2.1.3.2 Diagrama de barras

O diagrama de barras, também chamado de Gráfico de Gantt é o mais simples método de planejamento, e o mais utilizado na construção civil, tanto para planejamento quanto para controle de obras (MENDES JR, 1999).

O cronograma de barras é construído listando-se as atividades de um projeto em uma coluna e as respectivas durações, representadas por barras horizontais, em colunas adjacentes, com extensão de acordo com a unidade adotada de tempo no projeto (LIMMER, 1997).

A vantagem e a aplicabilidade do diagrama de barras estão na disponibilidade de programas computacionais que se utilizam desta técnica para gerar planos. A facilidade de aplicação e de entendimento do cronograma de barras, além da possibilidade de seu emprego como complemento de outras técnicas de programação o torna a mais conhecida e utilizada técnica de planejamento.

Tem como desvantagem não mostrar com clareza a interdependência das atividades, além da necessidade de determinar as datas de início e fim, assim como as folgas, por outra técnica, e antes do início da montagem deste cronograma (LIMMER, 1997).

### 2.1.3.3 Técnica de linhas de balanço

Algumas obras podem ser caracterizadas pela repetição, as obras de natureza linear tais como a construção de rodovias, ferrovias, tubovias, e as obras de conjuntos habitacionais e alguns tipos de edifícios, onde o mesmo serviço é executado diversas vezes ao longo do empreendimento. (LIMMER, 1997).

A técnica de balanceamento conhecida como linha de balanço, propõe que as atividades repetitivas sejam programadas em termos do seu ritmo de execução ou de conclusão, isto é, o número de unidades que as equipes que executam determinada operação conseguem concluir em uma unidade de tempo. Este ritmo de produção é então mostrado em um gráfico (chamado gráfico de objetivos) com o eixo horizontal representando o tempo e o eixo vertical as unidades produzidas (MENDES JR., 1999).

Assumpção e Fugazza (1998) afirmam que a técnica de LB, é própria para a modelagem de obras repetitivas, tendo como vantagem o fato de fomentar situações de nivelamento de recursos, utilizando modelos relativamente simples em relação aos utilizados nas técnicas de rede. Não obstante, as simulações são feitas em ambientes gráficos, levando a que se utilize a técnica com maior frequência para o planejamento estratégico e não para se gerar informações nos níveis operacionais (ASSUMPÇÃO; FUGAZZA, 1998).

### 2.1.4 *Discussão*

O PCP constitui um processo de grande importância para o sucesso de um empreendimento. Conceitualmente, é no planejamento que metas são traçadas,

prevendo-se o estado futuro de implantação e as mesmas são parametrizadas para que medidas corretivas sejam tomadas na identificação de desvios na cadeia produtiva.

Há na literatura diversos trabalhos identificando melhorias sensíveis nos resultados da produção, obtidos por intermédio de um planejamento e controle eficaz, que antecipou a realidade da execução e trouxe ferramentas para as tomadas de decisão em tempo hábil.

A eficácia no planejamento pode ser obtida via utilização adequada das técnicas e ferramentas computacionais, de acordo com as necessidades da empresa.

O diagrama de barras (Gantt) é a técnica mais difundida para o planejamento, por ser de fácil programação e entendimento. A maioria dos programas de computador utilizada no mercado hoje tem como apresentação final o diagrama de barras. Por este motivo, seus resultados não costumam ser questionados ou avaliados, não prevendo as metas adequadamente.

A técnica de LB é adequada para o uso em planejamento de atividades repetitivas. Sua principal vantagem está no uso para situações de nivelamento de recursos e identificação de pontos de conflito entre as atividades, não obstante, os programas computacionais utilizando esta técnica não estão difundidos hoje no mercado, tornando a técnica muito artesanal e de trabalhosa simulação de alternativas. Outro ponto negativo é que esta necessita do suporte de outra técnica para as atividades que não são lineares.

**Tabela 1 – Vantagens e desvantagens no uso das principais técnicas de PCP.**

<b>TÉCNICA</b>	<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
PERT/CPM	apresenta a lógica da produção	dificuldade em explicitar atividades de fluxo e interferências entre atividades subsequentes
	permite a visualização dos desvios no tempo - caminho crítico	
Diagrama de barras (Gantt)	facilidade de aplicação e de entendimento do cronograma	necessidade de determinar as datas de início e fim, assim como as folgas, por outra técnica
	possibilidade de seu emprego como complemento de outras técnicas de programação	
Linhas de balanço	fomenta situações de nivelamento de recursos	a técnica é muito artesanal e de trabalhosa simulação de alternativas
	identifica os pontos de conflito entre as atividades	necessita do suporte de outra técnica para as atividades que não são repetitivas

## **2.2 Técnicas de programação por linhas de balanço e aplicações**

As técnicas baseadas nos conceitos das LB permitem a visualização da interferência entre atividades subsequentes por modelar o ritmo variável de produção de cada atividade. Estas têm sido propostas justamente para suprir esta deficiência no planejamento da produção (MENDES JR, 1999). Faz-se a seguir uma exposição mais detalhada desta técnica.

### *2.2.1 Histórico*

Embora desenvolvida na década de 40, pela Goodyear (LUTZ; HIJAZI, 1993) os primeiros trabalhos com aplicações das LB no controle da fabricação fabril surgiram na década de 60. A Marinha dos EUA publicou em 1962 um material sobre o uso das LB, obtendo um grande sucesso (TURBAN, 1968). Um comitê estabelecido pelo governo dos EUA com o objetivo de estudar as LB propôs a integração desta com o PERT no controle da produção, tendo como principal vantagem o seu uso em todo o ciclo do projeto, incluindo atividades repetitivas e não repetitivas (DIGMAN, 1967; SCHODERBEK; DIGMAN, 1967). A

LB foi criada para o processo de produção, sendo depois adaptada para o planejamento de projetos (LUMSDEN, 1968; INPE, 1972).

Turban (1968) explica o uso dos gráficos das LB em dois estudos de caso em indústrias da manufatura, expondo que a técnica é complementar ao PERT, embora cada uma possa ser usada eficientemente por si só. Embora se tenha difundido seu uso para projetos repetitivos, a técnica não recebeu apoio das indústrias (SELINGER, 1980). Um dos motivos é a imensa popularidade das técnicas de rede nos EUA, impedindo que a técnica de LB fosse completamente desenvolvida e implementada na indústria da construção (LUTZ; HIJAZI, 1993).

Lumsden (1968) ilustrou o uso das LB em termos de aplicação prática na construção civil. Em seus exemplos, este autor introduz os conceitos de espera (*buffers*<sup>4</sup>), de ritmo natural das atividades e suas implicações nas aberturas de tempos no início ou fim das atividades e a ociosidade de recursos em atividades subseqüentes executadas em ritmos diferentes.

Estes conceitos foram utilizados por trabalhos posteriores, sendo então estendida para cobrir a maioria das aplicações em construção civil (ARDITI; ALBULAK, 1986; STRADAL; CACHA, 1982).

---

<sup>4</sup> *Buffers*: aberturas, espaços de tempo ociosos entre as atividades (MENDES JR, 1999).

### 2.2.2 Programação de projetos repetitivos

A natureza repetitiva e a necessidade do aumento de produtividade de projetos de construção lineares em conjunto com a ênfase da indústria da construção na padronização de processos e modulação de componentes ao longo dos últimos anos têm impulsionado o desenvolvimento de várias técnicas e estratégias de planejamento para estes tipos de projeto (MENDES JR., 1999)

A produção caracterizada pela repetição de processos, ao contrário da característica dominante na indústria da construção que é a produção orientada por projeto, desafia as empresas do setor construtivo (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

A repetição e interdependência entre os processos são características marcantes destes empreendimentos. O progresso de praticamente todos os processos depende de que o processo antecessor seja desenvolvido correta e completamente. Devido a este arranjo, a produção tem um importante papel estratégico no que diz respeito à competitividade da empresa neste mercado (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

De acordo com Arditi (1983), os quatro principais objetivos do planejamento e controle de processos repetitivos são:

- (1.) Garantir que unidades completas estejam prontas como requerido;
- (2.) Manter os ritmos desejados de produção;

(3.) Balancear os recursos ao longo do projeto;

(4.) Reduzir o potencial de custos de unidades de construção repetitivas.

### 2.2.3 *A técnica de linhas de balanço*

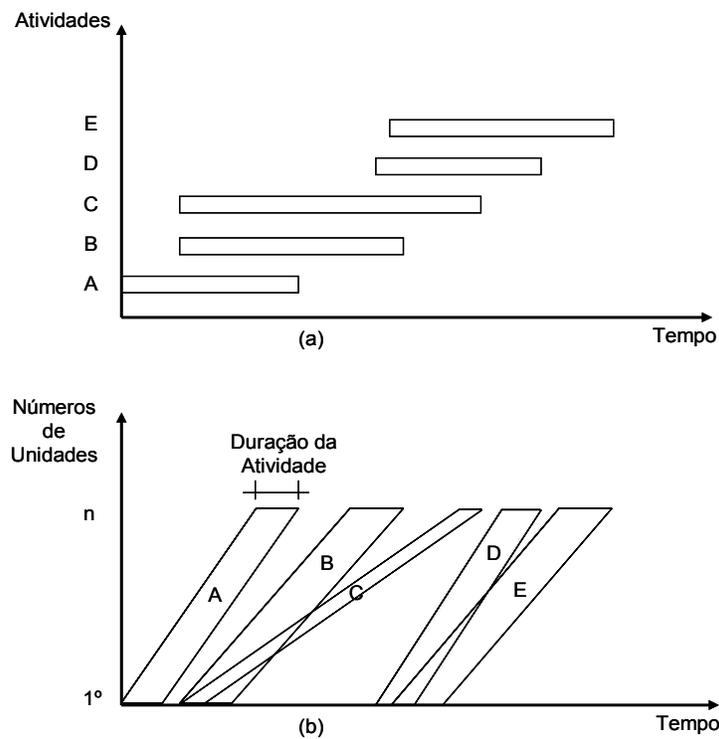
Maders (1987) admite que um aumento substancial de produtividade possa ser alcançado quando as equipes trabalham contínua e permanentemente em um processo, assim, cada tarefa ou atividade define um fluxo produtivo.

As técnicas de programação para atividades repetitivas ou seqüenciais baseadas nas LB usam o conceito de curvas de produção ou linhas de fluxo (MENDES JR., 1999). Nela está inserida a noção de fluxos produtivos associada à idéia de ritmos de produção dos mesmos. A construção é mostrada como um fluxo rítmico de linhas de produção (MADERS, 1987).

Bernardes (2001) afirma que a visibilidade está diretamente vinculada ao conceito de LB, na medida em que é possível inferir sobre a maneira como a produção é desenvolvida em termos de espaço e tempo. Pode-se eficientemente identificar possíveis interferências do fluxo de mão-de-obra no processo produtivo (BERNARDES, 2001).

As LB diferem dos gráficos de barras por apresentarem a seqüência das atividades principais e sua ordem de precedência, e por possibilitarem a análise do risco de colisão entre os diversos fluxos produtivos (MADERS, 1987).

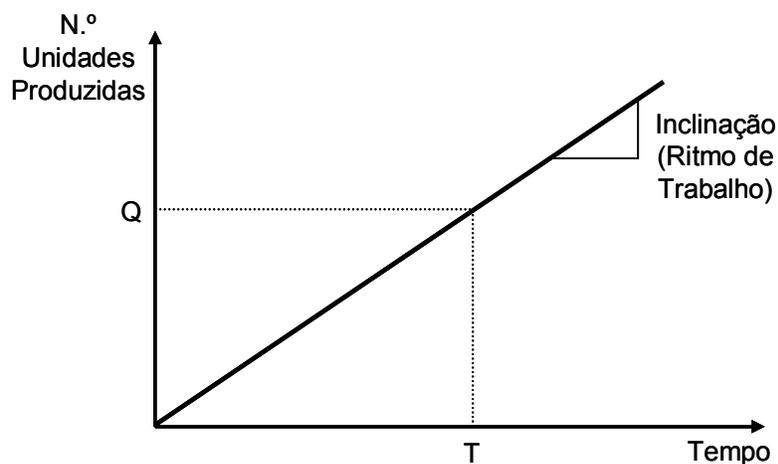
No diagrama de barras, o eixo vertical apresenta as atividades, cada barra apresentando uma atividade, e o eixo horizontal apresenta a escala de tempo (FIGURA 2.4a). No caso das LB, o eixo vertical apresenta as unidades repetitivas, a barra continua representando uma atividade e o eixo horizontal a escala de tempo, porém, cada barra deve ter a inclinação que indicará seu ritmo de execução ao longo das unidades repetitivas (FIGURA 2.4b) (MENDES JR., 1999).



**Figura 2.4 - Gráfico de Gantt x gráfico de LB (MENDES JR, 1999).**

A representação gráfica das LB pode ser feita por linhas ou barras. Utilizando a representação por barras insere-se mais uma informação, a espessura da barra indica a duração da atividade para construção de uma unidade.

Conceitualmente, a LB é um diagrama tempo-espço para todo o processo (MENDES JR, 1999). Em um determinado instante “T” haverá uma quantidade “Q” de unidades concluídas. A inclinação de cada reta fornece o ritmo de produção para cada um dos processos repetitivos em termos de unidades por tempo e a duração de cada atividade, assim como a duração total do projeto, conforme apresentado na FIGURA 2.5 (MENDES JR, 1999).

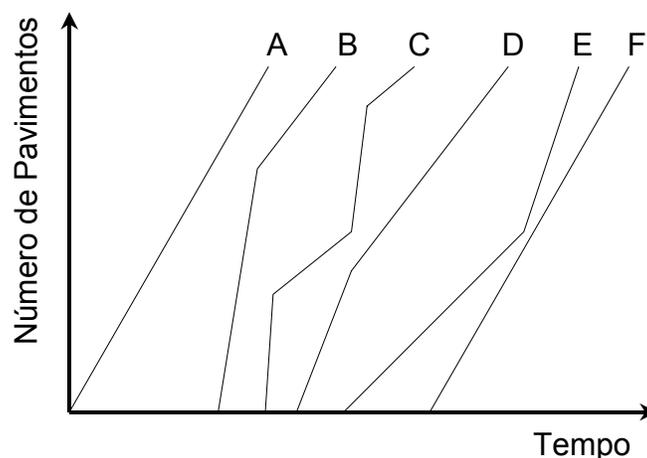


**Figura 2.5 - LB conceitual para um processo** (MENDES JR, 1999).

As linhas demonstram a execução de uma mesma tarefa em diferentes pontos do empreendimento, representando as equipes percorrendo uma seqüência de produtos fixos (BULHÕES; FORMOSO; AVELLAN, 2003). Estes processos devem ser balanceados num certo ritmo que garanta a conclusão em seqüência das unidades (MENDES JR., 1999). Esta técnica permite a simulação de várias alternativas de estratégia de obra e ritmos de produção dos diversos serviços. A programação com as LB consiste primordialmente na alocação das equipes para uma determinada atividade nas sucessivas repetições resolvendo

qualquer conflito de precedências com as atividades já programadas (MENDES Jr.; HEINECK, 1997).

Os projetos de construção repetitivos usualmente apresentam processos com diferentes ritmos de produção. O desbalanceamento ocorre quando a linha de produção intercepta a reta de um ou mais processos posteriores por causa da diferença de inclinação e abertura no tempo (*buffer*) insuficiente entre as datas de início dos processos (MENDES JR., 1999). Quando não existe continuidade de uma linha de produção, caracterizado por uma quebra (mudança no ritmo), é sinal de desequilíbrio desta atividade (FIGURA 2.6). Para Mendes Jr. (1999) este desequilíbrio ou desbalanceamento pode afetar negativamente o desempenho do projeto, causando paradas nas tarefas, utilização ineficiente das equipes e equipamentos, e custos excessivos. A programação de atividades em projetos repetitivos procura balancear os recursos de produção, otimizando-os (MENDES JR., 1999).



**Figura 2.6 - Curvas de produção - processos desbalanceados (MENDES JR., 1999).**

As quebras de ritmo são inevitáveis durante a execução das atividades no canteiro de obras, porém, estas devem ser controladas para que não afete o empreendimento, ou seja, ao sinal de quebras de ritmos deve-se tomar ações corretivas para retomar ao ritmo planejado.

Os maiores benefícios da LB são o formato gráfico de fácil interpretação contendo informações de produção e duração para cada processo repetitivo e a facilidade de programar a continuidade de trabalho das equipes ao longo das repetições nas unidades (MENDES JR., 1999). O gráfico da LB pode ser facilmente construído e então se identifica rapidamente o que está inconsistente no andamento do projeto, detectando gargalos futuros (MENDES JR., 1999). Adicionalmente, a LB permite a visualização dos fluxos de trabalho em todo o empreendimento, bem como a comparação entre as datas-marco de execução dos processos de acordo com prazo previsto para execução do empreendimento (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

No caso de edifícios, a técnica segue a seqüência lógica definida entre atividades do mesmo andar (horizontal) e entre atividades de andares distintos (vertical). Mostra as restrições existentes horizontal e verticalmente para programação de trabalhos repetitivos (THABET; BELIVEAU, 1994; ASSUMPÇÃO, 1996).

A seguir ilustra-se um exemplo típico de LB para dois processos consecutivos (FIGURA 2.7). A distância horizontal entre as duas retas representa um tempo de abertura (*time buffer*) ou defasagem naquela unidade (MENDES JR.,

1999). A distância vertical entre as retas consecutivas em um determinado instante representa uma espera (*stage buffer*), isto é, o número de unidades em fila entre processos, aguardando o início das tarefas (MENDES JR., 1999).

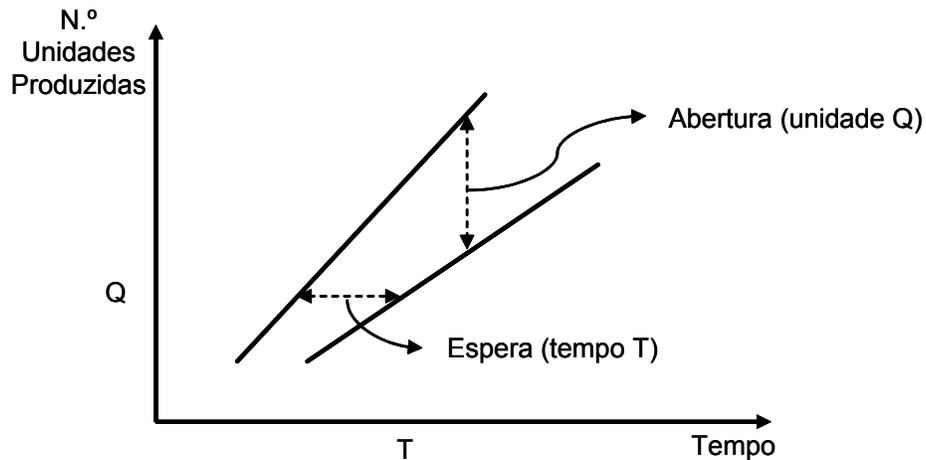


Figura 2.7 - Linhas de produção de processos (LUTZ, 1990).

Mendes Jr. (1999) comenta que a programação por LB responde a algumas das principais questões da programação de um projeto:

Quem? – a equipe que executará a atividade;

O quê? – a atividade representada pela Linha de Balanço;

Quando? – o instante T no eixo horizontal do plano;

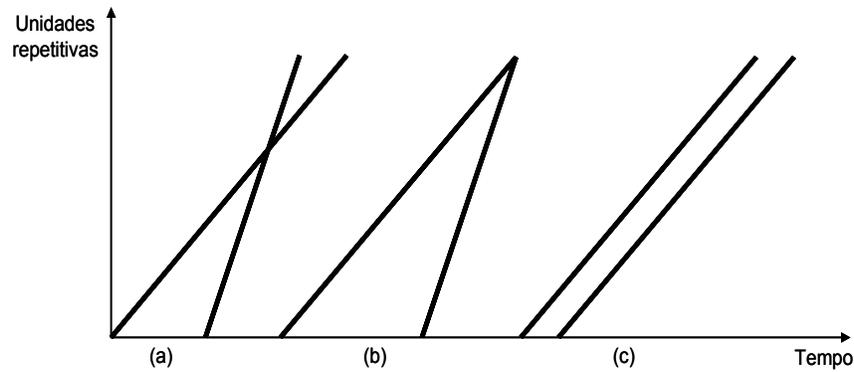
Onde? – a unidade Q no eixo vertical do plano.

A simulação das linhas de produção de todo o processo acarretará em interferências de uma atividade na outra. A análise destas interferências se faz

necessária, balanceando as atividades, de modo a executar todas as atividades continuamente, sem interferências (MENDES JR., 1999).

Para exemplificar o balanceamento das atividades, mantendo o ritmo constante de produção, pode-se utilizar a analogia metafórica sugerida por Goldratt e Cox (1993) para explicar a Teoria das Restrições. Os autores tomam como exemplo uma fila de escoteiros subindo um morro para demonstrar os impactos que atividades de baixo ritmo provocam no sistema de produção como um todo. Nesta fila, um escoteiro tem que se guiar pelo escoteiro que vai a sua frente, sem poder ultrapassá-lo. Se um escoteiro não conseguir acompanhar o ritmo do seu parceiro à frente, irá se distanciar, criando uma abertura no percurso, e segurar todos os que estiverem atrás dele afetando todo o grupo. Se o objetivo é fazer com que todos os escoteiros andem juntos, podemos reduzir o ritmo dos escoteiros que vêm à frente, aproximando-o do mais lento, não obstante, se o objetivo é fazer o grupo chegar ao pico do morro o quanto antes, deve-se avaliar os motivos que fazem este escoteiro ser mais lento e trabalhar para melhorar seu desempenho.

Uma questão a ser verificada para o balanceamento do ritmo de produção é se uma linha de atividade não intercepta outra linha de uma atividade antecedente, como indica a FIGURA 2.8 (a).



**Figura 2.8 - Mudança na programação** (MENDES JR.; HEINECK, 1997).

Neste caso têm-se duas soluções, retardar o início da atividade, mantendo seu ritmo, como demonstrado na FIGURA 2.8 (b), ou mudar o ritmo de produção, FIGURA 2.8 (c).

Mendes Jr. (1999) compara estas duas soluções a programação paralela e programação natural (não paralela) das LB. Nas programações paralelas, todas as atividades têm um ritmo de produção muito próximo, aparentemente com menor perda de recursos. Nas programações naturais mantêm-se os ritmos de cada atividade, trabalhando para que não haja gargalos, alterando os ritmos destas atividades para diminuir os tempos de aberturas provocados pelas mesmas.

No caso das programações paralelas não se tem desperdício de tempos entre uma atividade e outra, ou entre a passagem de uma unidade para outra. Assim, sempre que uma equipe passar para a unidade seguinte, a programação garante que estará livre para o serviço ser iniciado (MENDES JR.; HEINECK, 1997).

O processo de balanceamento das LB pode ser comparado com o nivelamento de recursos em redes PERT/CPM, onde as atividades têm sua execução deslocada no tempo dentro da folga calculada (MENDES JR., 1999). Este autor conclui que o balanceamento das atividades na programação procura modular a execução, sugerindo a especialização na execução das tarefas, que quando assim organizadas, induzem a alguns benefícios, tais como maior rapidez na execução de uma atividade, mais clareza na execução das tarefas e maior garantia de conclusão.

Mendes Jr. (1999) conclui em sua tese que a vantagem da aplicação da LB em projetos de construção repetitiva é o seu uso para prever ou analisar facilmente o ritmo de qualquer processo, seja de produção, de montagem ou fornecimento.

Uma limitação da técnica é que esta assume uma natureza linear de produção das unidades (MENDES JR., 1999). Devido ao efeito aprendido observado quando da execução da mesma atividade repetidamente, a hipótese de ritmos de produção lineares pode ser errada. Técnicas analíticas e de simulação podem contornar este problema (LUTZ, 1990).

Outra limitação da metodologia apontada anteriormente por alguns autores (LUTZ, 1990; COLE, 1991; STRADAL; CACHA, 1982; CHRZANOWSKI; JOHNSTON, 1986), é não ser totalmente adequada à programação em computadores, pois o método de programação linear é essencialmente gráfico, não podendo ser adaptado por processamento numérico tão diretamente quanto

os métodos de rede. Entretanto, esta limitação foi superada com a utilização de sistemas como o CAD que facilita a programação e sua revisão. O uso de métodos combinados com as técnicas de rede e modelagem matemática foi proposto para vencer estas dificuldades. (MENDES JR., 1999). Atualmente, novos programas para cálculo das linhas de balanço estão sendo apresentados e comercializados.

#### *2.2.4 Métodos de aplicação da técnica de linhas de balanço*

Desde a década de 60, inúmeros pesquisadores têm proposto métodos de aplicação das técnicas de LB (MENDES JR., 1999). No âmbito nacional alguns trabalhos apresentam metodologias de aplicação das LB, priorizando a programação paralela, determinando, como ponto chave, um único ritmo para conclusão dos trabalhos (MADERS, 1987; SCOMAZZON; SOIBELMAN; SILVA, 1985; MAZIERO, 1990; MENDES JR., 1999; BERNARDES, 2001).

O método proposto por Maders (1987) para a formulação de um projeto de LB compreende quatro estágios:

- (1.) Fragmentação do projeto em atividades;
- (2.) Alocação de equipes para realização destas atividades;
- (3.) Determinação de um ritmo de entrega das unidades;
- (4.) Adequação das atividades particulares a este ritmo.

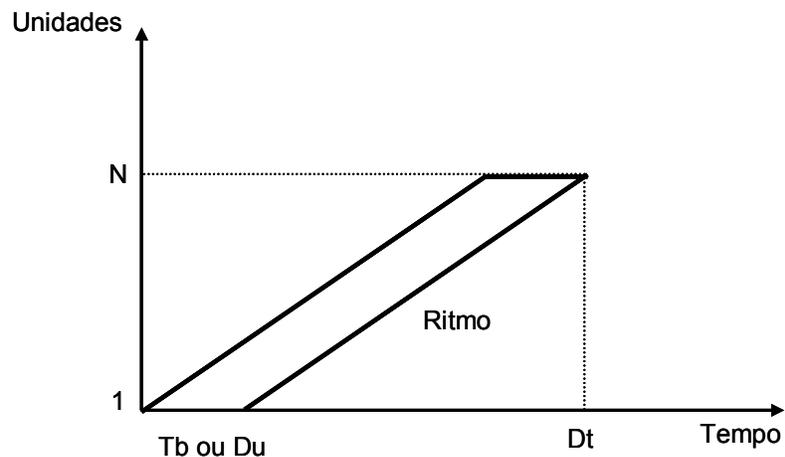
Para a aplicação da técnica de LB, é necessário conhecer, para cada atividade (MENDES JR., 1999):

(a.) Quantidade de serviço a executar;

(b.) Produtividade das equipes.

Estas informações serão necessárias para se obter a demanda de pessoal requerida para executar cada tarefa, que é a base para a distribuição dos recursos (MENDES JR., 1999). (FIGURA 2.9).

Considerando a programação paralela, o cálculo do número de equipes é baseado no seguinte:



**Figura 2.9 - Ritmo de execução para conclusão das atividades no prazo estabelecido**

(MENDES JR., 1999).

Sendo que, (MENDES JR., 1999):

$Dt$  = Duração total (o prazo de execução das atividades repetitivas nas unidades);

$Tb$  ou  $Du$  = Tempo base ou Duração unitária (duração das atividades em uma unidade);

$N$  = Número de unidades.

Portanto, o ritmo de conclusão  $R$  em dias pode ser calculado segundo a EQUAÇÃO 2.1 e o número de equipes necessárias  $Ne$  é então estabelecido pela EQUAÇÃO 2.2 (MENDES JR., 1999):

$$R = \frac{Dt - Tb}{(N - 1)} \quad \text{EQUAÇÃO (2.1)}$$

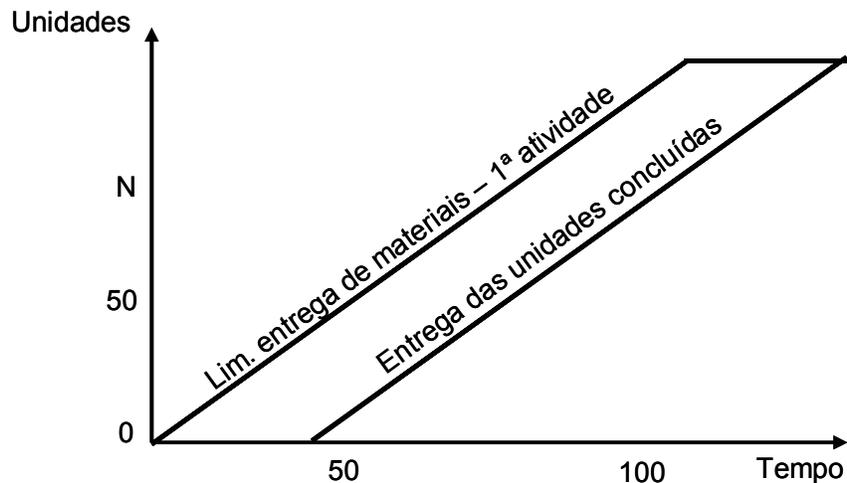
$$Ne = \frac{Du}{R} \quad \text{EQUAÇÃO (2.2)}$$

Sendo o número de equipes inteiro, o mesmo deve ser aproximado para o primeiro inteiro acima. Considerando uma única equipe executando o serviço, obtemos o ritmo natural de execução da atividade (MENDES JR., 1999). Quando o ritmo natural não é múltiplo do ritmo, haverá ociosidade no trabalho da equipe, causado pela espera entre a conclusão de uma unidade e início da outra (LUMSDEN, 1968; MADERS, 1987).

Considerando-se que a utilização dos recursos materiais necessários para a execução da primeira atividade se dê a uma taxa constante, igual a razão da produção, pode-se traçar a linha de entrega de materiais para esta atividade. Esta

linha e a linha de entrega das unidades definem uma faixa produtiva para as unidades (MADERS, 1987) (FIGURA 2.10).

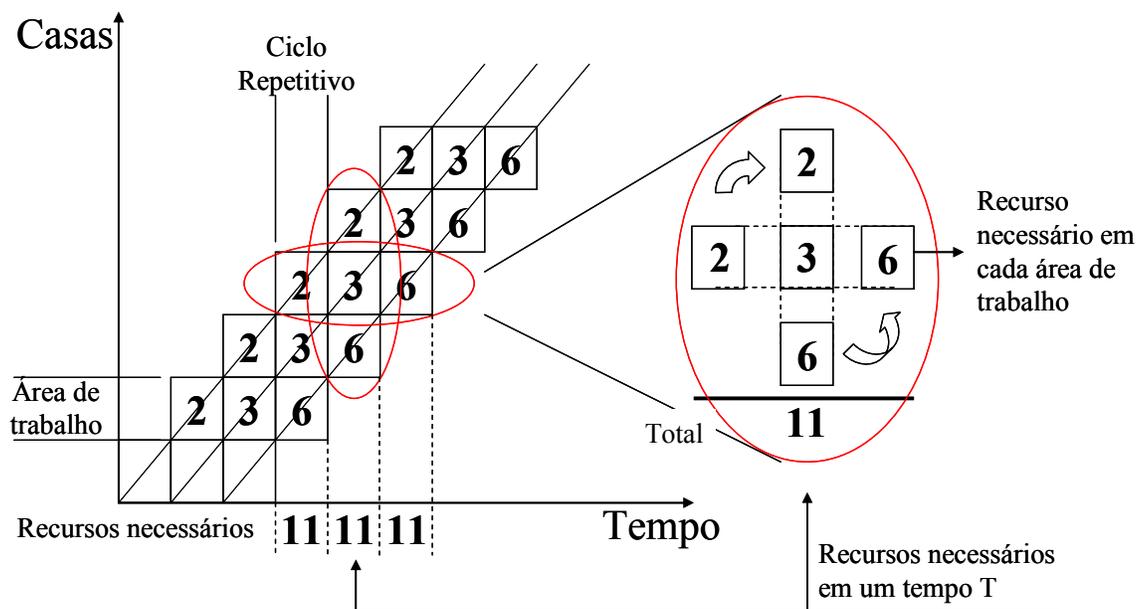
Para Maders (1987) desta forma ficam definidas as duas retas determinantes do período produtivo para cada unidade do projeto e deste como um todo, ou seja, retas que representam o evento final e inicial da rede unitária e cuja inclinação representa a razão de produção necessária ou ritmo de trabalho. As retas que definem as faixas de produção das atividades subseqüentes podem ser traçadas paralelamente as duas anteriores, guardando as relações de precedência e tempos de duração. (MADERS, 1987).



**Figura 2.10 - Faixa de produção (MADERS, 1987).**

Levando em consideração os processos de produção *lean*, a entrega de materiais fracionada na unidade, delimitada no gráfico de LB é um referencial de *just-in-time*. A entrega fracionada elimina a necessidade de um local para disposição do estoque, além de nivelar o desembolso financeiro para pagamento dos materiais.

No que se refere à alocação de recursos, na FIGURA 2.11 pode-se observar a distribuição do insumo de mão-de-obra necessário dentro do ciclo de repetição. Na horizontal, têm-se as diversas atividades a serem executadas em uma mesma área de trabalho, que se repetem. Em cada uma destas áreas de trabalho, na repetição, o serviço é executado pela mesma equipe, composta pelo número de funcionários descritos (KIIRAS, 1998).



**Figura 2.11 - Determinação de recursos necessários em ciclos repetitivos (KIIRAS, 1998).**

Por meio da faixa produtiva, delimitada por Maders (1987) e a distribuição da mão-de-obra em ciclos repetitivos (KIIRAS, 1998) pode-se, utilizando a técnica de LB, definir os recursos necessários de material e mão-de-obra para a produção das atividades.

Esta definição já na etapa de planejamento pode promover um ambiente de produção mais transparente e claro, favorecendo o aprendizado e melhorando a

produtividade. Neste sentido, a aplicação da técnica de LB facilita o diagnóstico das perturbações e desvios de programa antes que cresçam a proporções maiores (LUMSDEN, 1968).

#### 2.2.5 *A aplicação da técnica de linhas de balanço*

A explicitação do seqüenciamento da obra, por meio da divulgação das LB, contribui para reduzir as constantes mudanças no plano de ataque (BULHÕES; FORMOSO, 2004). Em estudo de caso, realizado em uma obra localizada na cidade de Salvador – BA, Bulhões; Formoso; Avellan (2003) concluem que a utilização das LB contribuiu para aumentar a transparência e eficácia do controle dos fluxos de trabalho, sendo a técnica de fácil implantação no planejamento da obra.

Há diversos relatos na literatura sobre a simulação didática da técnica de LB às equipes de produção. Harris e Evan (1977) aplicam a LB no desenvolvimento de um jogo de simulação para gerentes de obras de estradas.

Utilizando-se a simulação da construção de uma residência, através de modelo reduzido, Vargas *et al.* (1998) mostram que no exercício considerando o planejamento com a técnica das LB obtém-se uma significativa redução do tempo de execução em todos os serviços e uma visível redução na quantidade da mão-de-obra envolvida, em contrapartida ao exercício desenvolvido sem a definição da ordem de produção das unidades e seqüenciamento das atividades.

Seppänen e Aalto (2005) concluem em estudo de caso de um edifício de escritórios que com a utilização das LB o sistema de controle permitiu a

visualização dos efeitos dos desvios comparando com a programação primária. Esta visualização contribuiu para que a equipe de produção tivesse motivação para planejar e programar melhorias no processo.

#### 2.2.6 *Discussão*

A técnica de LB apresenta as atividades em um formato gráfico de fácil interpretação. O gráfico permite a visualização das interferências entre atividades subseqüentes. Esta característica permite que seja planejado o ritmo de produção das atividades, procurando criar um ambiente propício para implantação de fluxo contínuo na obra.

O gráfico das LB pode induzir intuitivamente ao nivelamento de recursos, seja a adequação da data de entrega dos materiais e equipamentos, quanto à mão-de-obra a ser disponibilizada em cada etapa da obra.

A grande desvantagem da utilização desta técnica está na deficiência de *softwares* disponibilizados no mercado para o cálculo desta, tornando o processo demasiadamente manual. Não obstante, estudos recentes têm apresentado alguns programas que estão suprimindo esta necessidade.

Outra desvantagem é a consideração linear de produção. O efeito aprendido, causado pela repetição da atividade, não é considerado no gráfico de LB.

## 2.3 *Lean thinking* e fluxos de produção

### 2.3.1 *A filosofia lean thinking*

A origem desta filosofia está relacionada ao crescimento industrial, ao desenvolvimento de sistemas produtivos e necessidade de controle da produção, qualidade e custos. Foi desenvolvido em ambiente de manufatura, mais especificamente na indústria automobilística. (PICCHI, 2003).

O Sistema Toyota de Produção (TPS)<sup>5</sup> foi concebido com o objetivo de produzir automóveis diferenciados, que atendessem as necessidades de qualidade e preço do mercado, surgindo este novo paradigma de produção.

Os pesquisadores norte-americanos Womack, Jones e Ross (1992) propuseram em seu livro o termo *lean production* (produção enxuta) para traduzir ao ocidente as técnicas e ferramentas utilizadas no TPS. Womack e Jones (1998) posteriormente ampliaram este termo para *lean thinking*<sup>6</sup>, pois esta filosofia é aplicável à empresa como um todo, não somente a produção. O termo *lean* tornou-se comum para referir-se a este paradigma de produção.

---

<sup>5</sup> Sistema Toyota de Produção: fornecer a melhor qualidade, o menor custo e o lead time mais curto por meio de eliminação do desperdício. (LEI, 2003).

<sup>6</sup> Os termos *lean* e *lean thinking*, difundidos no meio acadêmico serão utilizados preferencialmente as suas respectivas traduções, enxuto e mentalidade enxuta.

Segundo Womack, Jones e Ross (1992) este novo paradigma de produção utiliza menos recursos para produzir em menor tempo e ocupando menos espaço, atingindo a satisfação do cliente em qualidade e custo.

Womack e Jones, (1998) estabeleceram as bases do *lean thinking* em cinco princípios:

- (1.) Valor – definir precisamente valor em termos de produtos específicos com capacidades específicas oferecidas a preços específicos através do diálogo com clientes específicos;
- (2.) Fluxo de Valor – o conjunto de ações necessárias para que o produto passe por três pontos gerenciais críticos, a citar a solução de problemas, o gerenciamento da informação e a transformação física;
- (3.) Fluxo contínuo – fazer com que as etapas que agregam valor fluam, formando um fluxo;
- (4.) Produção puxada – permitir que o cliente puxe o produto da empresa ao invés de empurrar os produtos;
- (5.) Perfeição – a interação entre os outros quatro princípios, reduzindo os desperdícios dentro do processo produtivo, resulta na garantia da melhoria contínua dentro dos processos, buscando a perfeição.

O primeiro princípio, e o ponto de partida para aplicar o *lean thinking* é o valor. Definir o que é valor é o primeiro passo, e esta definição é apontada pelo

cliente final, a partir de suas necessidades e expectativas quanto ao produto. Cabe a empresa entender e traduzir em produtos a necessidade do cliente.

O segundo passo é definir o fluxo de valor, analisando a cadeia produtiva, separando os processos produtivos em: processos que agregam valor, processos que não agregam valor, porém são indispensáveis e processos que não agregam valor e são dispensáveis, sendo que estes devem ser eliminados.

Após o mapeamento do fluxo de valor, a próxima etapa é fazer com que os processos que agregam valor, fluam.

Segundo Hother e Harris (2002) a produção em fluxo é mais eficiente que a produção em lotes. Os efeitos da criação de fluxo contínuo podem ser sentidos na redução dos tempos de concepção de produtos, de processamento de pedidos e em estoque (WOMACK; JONES, 1998).

O fluxo contínuo promove uma agilidade na empresa que pode inverter o fluxo produtivo, sendo que a empresa não precisa mais empurrar o produto ao cliente, oferecendo brindes e descontos e sim, produzir de acordo com a demanda do cliente, este é o princípio de produção puxada (WOMACK; JONES, 1998).

A interação e aplicação dos quatro princípios citados na cadeia produtiva da empresa aumentam a transparência do processo, tornando possível a busca pela perfeição e excelência da produção.

Apesar da dificuldade em delimitar e isolar apenas um princípio dentro da filosofia do *lean thinking*, o foco desta pesquisa está em aplicar a técnica das

linhas de balanço no planejamento, visando futura implementação de fluxo contínuo na execução da obra. Por este motivo, a revisão se delimitará em explicitar o princípio Fluxo contínuo.

### *2.3.2 Fluxos de produção*

O fluxo de produção definido para a manufatura é distinto do fluxo de produção para a construção civil. Segundo Picchi (2001) na manufatura o processo industrial pode ser definido em três fluxos bem caracterizados dentro de uma fábrica, dentro de uma empresa ou dentro de uma cadeia de valor:

- (1.) A necessidade do cliente ao lançamento;
- (2.) O pedido de fornecimento à produção;
- (3.) A entrega a reciclagem.

A construção civil, não obstante, pode ser analisada segundo cinco fluxos: (PICCHI, 2001). (FIGURA 2.12).

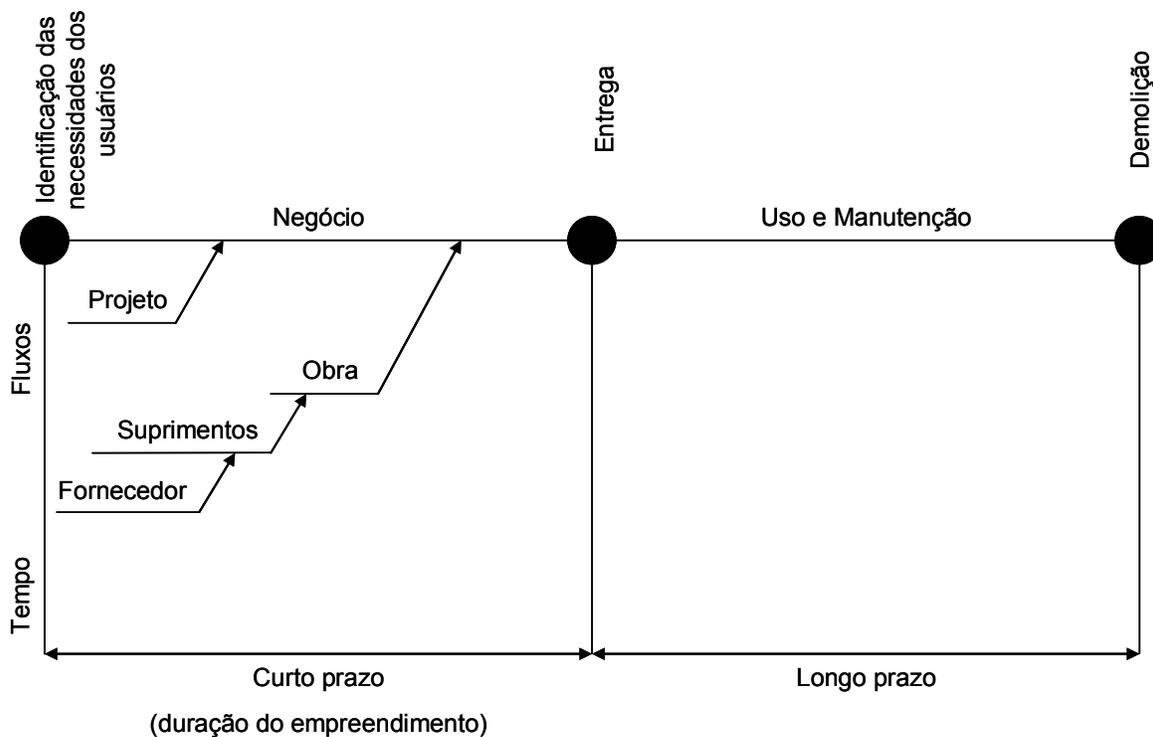
(1.) Fluxo do empreendimento – envolve desde a identificação das necessidades gerais, planejamento geral do empreendimento, contratação e fiscalização de projeto e construção, recebimento da obra e entrega da mesma ao usuário final;

(2.) Fluxo do projeto – geralmente liderado pelo arquiteto, envolve o contratante e demais projetistas como principais participantes;

(3.) Fluxo da obra – liderado pela empresa construtora, com um alto índice de sub-contratação;

(4.) Fluxo de suprimentos – envolve produtos e serviços (materiais, equipamentos, etc.) e é similar ao fluxo de suprimentos na manufatura;

(5.) Fluxo de uso e manutenção – inicia-se após a entrega da obra, equivalente ao fluxo de sustentação da manufatura. Compreende uso, operação e manutenção (reparo, reforma, remodelagem) e demolição. As empresas envolvidas são em geral diferentes das envolvidas nos fluxos anteriores.



**Figura 2.12 - Fluxos na construção civil (PICCHI, 2001).**

Fontanini (2004) comenta que a separação dos fluxos de projeto e obra não é tão clara como na manufatura. Geralmente, algumas atividades de projeto, tais

como atividades de detalhamento e desenhos de execução são realizadas concomitantemente com as atividades de produção em canteiro.

O conceito de fluxo é um dos principais elementos da filosofia *lean thinking* para se determinar e reduzir o desperdício (PICCHI; GRANJA, 2004). O objetivo da produção em fluxo, introduzido por Henry Ford em sua planta de Highland Park, Michigan, em 1913 era reduzir o tempo de execução do produto e o esforço humano (LEI, 2003). Melhorias nos fluxos dos insumos são necessárias na busca por melhores desempenhos em menores tempos, sem que ocorra o comprometimento da qualidade e da conformidade em relação às necessidades dos clientes, nem ocorra um aumento nos custos (SALES; BARROS NETO; ALMINO, 2004).

LEI (2003) define fluxo contínuo como a produção e movimentação de um item por vez (ou um número de pequenos itens) ao longo de uma série de etapas de processamento, continuamente, sendo que em cada etapa se realiza apenas o que é exigido pela etapa seguinte. Na construção de condomínios horizontais, por exemplo, a equipe 1 executaria seu serviço na casa 1, ao terminar passaria para a casa 2, enquanto a equipe 2 iniciaria a execução de seu serviço na casa 1, e assim sucessivamente, como um produto na esteira sendo seqüencialmente manufaturado, as equipes estariam se movimentando e executando as casas.

Um grande fator que causa desperdício na construção é a interrupção do fluxo de trabalho que é usualmente provocado pela alta variabilidade do sistema de produção, lapso de sincronização entre processos e estabilidade insuficiente

(BULHÕES; PICCHI; FOLCH, 2006). Um ambiente incerto resulta na existência de variações nos fluxos de recursos e insumos que abastecem a produção. Deste modo, a redução dos efeitos da incerteza nos fluxos se constitui um passo importante para a diminuição das perdas na construção (BERNARDES, 2003).

Silva e Cardoso (2000) comentam que o alto volume de estoques de materiais e serviços concluídos na obra existe para evitar a descontinuidade da produção provocada pela deficiência de fornecedores (falta de pontualidade, não entrega de pequenos lotes) e deficiências no planejamento da obra, que podem ser observados pelas dúvidas nos prazos de execução das atividades, erros de dimensionamento de equipes, índices de produtividade oscilantes, perdas excessivas e antecipação desnecessária de serviços. A correção destes problemas manteria um fluxo contínuo de produção mesmo com a redução dos estoques (SILVA; CARDOSO, 2000).

Picchi (2003) compara os cinco princípios do *lean* formulados por Womack e Jones (1998) com os onze princípios de Koskela (1992) para o desenho dos processos. No caso do fluxo, o elemento da produção em fluxo está diretamente associado à redução da variabilidade e o elemento do trabalho padronizado pode ser associado a aumento da transparência no processo (PICCHI, 2003).

Considerando um plano que permita o fluxo ininterrupto das equipes de produção, a utilização da técnica das linhas de balanço permite a sincronização entre processos (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004). O balanceamento entre atividades e utilização da técnica para nivelamento de recursos pode melhorar a

transparência do processo de planejamento facilitando a implantação de fluxo contínuo na produção.

### 2.3.3 *Discussão*

O fluxo contínuo, operando através de uma estabilidade básica, com redução de variabilidade, conseguida através do estudo dos processos e eliminação dos que não agregam valor e não são necessários ao processo, reduz os gargalos na produção, podendo aumentar a transparência no processo produtivo. O resultado é o aumento da produção e a redução de estoques.

Uma obra executada com ritmo de produção constante de suas atividades facilita o controle do processo e melhora a distribuição de recursos.

Este ambiente de produção ritmado com as etapas produtivas claras e definidas, assim como a locação adequada da mão-de-obra e recursos materiais, pode propiciar a redução de desperdícios e melhoria contínua da qualidade.

### **3 Métodos da pesquisa**

Apresenta-se neste capítulo como a presente pesquisa foi realizada. Contém essencialmente informações sobre a estratégia de pesquisa adotada, e sobre os métodos de coleta de dados. Como tal, este capítulo é o ponto de partida para as etapas seguintes de conteúdo empírico e de análise do presente trabalho.

#### **3.1 Estratégia da pesquisa**

Há várias taxionomias de tipos de pesquisa, conforme os critérios utilizados pelo autor. Dois são os critérios básicos: (i) quanto aos fins (exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista) e (ii) quanto aos meios de investigação (pesquisa de campo, pesquisa de laboratório, documental, bibliográfica, experimental, *ex post facto*, participante, pesquisa-ação e estudo de caso) (VERGARA, 2005).

Os estudos de caso são adequados quando os limites entre o fenômeno estudado e o contexto não são claramente evidenciáveis. Podem englobar métodos e ferramentas múltiplas para coleta de dados por um observador inserido no local natural de análise, que considera os aspectos temporais e contextuais de um fenômeno contemporâneo em estudo (YIN, 1994). Ou ainda, os estudos de caso consistem no estudo profundo e exaustivo de poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, com o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema (GIL, 2002).

De acordo com o exposto, a estratégia de pesquisa adotada nesta dissertação é o estudo de caso exploratório. Com relação aos fins, esta pesquisa é de caráter descritivo. Tem como principal objetivo expor as características de determinada população estudada, podendo estabelecer correlações entre variáveis e definir sua natureza. Não tem o compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação (VERGARA, 2005).

A pesquisa realizada foi dividida em três etapas. A primeira delas compreendeu a formulação da questão de pesquisa, interagindo com a revisão bibliográfica.

Nas etapas seguintes, foram realizados dois estudos de caso em canteiros de obra de cidades do interior do estado de São Paulo. No primeiro, que consiste a segunda etapa, foram coletados dados de medições do andamento da obra. Neste estudo, detectaram-se falhas no fluxo de produção da obra, apontadas como resultado de um planejamento ineficiente.

No segundo estudo de caso, foi simulado o planejamento de algumas etapas da obra, visando antecipar e reduzir os problemas encontrados na segunda etapa. O objetivo deste caso foi considerar, na etapa de planejamento, estudos que permitam uma tomada de decisões rápida e eficiente durante o andamento da obra.

Detalhes específicos de cada um dos casos de análise encontram-se com Capítulo 4 desta dissertação.

### 3.2 Delineamento e etapas da pesquisa

Esta pesquisa realiza-se em três etapas, conforme mostra a FIGURA 3.1.

A primeira etapa foi o desenvolvimento teórico. A partir da revisão bibliográfica, formulou-se a questão de pesquisa.

Segundo VERGARA (2005) a revisão bibliográfica tem funções tais como permitir que o autor tenha maior clareza na formulação do problema de pesquisa e facilitar a formulação de hipóteses e suposições sinalizando para o método mais adequado à solução do problema.

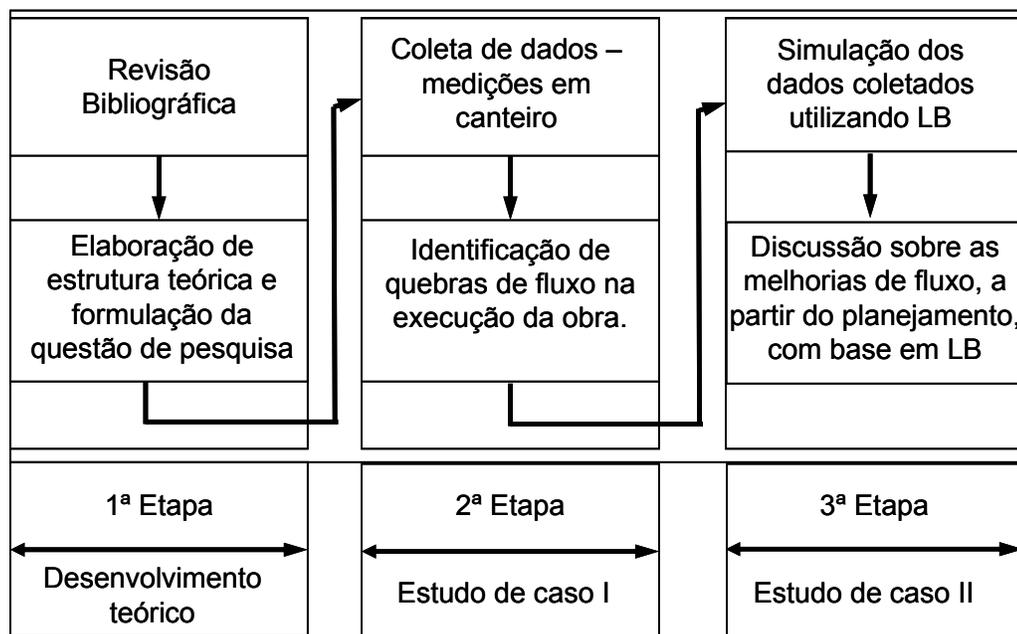


Figura 3.1 - Delineamento da pesquisa

A partir da revisão do referencial teórico, para aprofundamento nos conceitos e importância do planejamento e controle da produção, optou-se por uma técnica de simulação dos dados coletados em campo.

O estudo se limitará ao contexto exploratório, destinado ao desenvolvimento de um arcabouço teórico. Exclui-se do interesse desta pesquisa a implantação do planejamento simulado nas obras estudadas.

Na segunda etapa do trabalho, analisou-se um conjunto habitacional, composto por residências assobradadas, financiado por órgãos públicos. Os dados coletados provêm de medições mensais da produção. Estas medições foram acompanhadas de julho a novembro de 2004. Com estes dados, apresenta-se um gráfico espaço-tempo, analisando as atividades e os principais pontos de interferências entre as mesmas, notados durante a execução da obra. Procuraram-se identificar no planejamento, algumas justificativas para os problemas encontrados na implantação da obra, principalmente os referentes ao planejamento de aportes de recursos e de fluxo de produção.

Na terceira etapa, acompanhou-se o planejamento de um edifício de quatro pavimentos, em um conjunto habitacional administrado na forma de cooperativa, localizado na cidade de Bragança Paulista – SP. Analisando o cronograma deste empreendimento, simulou-se um planejamento com base na técnica de linhas de balanço, procurando-se antecipar os problemas de ritmo das atividades e nivelar recursos, visando que a execução da obra não encontre problemas de fluxo de atividades, de materiais e de mão-de-obra. Este estudo de caso foi realizado no período de dois meses (fevereiro e março de 2005), no processo de execução da alvenaria estrutural e laje pré-moldada.

### 3.2.1 *Revisão Bibliográfica*

O objetivo da revisão bibliográfica foi estabelecer a base teórica para o assunto estudado.

Nesta etapa foram revisados os conceitos sobre planejamento e controle da produção e a filosofia *lean*, trabalhos sobre aplicação da técnica de linhas de balanço e que referenciavam empreendimentos de natureza repetitiva.

### 3.2.2 *Estudo de caso I*

A segunda etapa delimita-se da seguinte forma: analisou-se um condomínio habitacional por intermédio de medições mensais da produção. Os dados coletados serviram de embasamento para construção de gráficos comparativos entre o esperado pelo planejamento do órgão financiador e o real executado.

A produção das várias atividades no canteiro de obras foi analisada por meio de um gráfico espaço-tempo na forma de linhas de balanço para identificação dos principais problemas de fluxo encontrados. Interferências nas atividades subseqüentes e alteração de ritmo de produção da atividade foram apontadas.

### 3.2.3 *Estudo de caso II*

Na terceira etapa realizou um segundo estudo de caso. Neste caso foi simulado o planejamento da obra, utilizando a técnica de linhas de balanço. O segundo caso se vale dos problemas e interferências observados no primeiro,

visando à concepção de um planejamento de produção capaz de promover um fluxo mais consistente de produção de uma seqüência de atividades.

Com base nesta simulação foram feitas as análises e conclusões relativas à utilização da técnica de Linhas de Balanço para o planejamento de obras repetitivas.

## **4 Resultados e discussões dos estudos de caso**

O capítulo 4 apresenta resultados de dois estudos de caso conduzidos nesta pesquisa.

### **4.1 Estudo de caso I**

Descrevem-se nos próximos itens os resultados obtidos no primeiro estudo de caso realizado da presente pesquisa, denominado estudo de caso I.

#### *4.1.1 O empreendimento*

O empreendimento consiste em um condomínio fechado, na cidade de Limeira, interior do estado de São Paulo, financiado por órgãos públicos. É composto por 57 residências unifamiliares assobradadas. São três plantas distintas para os imóveis, com áreas privativas variáveis entre 76,15 m<sup>2</sup> e 85,69 m<sup>2</sup>, implantados em um terreno de área total de 20.318,70 m<sup>2</sup>, sendo que os lotes ocupam 11.412,23 m<sup>2</sup>.

O empreendimento é dotado de infra-estrutura e equipamento comunitário, composto de guarita, quiosque e playground. Toda a área do condomínio é fechada com muros em blocos de concreto.

O foco deste trabalho foi a construção da primeira etapa do condomínio, referenciada como módulo I, que totaliza dez sobrados, distribuídos pelo condomínio. Este é um ponto importante a ser observado, qual seja a distância entre as dez unidades que seriam produzidas, pois estas não se encontravam na mesma quadra ou rua, mas sim, dispersas pela área disponível do condomínio.

A infra-estrutura, apesar de não ser o interesse primário deste trabalho, teve que ser executada em todo o condomínio, devido ao fato citado anteriormente.

#### 4.1.2 Os cronogramas da obra

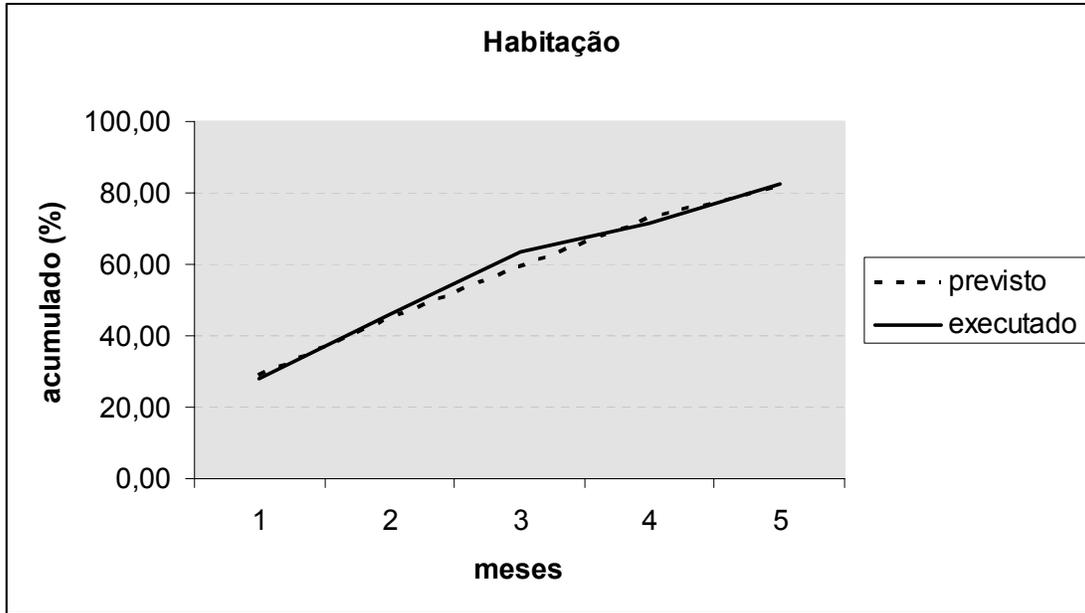
O empreendimento possuía quatro cronogramas físico-financeiros, referentes à habitação, equipamento comunitário, infra-estrutura e global.

A TABELA 2 resume os quatro cronogramas citados, comparando-se a previsão acumulada e as medições realizadas no período de estudo, compreendido entre julho de 2004 a novembro de 2004. O de maior interesse para esta pesquisa é o item habitação.

**Tabela 2 - Resumo das previsões dos cronogramas e das medições mensais da obra.**

Item	Acumulado (%)	1	2	3	4	5
		jul/04	ago/04	set/04	out/04	nov/04
Habitação	previsto	28,98	45,01	59,67	72,91	82,06
	executado	28,07	46,06	63,26	71,70	82,70
Equipamento Comunitário	previsto	15,00	50,10	63,13	63,13	63,13
	executado	22,06	37,06	37,06	53,13	58,13
Infra-estrutura	previsto	27,41	28,96	46,06	55,01	75,45
	executado	29,46	29,46	41,40	56,79	56,84
Global	previsto	27,84	43,28	58,31	69,93	79,92
	executado	27,84	43,30	58,66	68,51	77,68

O gráfico demonstrado na FIGURA 4.1 permite a visualização da evolução da obra, em relação ao respectivo cronograma do item habitação.



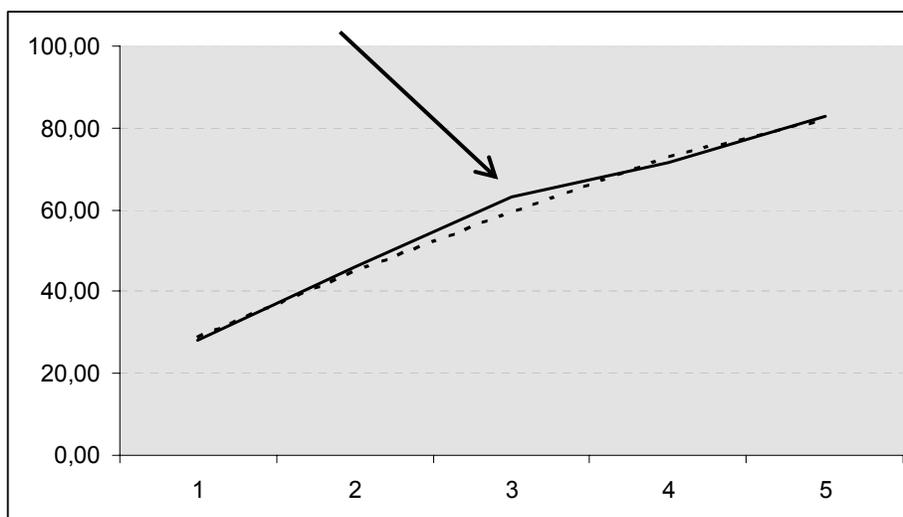
**Figura 4.1 – Comparativo entre a evolução das obras e o cronograma.**

#### 4.1.3 As medições mensais da obra

No decorrer das medições mensais, observam-se alguns problemas referentes à produção das unidades.

Um ponto a ressaltar é a seqüência de execução das unidades residenciais e das atividades dentro da mesma unidade. Como não havia uma seqüência de produção destes sobrados, cada unidade estava em uma etapa da construção e a atividade seguinte era definida na própria obra, de acordo com os recursos disponíveis. Um exemplo foi a execução do pavimento superior de alguns sobrados, mesmo sem a instalação das escadas pré-fabricadas, que ainda não haviam sido entregues na obra. Este fato dificultou o acesso dos trabalhadores e materiais, reduzindo o ritmo de produção, pois o acesso ao pavimento superior realizava-se por meio de andaimes.

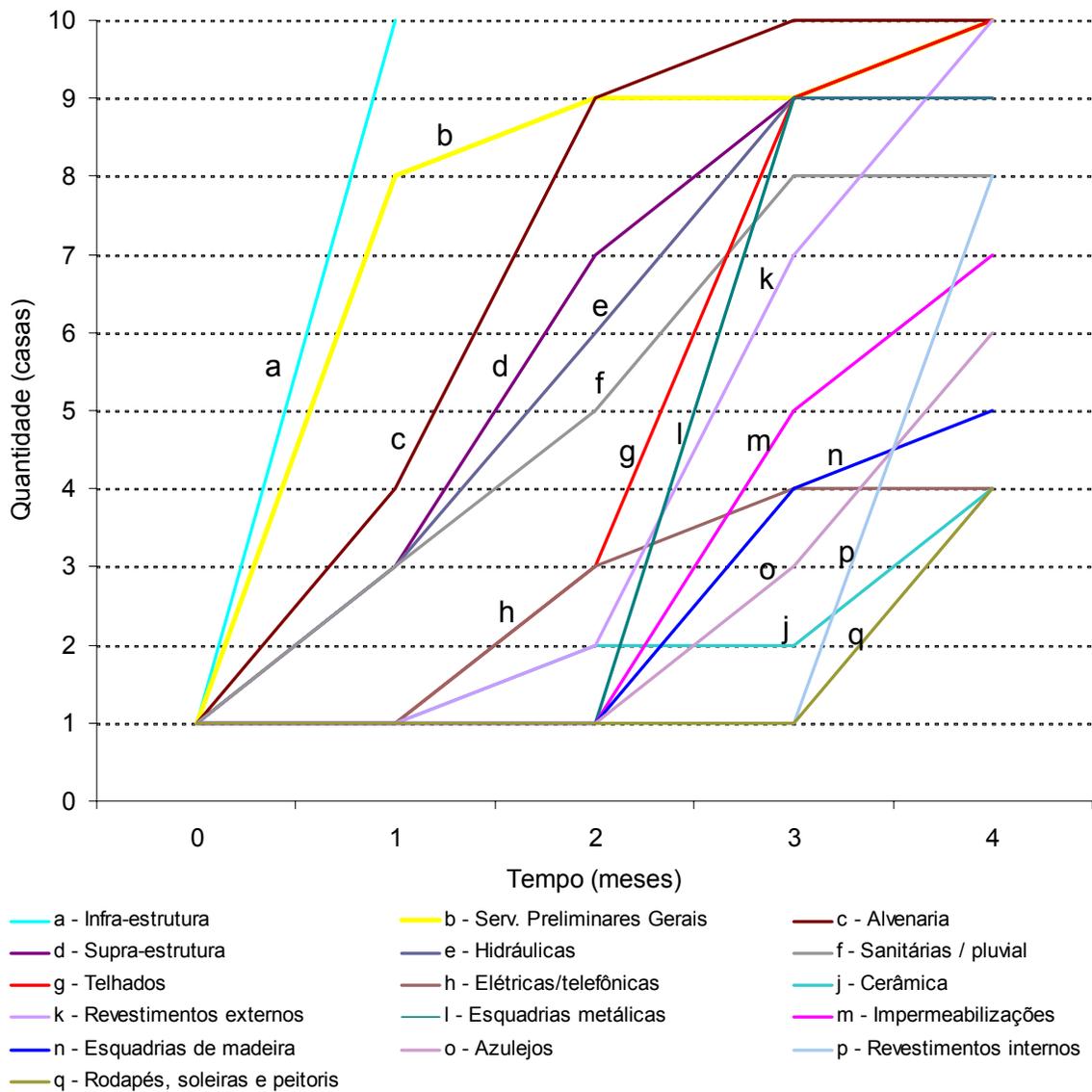
Obras decorrentes de infra-estrutura, já no terceiro mês do início das obras, impediram o trânsito dentro do canteiro, atrasando a produção de algumas unidades. Por este motivo que as obras adiantadas até o segundo mês, sofreram, a partir de então, uma queda significativa na porcentagem acumulada da produção. (FIGURA 4.2).



**Figura 4.2 - Detalhe da diminuição do ritmo de produção das unidades.**

#### *4.1.4 Análise dos problemas identificados*

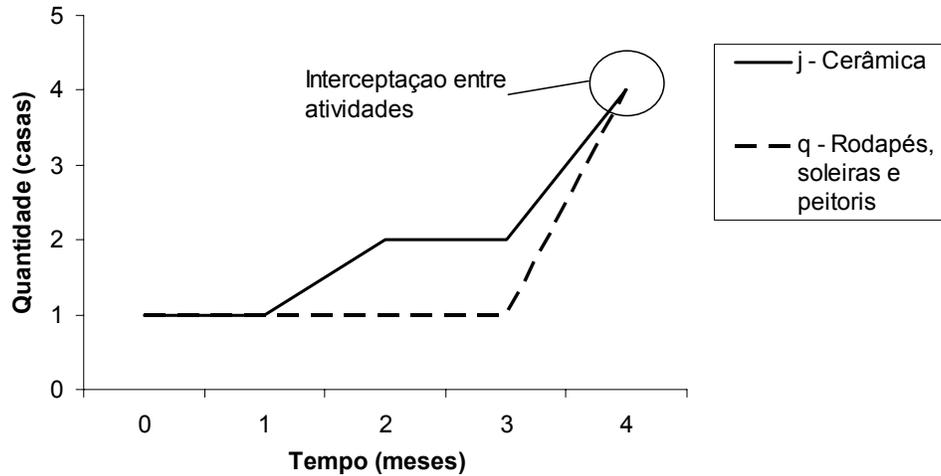
Os dados referentes às medições ao longo da execução do empreendimento foram colocados em um gráfico espaço-tempo de LB, para visualização das interfaces entre as atividades executadas. (FIGURA 4.3). Nesta figura podem-se constatar diversas interferências na produção, principalmente entre atividades subseqüentes.



**Figura 4.3 - Gráfico das atividades executadas ao longo do tempo.**

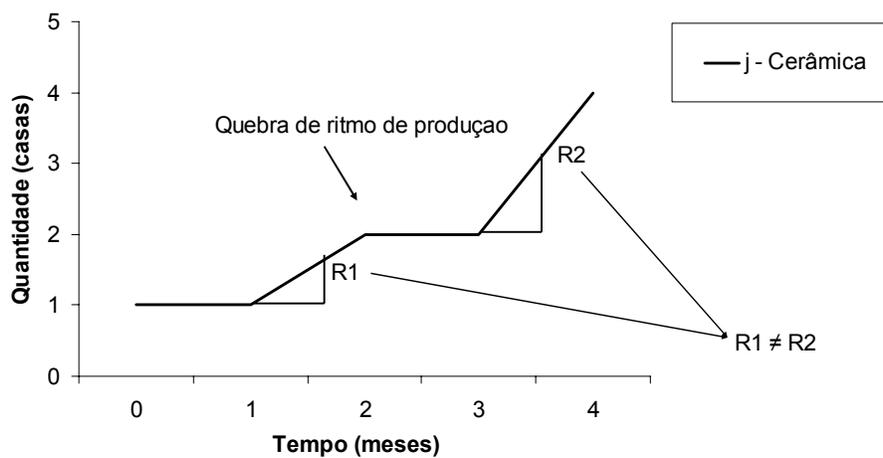
A seguir, especificam-se alguns pontos de interferências entre atividades.

Na FIGURA 4.4 ressalta-se a interceptação entre duas atividades subsequentes e dependentes. O ritmo de produção da atividade rodapés e soleiras é superior ao da atividade de assentamento das cerâmicas.



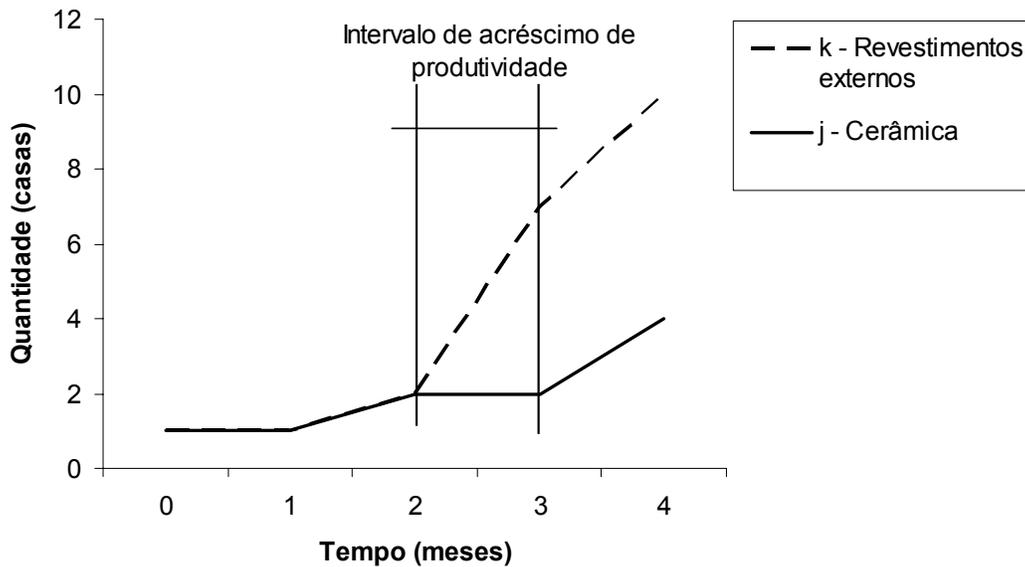
**Figura 4.4 - Análise da interferência entre atividades subsequentes - cerâmica e rodapé.**

No momento em que as atividades se interceptam no canteiro, a colocação dos rodapés e soleiras é interrompida, gerando quebra no ritmo de produção desta atividade. Outra quebra de ritmo pode ser percebida, também, no assentamento da cerâmica. Esta atividade ficou parada por aproximadamente trinta dias, tendo seu ritmo alterado após este fato. (FIGURA 4.5). A paralisação desta atividade é decorrente da falta de material para execução dos serviços.



**Figura 4.5 - Quebra de ritmo de produção.**

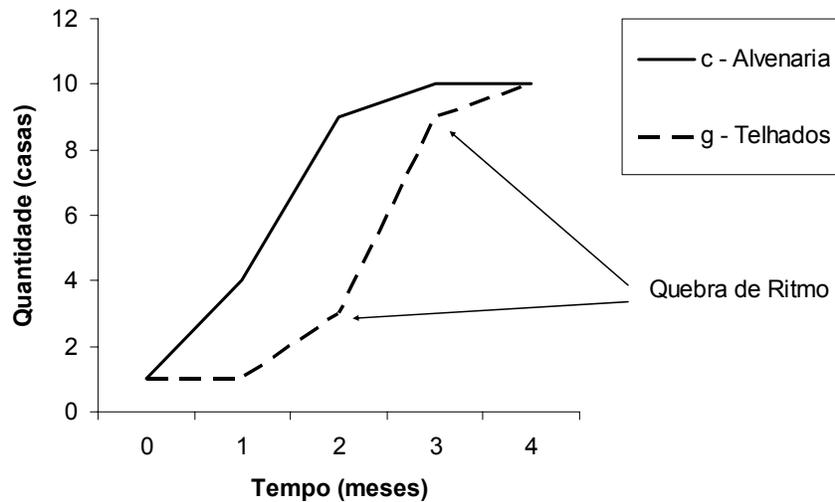
Baseando-se nas observações em campo, com a ausência de material para execução da atividade cerâmica, houve a realocação da equipe de assentamento da cerâmica para outra atividade (FIGURA 4.6). Nota-se o aumento no ritmo de produção da atividade de revestimento externo a partir da parada no assentamento da cerâmica.



**Figura 4.6 - Acréscimo de produtividade no Revestimento Externo.**

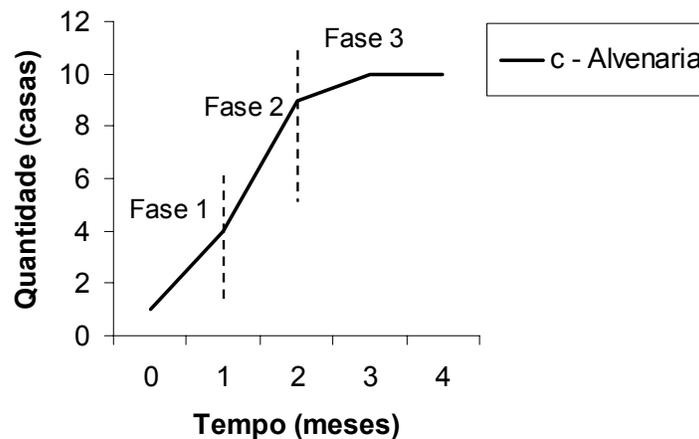
No momento da retomada da produção da atividade cerâmica, há um decréscimo do ritmo de produção da atividade revestimento externo.

A FIGURA 4.7 compara a execução da atividade telhados com a atividade alvenaria. Pode-se notar que a atividade telhado praticamente acompanha o ritmo da atividade alvenaria, as quebras de ritmo ocasionadas na atividade alvenaria são identificadas nos mesmos pontos da atividade telhado.



**Figura 4.7 - Execução da Alvenaria e Cobertura**

Verifica-se também neste gráfico, que o formato da linha da atividade assemelha-se à curva de agregação de recursos (curva “S”). Este formato indica ainda o processo de aprendizado ao longo da execução da mesma atividade. A execução segue um ritmo de produção lento (fase 1), após esta fase aumenta-se consideravelmente o ritmo produtivo (fase 2), e na execução das últimas unidades, há novamente a redução do ritmo (fase 3). (FIGURA 4.8).



**Figura 4.8 - Efeito aprendido na produção da atividade repetitiva**

Esta verificação empírica ilustra uma limitação na técnica de LB em considerar a produção linear, como afirmado por Mendes Jr. (1999). No entanto, há trabalhos que já consideram a incorporação do efeito aprendido na técnica de linhas de balanço (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2001). Estas considerações fogem ao escopo do presente trabalho, no entanto considera-se importante esta menção para encorajamento de futuras pesquisas no tema.

#### *4.1.5 Discussão*

Diversos problemas e interferências provenientes de deficiência no planejamento foram identificados ao longo da execução do empreendimento, desde a locação das unidades a serem produzidas até a falta de material. Esses provocam interrupções freqüentes no ritmo de produção da obra, atrasando o cronograma e gerando um ambiente de produção desorganizado e de difícil controle. Estas inconsistências no planejamento se traduzem em aumento de custos de produção, que serão repassados, na medida da oportunidade, ao cliente final.

O cronograma da obra não explicitou a execução das unidades repetitivas em separado. Por exemplo, a produção de 50% do telhado de duas casas diferentes é considerada como 100% de uma unidade pronta, não obstante, a etapa seguinte (revestimento interno) não pode ser iniciada em nenhuma das duas casas.

Analisando o andamento da obra pelos dados da Tabela 02, assim como demonstram os gráficos da Figura 4.1 e 4.2, a obra está indo muito bem, com

desvio baixo entre os itens realizados e a previsão do planejamento. Não obstante, acompanhar este tipo de dado é enganoso, pois não há avaliação da situação da produção, as quebras de seqüências, os fluxos de produção, o uso ineficiente de recursos de mão-de-obra, a distribuição de material, etc. Percebemos na Figura 4.3 como a execução da obra está caótica, com paralisação de atividades devido à falta de recursos, atividades sem ritmo constante de produção, ou seja, uma série de desperdícios que poderiam ser evitados com um planejamento e controle de produção adequados aos requisitos deste tipo de empreendimento.

Estas constatações no estudo de caso I ensejaram elementos de reflexão para a elaboração de um planejamento mais voltado ao fluxo de produção e à alocação mais sensata de recursos que será apresentado no próximo item.

## **4.2 Estudo de caso II**

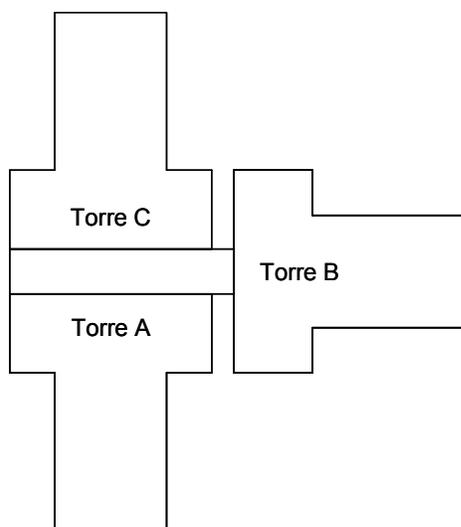
Neste estudo, a proposta é apresentar um planejamento capaz de subsidiar um fluxo mais estável de produção, baseando-se nos elementos observados no estudo de caso I.

### **4.2.1 O empreendimento**

O segundo estudo de caso, realizado em um período de dois meses, fevereiro a março de 2005, é um condomínio habitacional repetitivo, administrado em forma de cooperativa, situado na cidade de Bragança Paulista – SP.

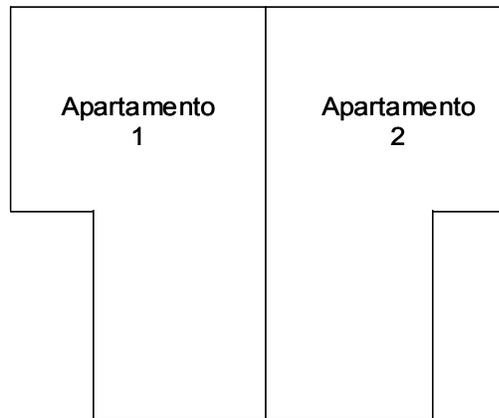
O condomínio é composto de 912 unidades habitacionais, construídas em um terreno de aproximadamente 98.000,00 m<sup>2</sup>. São edifícios de 26 ou 34 apartamentos de dois quartos, com área privativa de 48,50 m<sup>2</sup>. Os edifícios de 26 apartamentos são divididos em 03 torres. Os edifícios de 34 apartamentos são divididos em 04 torres.

O objeto de estudo são os edifícios de 26 apartamentos. Estes, como descrito anteriormente, são divididos em três torres (A, B e C), a torre de apartamentos A compõe-se de cinco pavimentos e as duas torres, B e C, de quatro pavimentos. (FIGURA 4.9).



**Figura 4.9 - Croquis da divisão do edifício.**

Cada pavimento de uma torre é composto de dois apartamentos, resultando assim em 26 apartamentos por edifício. (FIGURA 4.10). Esta característica da torre A ter um pavimento rebaixado deve-se à topografia do terreno, que é muito acidentado.



**Figura 4.10 - Divisão dos apartamentos.**

Os edifícios são construídos em alvenaria estrutural e laje pré-moldada. Os blocos estruturais utilizados são cerâmicos, assim como os blocos utilizados na alvenaria de vedação. O revestimento de gesso é utilizado no revestimento interno. O piso do banheiro e da cozinha é cerâmico. Os demais cômodos da casa são entregues ao cliente no contra-piso.

Para a simulação do planejamento com a técnica de LB, utilizou-se como unidade-base um pavimento de uma torre, composto de dois apartamentos.

#### *4.2.2 O cronograma do empreendimento*

O cronograma da obra havia sido executado, pelo escritório de engenharia que administrava a obra, via gráfico de barras, utilizando-se como parâmetro as medições de produção dos edifícios executados anteriormente, além de exigências financeiras e de prazo do cliente.

Para simulação do gráfico de LB, escolheram-se as etapas estruturais, de execução da alvenaria estrutural, laje e alvenaria de vedação dos apartamentos.

Estas atividades foram selecionadas após acompanhamento em campo, por serem o conjunto de etapas mais restritivo dentro desta obra.

Na TABELA 3 apresenta-se o cronograma da obra, envolvendo estas etapas. A atividade laje pré-moldada tinha, conforme planejamento original, datas de início e término defasadas uma semana em relação aos prazos adotados para a alvenaria estrutural, iniciando-se na segunda semana de março e finalizando na última semana de abril.

**Tabela 3 - Cronograma da obra – etapa estrutural.**

ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	Unidade	FEV	MAR				
			sem. 4	sem. 1	sem. 2	sem. 3	sem. 4	
			21 a 26	01 a 05	07 a 12	14 a 19	21 a 26	
EMBASAMENTO	Alvenaria estrutural de embasamento	torre	1,5	1,5				
	Impermeabilização com argamassa	torre	1,5	1,5				
	Impermeabilização com neutrol	torre	1,5	1,5				
LAJE	Reaterro manual e apiloado	torre	1,5	1,5				
	Lastro de brita apiloado	torre	1,5	1,5				
	Lançamento de concreto desempenado	torre	1,5	1,5				
ALVENARIA ESTRUTURAL	Alvenaria estrutral dos apartamentos	pav		2	2	2	2	
	Alvenaria estrutural do hall/escadas	hall		1	1	1	0,5	
LAJES PRÉ-MOLDADA	Laje pré moldada dos apartamentos	pav			2	2	2	
	laje pré moldada do hall/escada	hall			1	1	1	
ALVENARIA VEDAÇÃO	Alvenaria de vedação apartamentos	pav			2	2	2	
ENCUNHAMENTO	Encunhamento das alvenarias de vedação	pav				2	2	

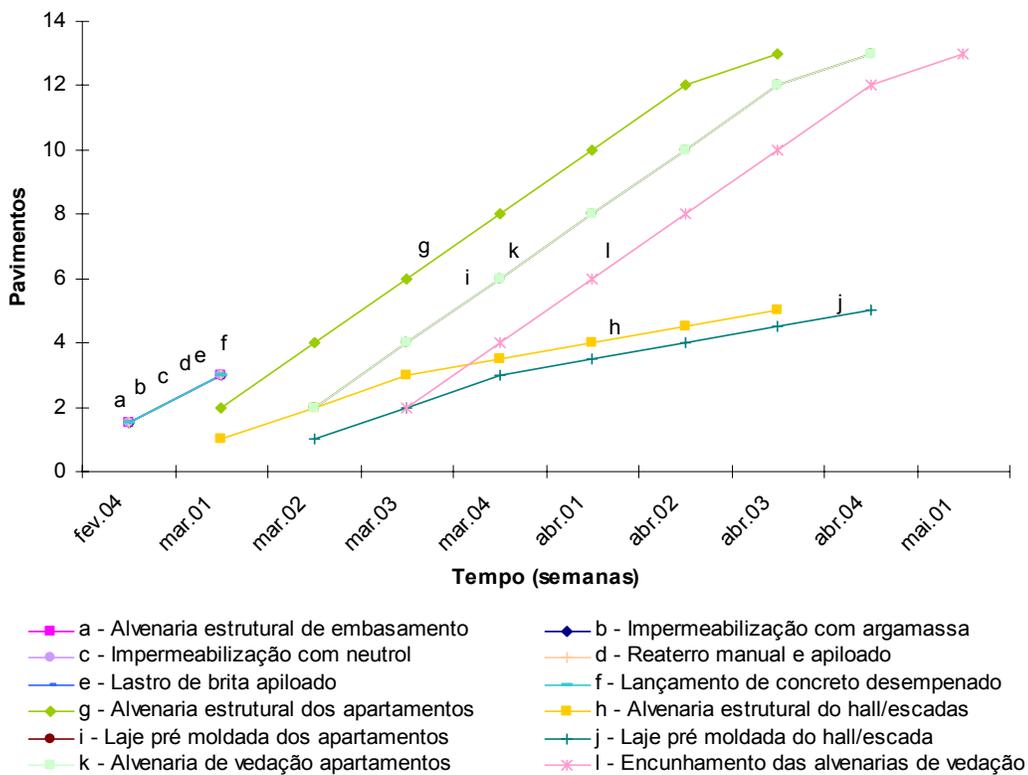
ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	Unidade	ABR				MAI
			sem. 1	sem. 2	sem. 3	sem. 4	sem. 1
			04 a 09	11 a 16	18 a 23	25 a 30	02 A 07
EMBASAMENTO	Alvenaria estrutural de embasamento	torre					
	Impermeabilização com argamassa	torre					
	Impermeabilização com neutrol	torre					
LAJE	Reaterro manual e apiloado	torre					
	Lastro de brita apiloado	torre					
	Lançamento de concreto desempenado	torre					
ALVENARIA ESTRUTURAL	Alvenaria estrutral dos apartamentos	pav	2	2	1		
	Alvenaria estrutural do hall/escadas	hall	0,5	0,5	0,5		
LAJES PRÉ-MOLDADA	Laje pré moldada dos apartamentos	pav	2	2	2	1	
	laje pré moldada do hall/escada	hall	0,5	0,5	0,5	0,5	
ALVENARIA VEDAÇÃO	Alvenaria de vedação apartamentos	pav	2	2	2	1	
ENCUNHAMENTO	Encunhamento das alvenarias de vedação	pav	2	2	2	2	1

Em cada barra de atividade, consta a quantidade a ser executada por semana, na respectiva unidade. Como afirmado anteriormente, a unidade base é

um pavimento (dois apartamentos), e um hall atende a um pavimento das três torres, portanto, são apenas cinco conjuntos hall/escada e serem construídos.

Nota-se que os dados de equipe e local de trabalho não estão explicitados. Este cronograma apenas fornece os dados de produção necessários para que o prazo final seja atendido, sem oferecer suporte ao nivelamento de recursos (material e mão-de-obra), ritmo de produção e informações de produção.

A FIGURA 4.11 a seguir, apresenta-se as informações de produção contidas no cronograma da TABELA 3, no formato do gráfico de LB. A intenção é verificar neste diagramas como as atividades estão dimensionadas e o seu ritmo de produção.



**Figura 4.11 - LB baseada no cronograma de barras.**

Nota-se que algumas atividades estão superpostas neste gráfico, como exemplo, as atividades compreendidas no mês de fevereiro (a, b, c, d, e, f). Todas estas atividades serão executadas durante o mesmo período, sem detalhamento das datas. Estas atividades atrapalharão a etapa de controle do andamento da obra, pois eventuais diferenças entre o proposto e o realizado são notadas apenas no final de uma semana de produção, impedindo que medidas corretivas possam ser tomadas eficazmente.

Há uma quebra de ritmo localizada na última semana de execução das atividades, entre elas as de alvenaria (estrutural e vedação). Está previsto a produção de uma quantidade menor de unidades nesta última semana de produção de cada atividade, para absorver eventuais atrasos na produção. A

FIGURA 4.12 identifica estes pontos:

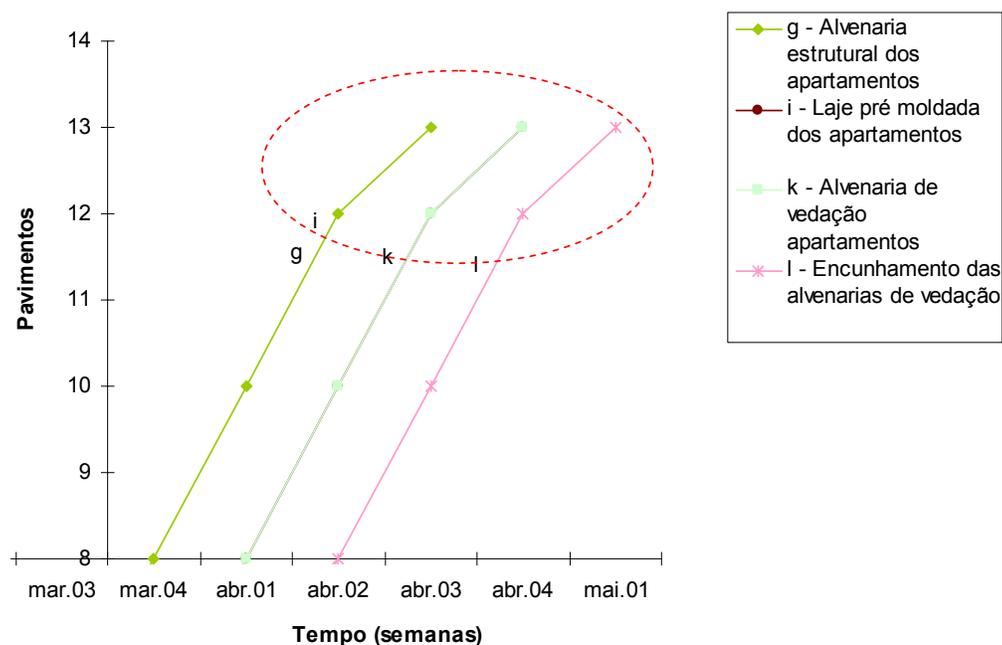


Figura 4.12 - Detalhe da quebra de ritmo na última semana de serviços.

#### 4.2.3 Simulações das linhas de balanço – ritmo e nivelamento de recursos

Analisando-se os dados históricos da obra, principalmente de produtividade das equipes e o cronograma físico da obra, pode-se simular um novo cronograma, baseando-se na técnica de LB. Para a composição deste gráfico de LB, considerou-se as seguintes atividades e respectivos tempo de execução, a saber, (TABELA 4):

**Tabela 4 - Atividades e tempo de execução.**

Atividade		Unidade	Tempo (dias)
EMBASAMENTO	Alvenaria estrutural de embasamento	torre	1,5
	Impermeabilização (argamassa +neutrol)	torre	1
LAJE	Reaterro e lastro apiloado	torre	2
	Lançamento de concreto + cura	torre	1
ALVENARIA ESTRUTURAL	Alvenaria estrutural (apto +hall)	pav	3
LAJES PRÉ-MOLDADA	Montagem da laje pré-moldada	pav	2
	Concretagem da laje e cura	pav	1
ALVENARIA VEDAÇÃO	Alvenaria de vedação + encunhamento	pav	2,5

Os tempos de execução foram definidos a partir de observação de produtividade da equipe em campo e dados históricos das mesmas. Algumas atividades foram condensadas, por serem executadas pela mesma equipe e juntamente com outra atividade. Por exemplo, a atividade alvenaria estrutural hall/escadas é executada simultaneamente com a atividade alvenaria estrutural apartamentos da Torre A. A impermeabilização do embasamento, separada em duas atividades (com argamassa e com neutrol) equivale a um dia de serviço, na atividade impermeabilização. A atividade laje pré moldada foi separada em duas, montagem da laje e concretagem, por serem executadas por equipes distintas.

O primeiro gráfico simulado das LB é o seguinte: (FIGURA 4.13)



Ao simular este gráfico, percebem-se algumas diferenças de produtividade em relação ao cronograma original da obra. Apesar da produção programada da alvenaria ser de duas torres por semana, e a simulada na LB ser inferior, de uma torre e 1/2 por semana, a diferença entre a data final é de apenas dois dias. Este fato se deve a distribuição linear da produção, que não ocorria no cronograma da obra (as duas últimas unidades eram produzidas com ritmo inferior, comentado anteriormente). (FIGURA 4.14 (a) e (b))

ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	Unidade	ABRIL				MAIO
			sem. 1 04 a 09	sem. 2 11 a 16	sem. 3 18 a 23	sem. 4 25 a 30	sem. 1 02 A 07
EMBASAMENTO	Alvenaria estrutural de embasamento	pav/torre					
	Impermeabilização com argamassa	pav/torre					
	Impermeabilização com neutrol	pav/torre					
LAJE	Reaterro manual e apiloado	pav/torre					
	Lastro de brita apiloado	pav/torre					
	Lançamento de concreto desempenado	pav/torre					
ALVENARIA ESTRUTURAL	Alvenaria estrutural dos apartamentos	pav/torre	2	2	1		
	Alvenaria estrutural do hall/escadas	hall	0,5	0,5	0,5		
LAJES PRÉ-MOLDADA	Laje pré moldada dos apartamentos	pav/torre	2	2	2	1	
	laje pré moldada do hall/escada	hall	0,5	0,5	0,5	0,5	
ALVENARIA VEDAÇÃO	Alvenaria de vedação apartamentos	pav/torre	2	2	2	1	
ENCUNHAMENTO	Encunhamento das alvenarias de vedação	pav/torre	2	2	2	2	1

(a) – Programação original

Local instalação	Abril									
	20	21	22	23	25	26	27	28	29	
torre A 4 + hall/escadas				a			b		c	
torre B 4	a			b		c		d		
torre C 4	b		c		d					

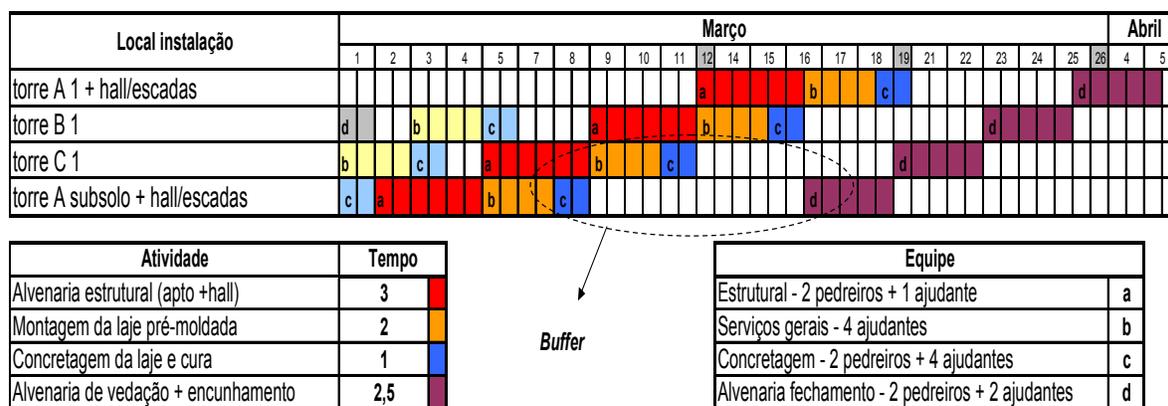
  

Atividade	Tempo
Alvenaria estrutural (apto +hall)	3
<b>Equipe</b>	
Estrutural - 2 pedreiros + 1 ajudante	a
Serviços gerais - 4 ajudantes	b
Concretagem - 2 pedreiros + 4 ajudantes	c
Alv.fechamento - 2 pedreiros + 2 ajudantes	d

(b) – Simulação I

Figura 4.14 - Comparação entre as datas de término das variantes de programações (a) e (b).

O mesmo pode ser verificado na alvenaria de vedação, onde há um *buffer* entre a data da concretagem da laje e o início da execução da alvenaria de vedação para os primeiros pavimentos. Este recurso visa manter a produção constante. (FIGURA 4.15).



**Figura 4.15 - Buffer entre alvenaria de vedação e concretagem da laje.**

A mão-de-obra utilizada na primeira simulação é composta de seis pedreiros e onze ajudantes, na seguinte distribuição apresentada na TABELA 5. Esta distribuição era a encontrada em campo. Para melhorar a distribuição desta mão-de-obra durante a programação das atividades, a equipe C, composta por quatro ajudantes será uma parte da equipe B, que tem em sua composição, quatro ajudantes.

**Tabela 5 - Distribuição das equipes.**

Equipe	
Estrutural - 2 pedreiros + 1 ajudante	a
Serviços gerais - 4 ajudantes	b
Concretagem - 2 pedreiros + 4 ajudantes	c
Alvenaria fechamento - 2 pedreiros + 2 ajudantes	d

Na simulação, verifica-se que a equipe B e a equipe C, estão executando atividades distintas na mesma data, por exemplo, reaterro e lançamento de concreto (FIGURA 4.16).

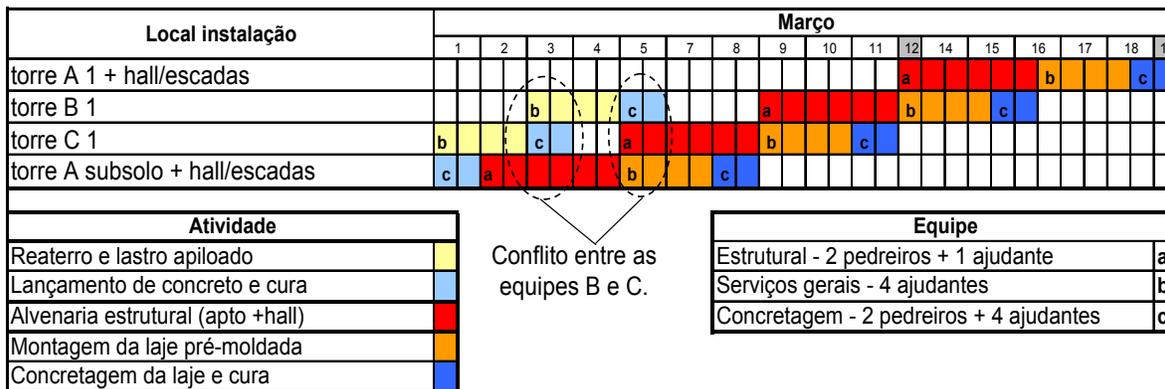


Figura 4.16 - Conflito entre as equipes B e C.

As equipes passam a ter a seguinte formação (TABELA 6), reduzindo a mão-de-obra para seis pedreiros e sete ajudantes.

Tabela 6 - Nova formação das equipes - simulação II

Equipe - nova formação (b = c + 2 pedreiros)	
Estrutural - 2 pedreiros + 1 ajudante	a
Concretagem e serviços - 2 pedreiros + 4 ajudantes	b
Alvenaria fechamento - 2 pedreiros + 2 ajudantes	d

Os conflitos entre as equipes B e C serão ajustados na próxima simulação. (FIGURA 4.17).



Nesta simulação II, as equipes foram equilibradas e os ritmos de produção alterados para se evitar os *buffers* entre as atividades. Por exemplo, a atividade de alvenaria de vedação, teve seu ritmo de produção reduzido para adequar-se ao ritmo de produção da alvenaria estrutural, que é a atividade mais restritiva, sendo o gargalo da produção. (FIGURA 4.18).

Local instalação	Fevereiro					Março																
	21	22	23	25	26	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	
torre B 1				a	d			b		c			a			b		c				
torre C 1		a	d			b		c		a			b		c							
torre A subsolo + hall/escadas	a	d	b			c	a			b		c									d	

Simulação I

Local instalação	Fevereiro					Março																
	21	22	23	25	26	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	
torre B 1						a	a			b		b				a			b		b	
torre C 1			a	a		b		b					a			b		b		d		
torre A subsolo + hall/escadas	a	a	b			b				a			b		b	d						

Simulação II

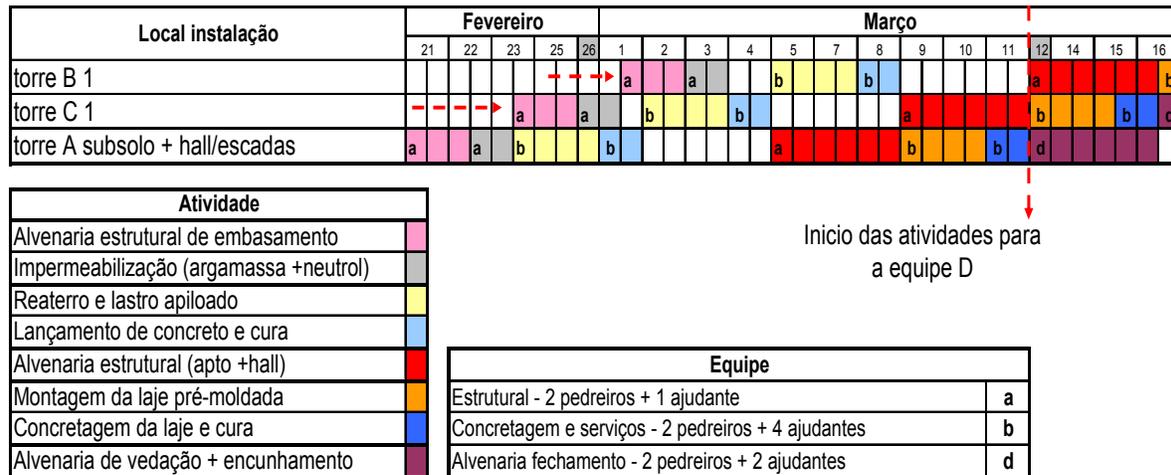
Atividade	
Alvenaria estrutural de embasamento	a
Impermeabilização (argamassa +neutrol)	d
Reaterro e lastro apiloado	b
Lançamento de concreto e cura	c
Alvenaria estrutural (apto +hall)	a
Montagem da laje pré-moldada	b
Concretagem da laje e cura	c
Alvenaria de vedação + encunhamento	d

Equipe - Simulação I	
Estrutural - 2 pedreiros + 1 ajudante	a
Serviços gerais - 4 ajudantes	b
Concretagem - 2 pedreiros + 4 ajudantes	c
Alvenaria fechamento - 2 pedreiros + 2 ajudantes	d
Equipe - simulação II	
Estrutural - 2 pedreiros + 1 ajudante	a
Concretagem e serviços - 2 pedreiros + 4 ajudantes	b
Alvenaria fechamento - 2 pedreiros + 2 ajudantes	d

Figura 4.18 - Comparação entre simulação I e simulação II – nivelamento de recursos.

A atividade impermeabilização será executada pela equipe A, e não mais pela equipe D, como se verifica na FIGURA 4.18, assim, o ritmo de execução desta é retardado nos pavimentos torre B1 e torre C1, sendo executada para acompanhar a composição da nova equipe B. A equipe D, passa então a trabalhar apenas na segunda quinzena do mês de março, não ficando ociosa entre a execução da impermeabilização e o início das atividades da alvenaria de vedação.

Outro ganho na segunda simulação é tratar as equipes como multifuncionais. A mesma equipe irá desenvolver serviços distintos, receber treinamento, melhorando e qualificando a mão-de-obra.



**Figura 4.19 - Detalhe da alteração das equipes - atividade impermeabilização**

O início da produção da alvenaria estrutural foi alterado, permitindo que o prazo esperado da obra fosse mantido, e assim, a equipe B trabalha continuamente, sem interrupção ou parada nos serviços, assim como a equipe A.

Nota-se, como dito anteriormente, que as equipes A, B e C seguem, quase na totalidade, um fluxo ininterrupto de produção. A seqüência das atividades praticamente também não sofre alteração ou quebra de ritmo.

Na TABELA 7, é apresentada a produtividade das equipes em HH/m<sup>2</sup> (homem-hora por metro quadrado) no planejamento original e nas simulações. Considera-se nesta tabela a metragem quadrada dos principais itens. Para a atividade estrutural, tem-se o serviço de alvenaria estrutural, para a atividade serviços gerais, tem-se o total a ser executado de montagem de laje pré-moldada.

Para a concretagem, foi considerado apenas 04 horas do dia e na alvenaria de fechamento foi considerado a execução da alvenaria e o encunhamento da mesma; por este motivo a produtividade na alvenaria estrutural é superior a alvenaria de fechamento.

A produtividade no item estrutural nas simulações por LB são superiores a produtividade no planejamento original. Este fato se deve a consideração de médias históricas e acompanhamento em campo da produtividade já alcançada por uma equipe anteriormente.

**Tabela 7 - Comparação de produtividade**

		Qde a executar (m <sup>2</sup> )	Produtividade (HH / m <sup>2</sup> )
<b>Equipe - Original</b>			
Estrutural - 4 pedreiros + 2 ajudante	a	464,00	0,35
Serviços gerais - 4 ajudantes	b	90,00	0,71
Concretagem - 2 pedreiros + 4 ajudantes	c	90,00	0,09
Alvenaria fechamento - 2 pedreiros + 2 ajudantes	d	73,00	0,66
<b>Equipe - Simulação I</b>			
Estrutural - 2 pedreiros + 1 ajudante	a	232,00	0,21
Serviços gerais - 4 ajudantes	b	90,00	0,71
Concretagem - 2 pedreiros + 4 ajudantes	c	90,00	0,09
Alvenaria fechamento - 2 pedreiros + 2 ajudantes	d	73,00	0,66
<b>Equipe - simulação II</b>			
Estrutural - 2 pedreiros + 1 ajudante	a	232,00	0,21
Concretagem e serviços - 2 pedreiros + 4 ajudantes	b	90,00	0,71
Alvenaria fechamento - 2 pedreiros + 2 ajudantes	d	73,00	0,66

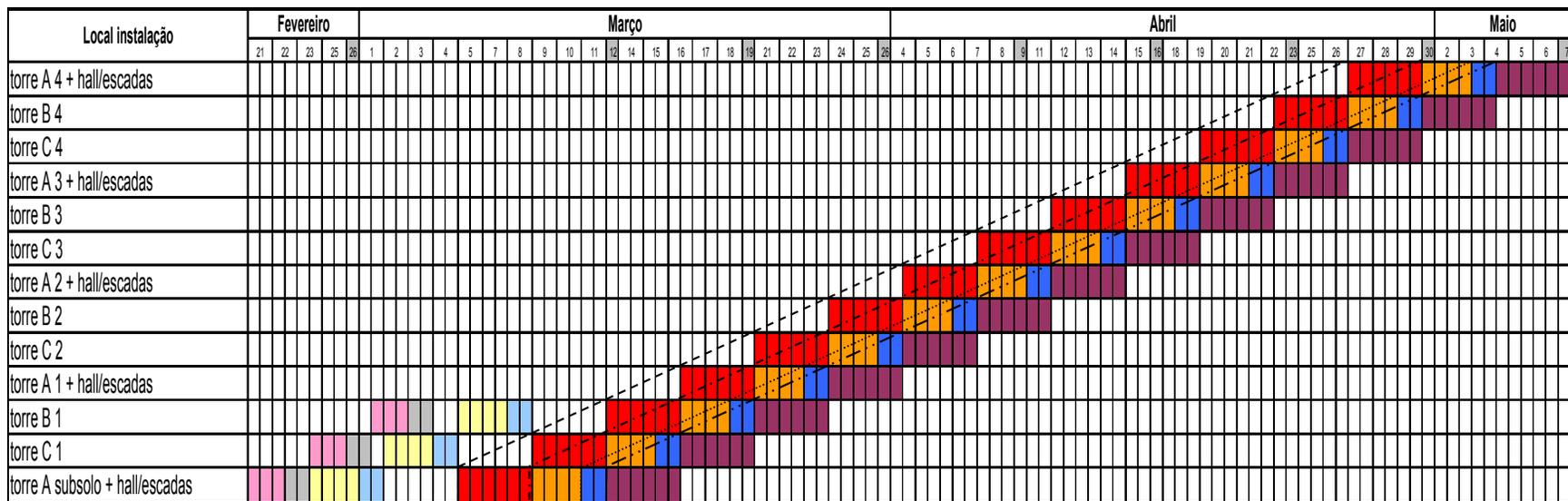
A simulação do gráfico de LB identifica o ritmo de produção da atividade e a alocação da mão-de-obra, informando quem executará, qual atividade será executada, onde e quando executar, facilitando a tomada de decisão quando identificada alguma irregularidade na obra.

Eventuais atrasos na execução das atividades podem ser detectados instantaneamente, gerando a possibilidade de intervenção do gerenciador, a fim de solucionar o problema.

Podem-se identificar, ainda neste gráfico de LB, os recursos materiais, por intermédio da data de início programada das atividades. Considerando-se a entrega de materiais necessários para a produção de um pavimento, tem-se a identificação das datas limites para que estes recursos estejam disponíveis.

Para a execução de serviços baseada nos conceitos do *lean*, esta ferramenta é de grande utilidade para o caso da obra adotar o JIT, pois permite a programação de recursos e entrega de materiais no momento em que os mesmos serão utilizados.

Na FIGURA 4.20, desenharam-se linhas limítrofes de disponibilidade dos materiais. Em cima destes dados, programam-se os pedidos e as datas de entrega de materiais de acordo com os prazos e restrições particulares de cada um. Esta linha ainda pode ser utilizada para identificação das datas e locais em que os materiais devem ser disponibilizados para aplicação. O deslocamento do material entre almoxarifado e local de aplicação pode ser programado em cima destas linhas.



Atividade	Tempo
Alvenaria estrutural de embasamento	1,5
Impermeabilização (argamassa +neutrol)	1
Reaterro e lastro apiloado	2
Lançamento de concreto e cura	1
Alvenaria estrutural (apto +hall)	3
Montagem da laje pré-moldada	2
Concretagem da laje e cura	1
Alvenaria de vedação + encunhamento	3

Data limite para disponibilidade de:	Quantidade
Tijolos estruturais cerâmicos + material p/ argamassa	1 pavimento
Vigotas Pré-moldadas e ceramica	
Concreto usinado	
Tijolos cerâmicos de fechamento	

Figura 4.20 – Datas limites para disponibilidade de material.

#### 4.2.4 *Discussão*

Por meio da simulação do cronograma da obra pela técnica de LB, procurou-se identificar problemas de ritmo de produção e nivelamento e recursos. Procurou-se conceber um planejamento de produção capaz de dar sustentação a um ambiente de fluxo de produção mais estável.

A principal preocupação foi produzir informações mais claras de execução das atividades, referentes às datas programadas e à disponibilidade de material e mão-de-obra a serem utilizados.

Com estas simulações, pretendeu-se obter um ganho qualitativo nas informações fornecidas pelo planejamento da obra, visando que execução desta tenha menos interferências e quebras de fluxo de produção.

Além do ganho qualitativo de informações, observa-se um ganho financeiro na distribuição das equipes, aproveitando ao máximo a produtividade das mesmas assim como a aquisição dos recursos materiais apenas quando necessário, o que também reduz o espaço físico para estoque.

Neste modelo de planejamento o controle exerce um papel fundamental para manter a estabilidade básica da produção. Com o acompanhamento de dados mais precisos da situação no canteiro de obras e a facilidade na identificação de problemas, têm-se uma resposta rápida para solucioná-los, evitando as interferências entre os processos.

## **5 Conclusões**

Este capítulo discute os resultados apresentados nesta dissertação. Apresenta-se a resposta à questão de pesquisa formulada e uma síntese das contribuições é oferecida antes de se recomendarem novas oportunidades de pesquisa futura.

### **5.1 Linhas de balanço e o fluxo contínuo na produção**

A maioria dos trabalhos verificados na literatura desta área, inclusive este, procura destacar a importância do planejamento para melhoria da produtividade das empresas.

Diversos caminhos são seguidos por estas pesquisas para se obter embasamento na afirmação de que o planejamento está diretamente relacionado aos resultados da produção. Esta pesquisa utilizou-se de meios teóricos e simulações de dados reais para identificar pontos relevantes de geração de informações para a etapa de produção. Tais informações são imprescindíveis para um planejamento eficiente.

Nos estudos de caso, após a simulação do cronograma da obra pela técnica de LB, puderam-se identificar algumas melhorias nas informações fornecidas, a citar:

- A técnica de LB ofereceu maior transparência do planejamento, demonstrando, graficamente, o local de execução, o ritmo de produção, a

equipe responsável pela execução e a data em que o serviço será executado;

- O gráfico de LB permitiu a visualização da distribuição dos recursos materiais ao longo da execução da obra, podendo esta ser utilizada de diversas formas no canteiro de obras;
- Em obras repetitivas, como as analisadas nos dois estudos de caso, se mostrou uma ferramenta que auxiliou a visualização do ritmo de produção das atividades e identificação dos gargalos e de interferências na mesma.

Observações não estruturadas da realidade dos casos estudados evidenciaram que as equipes de produção se deslocavam no canteiro buscando novas frentes de trabalho quando problemas e interferências apareciam nas atividades que estavam sendo executadas anteriormente. O controle das atividades sendo realizadas, por quem, onde e porque, era dificultado. Observou-se que esta situação confusa desencadeou uma situação de improvisação local devida às interferências identificadas na FIGURA 4.3, quais sejam: interferência entre atividades subseqüentes (FIGURA 4.4), quebra de ritmo de produção (FIGURA 4.5), realocação de equipes para outros serviços (FIGURA 4.6), entre outras.

Pode-se inferir com base nas evidências apresentadas que a melhoria nas informações fornecidas na etapa de planejamento pode facilitar a futura implantação de melhorias na execução da obra, tais como a implantação de fluxo contínuo na produção, acoplando o nivelamento de recursos como decorrência. O

estudo de caso II demonstra que um estudo mais detalhado do planejamento de execução pode oferecer condições para que situações de confusão e imprevisto sejam evitadas no canteiro. Em especial, a utilização de LB pode apoiar a criação de um planejamento mais ritmado e sincronizado, criando oportunidades para que as equipes de produção se desloquem pelas áreas de trabalho no canteiro de maneira de maneira desimpedida.

A ausência de planejamento promove um ambiente de produção desestruturado. Este ambiente reflete a “cultura” dos fins justificam os meios; o maior interesse é a medição no final do mês, com controle de atividades dificultado, um ambiente propício a desperdícios, gerando aumento do custo da obra, excesso de retrabalhos e dificuldades em cumprir prazos.

O propósito desta pesquisa foi identificar um ambiente de utilização dos meios para obtenção dos resultados. A melhoria da etapa de planejamento implementando melhorias na obra, mantendo um fluxo contínuo de produção e nivelamento de recursos evitando improvisos na etapa de produção.

Com base nas observações empíricas e nas evidências oferecidas nesta pesquisa, pode-se inferir que o uso de LB no planejamento da produção pode contribuir para o aumento de eficiência e de produtividade na construção civil. No item seguinte sintetizam-se as contribuições mais significativas apresentadas nesta pesquisa.

## **5.2 Contribuições científicas e práticas da pesquisa**

As atividades de planejamento de produção podem ser importantes aliadas para que sistemas de produção mais eficientes e enxutos sejam concebidos. Como contribuição científica desta pesquisa destaca-se como o uso de LB no planejamento de execução pode auxiliar na consubstanciação de um fluxo de recursos mais estável e contínuo através das várias áreas de trabalho de um projeto.

A tendência atual das grandes empresas de construção de focarem no gerenciamento do empreendimento conduz à necessidade de que seus terceirizados assumam maior responsabilidade, e de que desenvolvam uma maior eficiência em seus processos construtivos. É bastante atual a discussão de que estes necessitam desenvolver um grau razoável de especialização, uma mentalidade de melhorar continuamente seus processos, e, a partir daí, entregar mais valor ao seu cliente via melhoria de seus processos de produção. Neste sentido, os exemplos apresentados nesta pesquisa contribuem para que fluxos de produção mais estáveis e confiáveis possam ser obtidos via planejamento prévio da produção. Espera-se que as incorporadoras e gerenciadoras passem a exigir de seus terceirizados um interesse maior na eficiência de seus processos produtivos, sendo que o planejamento e controle da produção pode ser um aliado relevante. Com a produção estabilizada oferecendo frentes de trabalho ininterruptas, teremos um favorecimento da produtividade onde todos obtêm resultados melhores.

A seguir apresentam-se sugestões de trabalhos futuros com base nas limitações de escopo desta pesquisa.

### **5.3 Sugestões de trabalhos futuros**

A pesquisa conduzida e as conclusões apresentadas ensejaram a continuação de estudos neste tema que não foram realizados por limitações de escopo e de contexto de análise do presente trabalho.

#### *5.3.1 Sistemas de medições de serviços que apoiem o fluxo de produção*

Uma constatação resultante de observações não estruturadas nos casos analisados é de que as equipes de produção procuram se engajar em várias frentes de serviço ao mesmo tempo. Fica evidente neste comportamento um descompromisso e desinteresse com a integralidade do fluxo de produção no canteiro de obras. Pode-se inferir que um encorajador deste comportamento, e, portanto, desestimulador de uma implantação consistente de fluxo de produção, é o sistema de medição por serviços unitários. Na ocorrência de interrupções de frentes de trabalho, este sistema encoraja que as equipes procurem se deslocar imediatamente para outras áreas de trabalho onde possam executar seu serviço de especialidade, salvaguardando sua “medição de serviços” ao final do mês. É bastante provável que novos sistemas de medição que levem em conta o respeito à integralidade dos fluxos de produção desencorajem estas posturas de oportunidade por parte das equipes de produção.

### 5.3.2 *Desenvolvimento de configurações espaciais de realização de atividades*

A técnica de LB possui atributos para o planejamento do fluxo de produção. No entanto, LB não aborda explicitamente a configuração espacial da realização de atividades no canteiro. Para que as equipes de produção possam relacionar que área de trabalho está associada a uma dada atividade, o gerenciamento no canteiro faz uso de plantas em duas dimensões (2D). Uma combinação interessante de LB e sistemas de CAD (*Computer Aided Design*) em quatro dimensões (4D) poderia oferecer compreensão adicional sobre as implicações de uso e ocupação de espaço no tempo, acoplada ao planejamento de realização de atividades. Iniciativas interessantes neste assunto podem ser encontradas em Björnfot (2006).

## 6 Referências bibliográficas

ACKOFF, R. **Planejamento Empresarial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1976.114p.

ARAÚJO, L.O.C.; SOUZA, U.E.L. **Produtividade da mão-de-obra na execução de alvenaria: detecção e quantificação de fatores influenciadores**. São Paulo: USP - Escola Politécnica, 2001. 24 p. Boletim Técnico - BT/PCC/269.

ARDITI, D. Diffusion of network planning in construction. **Journal of the Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, vol. 109, n.1, p. 1-12, 1983.

ARDITI, D.; ALBULAK, M.Z. Line of balance scheduling in pavement construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, v. 112, n. 3, p. 412-424, 1986.

ARDITI, D.; TOKDEMIR, O.; SUH, K. Efectt of learning in line-of-balance scheduling. **International Journal of Project Management**, 19, 265-277, 2001.

ASSUMPÇÃO, J.F.P. **Gerenciamento de empreendimentos na construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. São Paulo, S.P., 1996. 206 p. Tese (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, USP.

ASSUMPÇÃO, J.F.P.; FUGAZZA, A.E.C. Uso de redes de precedência para planejamento da produção de edifícios. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE

TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC, 7., 1998, Florianópolis.  
**Anais....** , 1998. p. 359-368.

BALLARD, G.; HOWELL, G. PARC: A case study. *In:Annual Conference of the  
Internacional Group for Lean Construction*, 4, Birmingham, UK, 26-27 aug, 1996.  
**Proceedings...** Birmingham, 1996.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing Lean construction: improving  
downstream performance. *In: ALARCÓN, L. (ED.). **Lean Construction.***  
Rotterdam:A.A. Balkema, 1997. p 111-125.

BERNARDES, M.M.S. **Método de análise do processo de planejamento da  
produção de empresas construtoras através do estudo de seu fluxo de  
informação: proposta baseada em estudo de caso.** Porto Alegre, 1996.  
Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BERNARDES, M.M.S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e  
controle da produção para micro e pequena empresas de construção.** Porto  
Alegre, 2001. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BERNARDES, M.M.S. **Planejamento e controle da produção para empresas  
de construção civil.** Rio de Janeiro: LTC, 2003. 190 p.

BIRREI, G. Construction planning beyond the critical path. **Journal of the  
Construction Division**, New York, ASCE, v. 106, n.3, sep, p. 389-407, 1980.

BJÖRNFOT, A. **An exploration of lean thinking for multi-storey timberhousing construction: contemporary swedish practices and future opportunities.**

Lulea, 2006. Tese de Doutorado, Lulea University of Technology.

BORGES, T.C. *et al.* Modelo de planejamento de produção em obras habitacionais repetitivas. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, SIBRAGEC, 4., 2005, Porto Alegre. **Anais....** Porto Alegre, 2005.

BULHÕES, I.R.; FORMOSO, C.T. Desenvolvimento e aplicação de ferramentas gráficas para obras de habitação de interesse social. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC, 10., 2004, São Paulo. **Anais....** São Paulo, 2004.

BULHÕES, I.R.; FORMOSO, C.T.; AVELLAN, T.V. Gestão dos fluxos físicos e sua integração com o planejamento e controle da produção: caso de uma empresa de Salvador - BA. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, SIBRAGEC, 3., 2003, São Carlos. **Anais....** São Carlos, 2003.

BULHÕES, I.R.; PICCHI, F.A.; FOLCH, A.T. Actions to implement continuous flow in the assembly of pre-fabricated concrete structure. *In:* Annual Conference of the Internacional Group for Lean Construction, IGLC, 14, 2006, Santiago – Chile. **Proceedings....** Santiago, 2006.

CHOO, H.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. WorkPlan: Constraint-Based Database for Work Package Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 3, p. 151-160, 1999.

CHRZANOWSK, E.N.; JOHNSTON, D.W. Application of linear scheduling. **Journal of the Construction Engineering**, ASCE, v. 112, n. 4, p. 476-491, 1986.

COLE, L.J.R. Construction scheduling: principles, practices, and six cases studies. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, v. 117, n. 4, p. 579-588, 1991.

COSTA, D.B.; SCHRAMM, F.K.; FORMOSO, C.T. A importância do projeto do sistema de produção em empreendimentos habitacionais de interesse social. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC, 10., 2004, São Paulo. **Anais....** São Paulo, 2004.

DIGMAN, L.A.; PERT/LOB: life cycle technique. **The Journal of Industrial Engineering**, Columbus, n. 18, p.154-158, feb., 1967.

DRESSLER, J. Construction management in West Germany. **Journal of the Construction Division**, New York, ASCE, v. 106, p. 477-487, 1980.

FONTANINI, P.S.P. **Mentalidade enxuta no fluxo de suprimentos da construção civil – aplicação de macro mapeamento na cadeia de fornecedores de esquadrias de alumínio**. Campinas, 2004. 259 p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

FORMOSO, C. **A knowledge based framework for planning house building projects**. Salford: University of Salford – Department of Quantity and Building Surveying, 1991. Tese de Doutorado.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção, mais do que simplesmente just-in-time.** Caxias do Sul: EDUCS, 1996.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDRATT, E; COX, J. **A meta.** São Paulo: Ed. Educator, Claudiney Fullman, 1993.

HARRIS, F.C.; EVANS, J.B. Road construction – simulation game for site managers. **Journal of the Construction Division**, New York, ASCE, 103, p. 405-414, sep., 1977.

HEINRICH, G.; TILLEY, P.; KOSKELA, L. Production control in construction. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF DE INT. GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION – IGLC, 13, 2005. Sydney. **Proceedings....** Sydney, jul, 2005, p 189-198.

HOTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo.** Tradução de: Nilton Marchiori e Carlos Lobo. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

HOWELL, G.; BALLARD, G. Can project controls do its job?. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF DE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION – IGLC, 4, 1996. Birmingham, UK. **Proceedings....** Birmingham, aug, 1996.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 28 de Janeiro de 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Engenharia de sistemas: planejamento e controle de projetos**. 3 ed., PR-CNPq-INPE, Ed. Vozes, Petrópolis, 1972.

KIIRAS, J. Short throughput times of apartment infills - better quality and production. 1998, Helsinki.

KOSKELA, L. **Application of the new Production Philosophy in Construction**. Stanford, 1992, Technical Report, n. 72, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE).

LAUFER, A.; HOWELL, G. Construction Planning: Revising the Paradigm. **Project Management Journal**, London, v. 24, n. 3, p. 23 – 33, 1993.

LAUFER, A.; TUCKER, R.L. Is construction planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, London, n. 5, p. 243 – 266, 1987.

LAUFER, A.; TUCKER, R.L. Competence and timing dilemma in construction planning. **Construction Management and Economics**, London, n. 6, p. 339-355, 1988.

LAUFER, A.; TUCKER, R.L.; SHAPIRA, A.; SHENNAR, A. The multiplicity concept in construction project planning. **Construction Management and Economics**, London, n. 1, p. 53-65, 1994.

LEI. **Léxico Lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean**. 1 ed. São Paulo: Lean Enterprise Institute, 2003. 98 p.

LEVITT, R.; *et al.* Artificial intelligence techniques for generating construction project plans. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, v. 114, n. 3, p. 329-343, 1988.

LIMMER, C.V. **Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 225 p.

LUMSDEN, P. **The line of balance method**. Oxford, Pergamon Press, 1968. 72p.

LUTZ, J.D. **Planning linear construction projects using simulation and line of balance**, 1990. Tese de Doutorado, Purdue University.

LUTZ, J.D.; HIJAZI, A. Planning repetitive construction: current practice. **Construction Management and Economics**, London, v. 11, n. 3, mar., p.99-110, 1993.

MADERS, B. **Técnica de programação e controle da construção repetitiva – linha de balanço – estudo de caso de um conjunto habitacional**. Porto Alegre, 1987. 181 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MAZIERO, L. **Aplicação do método da linha de balanço no planejamento de obras repetitivas: um levantamento das decisões fundamentais para sua aplicação**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1990. Dissertação de Mestrado.

MENDES JR, R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. Florianópolis, 1999. 196 f. Tese (doutorado) -

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.

MENDES JR, R. ; HEINECK, L.F.M. Roteiro para programação da produção com linha de balanço em edifícios altos. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ENEGEP, 17., 1997, Gramado. Anais....* Porto Alegre: UFRGS, PPGE, 1997.

PICCHI, F.A. Lean Thinking (Mentalidade Enxuta): avaliação sistemática do potencial de aplicação no setor de construção. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, SIBRAGEC, 2., 2001, Fortaleza, CE. Anais....* Fortaleza: ANTAC, 2001.

PICCHI, F.A. Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 7-23, jan./mar. 2003.

PICCHI, F.A. ; GRANJA, A.D. Construction sites: using lean principles to seek broader implementations. *In: IGLC, 12., 2004, Dinamarca. Anais....* Dinamarca, 2004. p. 833-844.

RUSSEL, A.D. REPCON: an innovative construction management system. **CIB 90 Building Economics and Construction Management Conference**. 1990: Sidney, Australia, v. 6, p. 405-416, 1990.

RUSSELL, A.D. ; WONG, W.C.M. New generation of planning structures. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 119, n. 2, p. 196-214, jun. 1993.

SALES, A.L.F.; BARROS NETO, J.P.; ALMINO, I. A gestão dos fluxos físicos nos canteiros de obras focando a melhoria nos processos construtivos. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC*, 10., 2004, São Paulo. **Anais....** São Paulo, 2004.

SCHODERBEK, P.P.; DIGMAN, L.A. Third generation PERT/LOB, **Harvard Business Rev.**, v 45, n 5, sep-oct, 1967, p.100.

SCOMAZZON, B.; SOIBELMAN, L.; SILVA, N. **Planejamento, programação e controle de obras repetitivas – técnica de linhas de balanço – estudo de caso.** Porto Alegre, 1985, Caderno de Engenharia n. 13, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SELINGER, S. Construction planning for linear projects. **Journal of the Construction Division**, ASCE, v. 106, p. 195-205, jun., 1980.

SILVA, F.B. ; CARDOSO, F.F. **Ferramentas e diretrizes para a gestão da logística no processo de produção de edifícios.** São Paulo: USP - Escola Politécnica, 2000. 25 p. Boletim Técnico - BT/PCC/263.

SINK, S.; TUTTLE, T. **Planejamento e medição para performance.** Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1993.

SOINI, M; LESKELÄ, I; SEPPÄNEN, O. Implementation of line of balance based scheduling and control system in a large construction company. *In: ANNUAL CONFERENCE OF DE INT. GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION – IGLC*, 12, 2004. Elsinore. **Proceedings....** Elsinore, aug, 2004.

SEPPÄNEN, O; AALTO, E. A case study of line-of-balance based schedule planning and control system. *In: ANNUAL CONFERENCE OF DE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION – IGLC, 13, 2005. Sydney. Proceedings....* Sydney, jul, 2005

STRADAL, O.; CACHA, J. Time space scheduling method. **Journal of Construction Division**, New York, ASCE, 108, p. 445-457, sep. 1982.

SUHAIL, S.A. ; NEALE, R.H. CPM / LOB: New methodology to integrate CPM and Line of Balance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 120, n. 3, p. 667-684, set. 1994.

SYAL, M.G.; GROBLER, F.; WILLENBROCK, J.; PARFITT, M.K. Construction project planning model for small-medium builders. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, v. 118, n. 4, dec., p. 651-666, 1992.

TAVARES, C.B.P.; HEINECK, L.F.M.; LEITE, M.O.; PEREIRA, P.E.; ROCHA, F.E.M. A constituição de células de trabalho na programação de obras em edifícios. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC, 10., 2004, São Paulo. Anais....* São Paulo: ANTAC, 2004.

THABET, W.Y. ; BELIVEAU, Y.J. HVLS: Horizontal and vertical logic scheduling for multistory projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 120, n. 4, p. 875-892, dez. 1994.

TURBAN, E. The line of balance – a management by exception tool. **The Journal of Industry Engineering**, Columbs, 19, p. 440-448, sep., 1968.

VARGAS, C.L.S. ; KRÜGER, J.A. ; HEINECK, L.F.M. ; COELHO, R.Q. Avaliação da produtividade e de perdas na construção civil - simulação utilizando modelo reduzido para demonstrar as vantagens do uso da linha de balanço na programação da obra e de inovações tecnológicas no canteiro. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC, 7., 1998, Florianópolis. **Anais....** , 1998.

VERGARA, S.C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2005 - 6. ed. 96 p.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Tradução de Ivo Korytovski. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscilla Martins Celeste. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

YIN, R.K. **Case study research: design and methods**, 2nd. Thousand Oaks: Sage, 1994, 171p.