

# COLETÂNEA HABITARE

**Ricardo Rocha de Oliveira** é engenheiro civil (1988) pela UEL e mestre em Engenharia de Produção (1993) pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Professor Assistente da Universidade Estadual do Oeste do Paraná desde 1995. Atualmente é diretor do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Atua nas áreas de Processos Construtivos, Planejamento, Projetos e Controle de Sistemas de Produção e Controle de Qualidade.  
E-mail: [ccet@unioeste.br](mailto:ccet@unioeste.br)

# 12.

## Metodologia para melhoria da qualidade e produtividade em obras habitacionais de caráter repetitivo

Ricardo Rocha de Oliveira

### Resumo

O projeto teve como objetivo o desenvolvimento e implementação de uma metodologia para obras de caráter repetitivo que possibilitassem às empresas construtoras coletar, organizar, analisar e utilizar os dados de seus processos produtivos para garantia da qualidade e obtenção de melhorias da produtividade. Descrevem-se os principais resultados do projeto, apresentando-se conceitos sobre qualidade e produtividade em obras repetitivas, a metodologia de coleta de dados, os resultados e discussões e as conclusões obtidas no desenvolvimento do projeto.

397

### Conceitos preliminares: obras repetitivas e efeito aprendizagem

As obras de caráter repetitivo possuem características especiais, discutidas em diversos estudos e artigos da literatura nacional e internacional (ALMEIDA et al., 1998; COMMITTEE ON HOUSING, BUILDING AND PLANNING, 1965). Nessas obras, surge um fenômeno denominado efeito aprendizagem, o qual possi-

bilita melhorias de serviços nas obras, por meio da continuidade e repetição da execução. A contínua repetição faz com que o operário se adapte às condições de trabalho, melhorando gradativamente a qualidade dos serviços e fazendo com que as variações diminuam ao longo do trabalho. Há vários trabalhos que comprovam a validade dessa técnica, demonstrando aumentos expressivos da produtividade em obras, e alguns abordam melhorias em indicadores de qualidade (SANDERS; THOMAS, 1991).

É fenômeno conhecido que a repetição de uma tarefa, o treinamento e a aprendizagem na sua execução, enfim, a experiência conduzem a um melhor desempenho, ou seja, ao aumento da produtividade (HEINECK, 1991). Várias são as razões que explicam o efeito aprendizagem: (a) familiarização com o trabalho; (b) melhoria da coordenação da equipe e dos equipamentos; (c) melhoria na organização do trabalho; (d) melhor gerenciamento e supervisão no dia-a-dia; (e) desenvolvimento de melhores métodos de execução; (f) melhores formas de suprimento às tarefas; e (g) menores alterações nos trabalhos e redução de retrabalho (THOMAS et al., 1986).

A melhoria nos índices de produtividade por meio da repetição de tarefas foi observada pela primeira vez por Wright, na fabricação de aviões. Wright formulou uma lei, conhecida por seu nome, segundo a qual cada vez que se dobra o lote de produção, o esforço médio para realizá-lo (em termos de homens-hora) declina à razão de uma determinada porcentagem do lote anterior. No esforço de reconstrução da Europa no pós-guerra, esse fenômeno também foi observado na construção de conjuntos habitacionais de casas e de edifícios. Verifica-se que, em geral, o efeito aprendizagem só ocorre em canteiros organizados, planejados, nos quais o ritmo de trabalho é ditado pelo homem, e quando o operário está motivado, em geral, recebendo complementação salarial, em função do seu aumento de produtividade. Devido a essa situação, surge a idéia do efeito continuidade. Não basta que o canteiro seja repetitivo, havendo necessidade de que os operários se desloquem sem interrupção de um local de trabalho para outro. Além disso, na execução da própria tarefa, não deve haver paradas devido à falta de materiais, falta de detalhamento construtivo, interferência de outras tarefas, desbalanceamento e falta de elementos na equipe de trabalho. O planejamento do canteiro e a programação da obra devem ser realizados de forma a suprir tais condições (HEINECK, 1991).

Para aplicação dessa metodologia, são consideradas obras repetitivas, neste

trabalho, as edificações que apresentem um número mínimo de repetições em suas unidades:

- prédios isolados: edifícios compostos de, no mínimo, dez pavimentos tipo ou dez unidades repetitivas (salas, apartamentos, paredes semelhantes, etc.);
- conjuntos prediais: conjuntos formados por dois ou mais blocos, com no mínimo dez repetições de pavimentos ou apartamentos tipo; e
- conjuntos habitacionais compostos de mais de dez unidades repetitivas.

Neste trabalho, foram estudados os tipos de obras mencionados acima. Apesar de se indicarem como obras repetitivas edifícios e conjuntos habitacionais, a metodologia pode ser aplicada a outras tipologias, entre elas obras em estradas (que dependem da repetição dos serviços de pavimentação por quilômetros), em redes de água e de esgoto, ou outros tipos que apresentem o caráter repetitivo.

## Método de pesquisa

### Considerações gerais

O projeto apresenta uma metodologia na qual, inicialmente, faz-se uma análise das obras para verificação do seu caráter repetitivo e obtenção de informações sobre a logística dos processos produtivos. Após a escolha dos serviços, é realizada a coleta de dados através de planilhas desenvolvidas especificamente para cada atividade. A partir dos dados coletados, são gerados bancos de dados que são analisados e discutidos, mediante gráficos e tabelas descritos a seguir.

### Coleta e análise de dados de produtividade

As coletas e análises dos dados de produtividade das obras ocorreram em duas etapas. Entre os anos de 1997 e 1999, obtiveram-se dados de 17 serviços em cinco obras, conforme os Quadros 1 e 2. Para o banco de dados formado por esses serviços, foram feitas as seguintes análises: forma de execução dos serviços ao longo do tempo (continuidade/interrupções, identificação de problemas durante a execução, etc.), identificação da existência ou não do efeito aprendizagem, utilização de diferentes equipes e seus efeitos na produtividade, variação da produtividade ao longo dos ciclos de produção e variação da produtividade ao longo dos dias da semana.

Obra	Descrição geral	Características
Obra 1.1	Edifício comercial composto de galeria de lojas e torre com salas comerciais (unidades). Obs.: dados coletados na primeira torre.	17 pavimentos tipo compostos de 4 unidades, 3 subsolos e térreo.
Obra 1.2	Edifício residencial composto de kitinetes (unidades) e galeria com lojas no térreo.	16 pavimentos tipo compostos de 6 kitinetes, cobertura com salão de festas, térreo e subsolo.
Obra 1.3	Edifício composto de apartamentos residenciais.	12 pavimentos tipo compostos de 2 apartamentos, dois pavimentos duplex, térreo e subsolo.
Obra 1.4	Conjunto residencial composto de 8 blocos. Obs.: dados coletados e analisados em dois blocos.	Blocos formados por térreo mais 4 pavimentos tipo composto de 4 apartamentos residenciais.
Obra 1.5	Conjunto residencial composto de 8 blocos. Obs.: dados coletados e analisados em dois blocos.	Blocos formados por térreo mais 6 pavimentos tipo composto de 4 apartamentos residenciais.

Quadro 1 – Características das obras pesquisadas na fase 1 (1997/1999)

Serviços	Obra 1.1	Obra 1.2	Obra 1.3	Obra 1.4	Obra 1.5
Estrutura	Estrut1.1	Estrut1.2	Estrut1.3	Estrut1.4	Estrut1.5
Alvenaria Interna	Alv-int1.1	Alv-int1.2			
Alvenaria Externa	Alv-ext1.1		Alv-ext1.3		
Reboco Interno	Reb-int1.1				
Reboco Externo	Reb-ext1.1	Reb-int1.2			
Reboco de Teto	Reb-tet1.1	Reb-tet1.2	Reb-tet1.3		
Contrapiso	Con-pis1.1	Con-pis1.2			

Quadro 2 – Serviços pesquisados na fase 1 (1997/1999)

No ano de 2000, foram coletados dados de 14 serviços em seis obras, conforme os Quadros 3 e 4. Para esse banco de dados, foram feitas análises sobre a variabilidade dos índices de produtividade, utilizando-se dois tipos de gráficos: variabilidade da produtividade diária e variabilidade da produtividade média diária acumulada.

Obra	Descrição geral	Características
Obra 2.1	Edifício residencial composto de oito blocos.	Dois blocos, com quatro pavimentos, contendo 128 apartamentos no total.
Obra 2.2	Edifício residencial. As garagens são no subsolo, com duas vagas para cada apartamento. No pavimento térreo estão localizadas áreas como o hall de entrada social e lazer.	Composto de 17 andares, sendo 2 apartamentos tipo por andar e duas coberturas duplex. Área total: 10.798,71 m <sup>2</sup>
Obra 2.3	Edifício residencial, obra destinada a fim residencial.	3 blocos, com 4 pavimentos cada, 4 apartamentos por andar (16 apartamentos) e 3 salões de festas. Área total: 4.106,7 m <sup>2</sup>
Obra 2.4	Obra pública, pronto socorro municipal e hospital da criança.	Obra térrea Área total: 2.265,00 m <sup>2</sup>
Obra 2.5	Empreendimento de caráter comercial, com duas lojas.	Loja 1 totalmente térrea, loja 2 possui, além do térreo, mais dois pavimentos. Loja 1 = Total: 4.524,89 m <sup>2</sup> Terreno: 9.434,69 m <sup>2</sup> Loja 2 = Total: 13.413,18 m <sup>2</sup>
Obra 2.6	Fábrica de silos e secadores, com um pavimento térreo, pé-direito de 9 metros, fechamento lateral até 3 metros, pilares laterais com 6 metros em concreto pré-moldado.	Obra privada, construída em estrutura de concreto armado Área total: 9.072 m <sup>2</sup> Terreno: 21.500 m <sup>2</sup>

Quadro 3 – Características das obras pesquisadas na fase 2 (2000)

Serviços	Obra 2.1	Obra 2.2	Obra 2.3	Obra 2.4	Obra 2.5	Obra 2.6
Alvenaria Int.	Alv-int2.1	Alv-int2.2		Alv-int2.4		
Alvenaria Ext.	Alv-ext2.1					
Reboco Int.	Reb-int2.1		Reb-int2.3			
Reboco Ext.	Reb-ext2.1					Reb-ext 2.6
Reboco Teto	Reb-tet2.1					
Cal fino Teto	Cal-tet2.1					
Regul. Piso	Reg-piso 2.1					
Assent. Piso					Asse-pis 2.5	
Contrapiso					Con-pis 2.5	Con-pis 2.6

Quadro 4 – Serviços pesquisados na fase 2 (2000)

O conceito de produtividade associada a um dado sistema produtivo utilizado no trabalho é o de um índice que compare a produção do sistema com os insumos que foram consumidos para essa produção em um período (dia, mês ou ano). Esse número, designado como índice de produtividade, é expresso pela Equação 1:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Horas trabalhadas ou Hh}}{\text{Produção física}} \quad (1)$$

Cabe mencionar que a produtividade é apresentada na forma de consumo de recursos por unidade de produção ou consumo do recurso. Utiliza-se essa forma por ser a mais comum na Construção Civil, principalmente em orçamentos de obras. Nas indústrias em geral, utiliza-se o inverso da Equação 1, apresentando produtividade como produção física dividida pelo recurso. Destaca-se ainda que, na forma adotada no trabalho, quanto maior o índice de homens-hora (Hh) por produção física, pior será a produtividade, pois houve um maior consumo de mão-de-obra por serviço efetuado.

Portanto, utiliza-se a medição do insumo mão-de-obra, um indicador comum na literatura de produtividade e também na Construção Civil. Esse indicador é de obtenção relativamente simples para as empresas, porque é possível padronizar as formas de coleta nas obras. Além disso, a maioria dos processos na Construção Civil ainda usa intensivamente a mão-de-obra. Quanto à medição da produção, ela se refere ao nível de atividades ou serviços, tais como: alvenaria, revestimentos e pavimentação. Na medição do insumo mão-de-obra, considera-se a equipe diretamente relacionada à atividade, como definido por Souza (2000).

Com a finalidade de proporcionar uma interpretação adequada e evitar erros na coleta, foram desenvolvidas planilhas de produção. Como desenvolvimento da pesquisa, para a etapa realizada durante o ano 2000, foram elaborados um manual e um conjunto de planilhas para apropriação dos dados de execução de alvenarias, revestimentos e pisos, cuja principal função é a de evitar a coleta dos dados de maneira diferente da recomendada. De modo geral, as planilhas apresentam dados sobre entradas, saídas e sobre ocorrências diárias extraordinárias. Um exemplo desse tipo de planilha é o Quadro 6. Os manuais e planilhas foram divididos em seis tópicos fundamentais, designados por siglas, conforme mostra o Quadro 5, constituindo as informações necessárias ao processo de coleta: características gerais da obra; características gerais dos serviços; padronização das medidas das saídas; dados da mão-de-obra e produção; coleta diária e observações. Após a obtenção dos dados, estes foram organizados, formando um banco de dados, para realizar as análises.

Planilha	Sigla		
	Alvenaria	Revestimento	Pavimentação
Características Gerais da Obra	C1		
Características Gerais dos Serviços	A1	R1	P1
Padronização das Medidas	A2	R2	P2
Mão-de-Obra e Produção	A3	R3	P3
Coleta Diária	D1		
Observações	O1		

Quadro 5 – Siglas para identificação das planilhas



dores são esquadro, prumo, nível, alinhamento, juntas verticais e horizontais, vãos de portas e janelas, e aperto.

A partir da definição dos indicadores, monta-se a planilha de coleta de dados, que deve conter dados sobre a obra, local, data e horário da medição, indicadores e especificações do produto, além de ser de fácil compreensão e manuseio.

É feita uma planilha para cada serviço, pois estes possuem especificações e indicadores variados. Cada amostra contém um subgrupo de itens de tamanho dependente da variação do processo. Na Figura 1, verifica-se que cada amostra é composta de cinco valores, e que uma amostra equivale às anotações referentes a uma determinada data de medição por indicador. O valor de cada amostra será a média desses cinco itens.

Obra																		
Eng.										Serviço								
Aprop.										Pavimento								
Data-hora	Aperto ( 2,5 - 3,5 cm )						Juntas ( 1,2 - 1,8 cm )						Alinhamento ( < comp/600 )					
	A1	A2	A3	A4	A5	Média	A1	A2	A3	A4	A5	Média	A1	A2	A3	A4	A5	Média
10/09-08:00																		
10/09-10:00																		
10/09-12:00																		
10/09-14:00																		
10/09-16:00																		
10/09-18:00																		
Data-hora	Nível ( < 5 mm )						Esquadro ( < 2 mm )						Prumo ( < 5 mm )					
	A1	A2	A3	A4	A5	Média	A1	A2	A3	A4	A5	Média	A1	A2	A3	A4	A5	Média
10/09-08:00																		
10/09-10:00																		
10/09-12:00																		
10/09-14:00																		
10/09-16:00																		
10/09-18:00																		

Figura 1 – Planilha de controle da qualidade do serviço de alvenaria de vedação

A coleta deve ser realizada de forma precisa, nos locais e horários predeterminados ou após a execução de determinada quantidade de serviço, sendo sempre realizada na seqüência de execução do serviço, devido ao efeito aprendizagem que ocorre nas obras de caráter repetitivo.

A pessoa responsável pela coleta deve ser treinada para empregar equipamentos adequados para medição que possuam a precisão desejada. Como a coleta é realizada através de amostras, ou seja, não é realizada uma inspeção em 100% do produto, deve-se fazer as leituras aleatoriamente, sem se voltar para aquelas que visualmente apresentem defeitos ou estejam dentro dos padrões de qualidade desejados, para que o controle seja estatístico.

O número de amostras a serem coletadas e a freqüência da amostragem dependem do serviço que está sendo analisado, da sua produtividade, do custo de amostragem e das perdas associadas à operação do processo em uma condição fora de controle. O intervalo de medição entre uma amostra e outra deve ser tal que não permita uma grande variação no processo (WERKEMA, 1995). Como o trabalho desenvolveu somente estudos exploratórios, são apresentados apenas os resultados sobre índices de produtividade.

## Resultados e análises

### Resultados sobre índices de produtividade – fase 1

Após a organização do banco de dados, as análises ocorrem basicamente através da elaboração de gráficos e tabelas, o que facilita a análise do processo, possibilitando a identificação dos fatores atuantes sobre a produtividade e permitindo a verificação da necessidade de algum tipo de intervenção nos processos.

A primeira análise é feita através do diagrama espaço/tempo, identificando-se a ordem de execução, as interrupções e a realização de trabalhos em diferentes pavimentos, ao mesmo tempo. Serviços como o apresentado na Figura 2 são caracterizados pela continuidade, em que o fluxo de trabalho ocorre sem interrupções.

Um exemplo típico de deficiência no planejamento e execução de um serviço é apresentado na Figura 3. Observa-se que na execução houve interrupções nos vários pavimentos, devido a problemas de disponibilidade de recursos, tais como materiais e equipamentos ou ainda por uma variação muito intensa nas equipes de trabalho. Esses itens inviabilizaram a realização contínua do serviço.

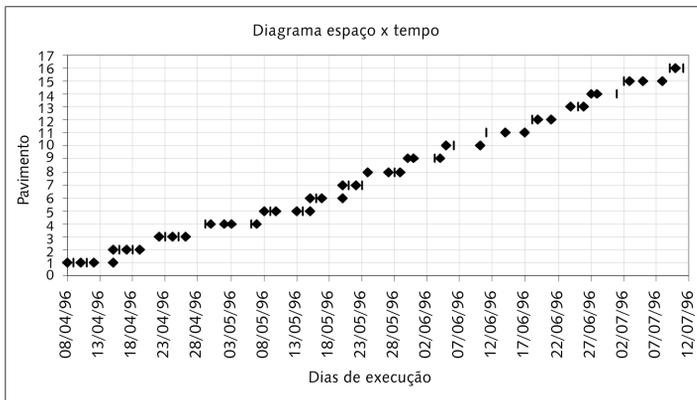


Figura 2 – Dias gastos para execução da alvenaria interna da obra 1.2

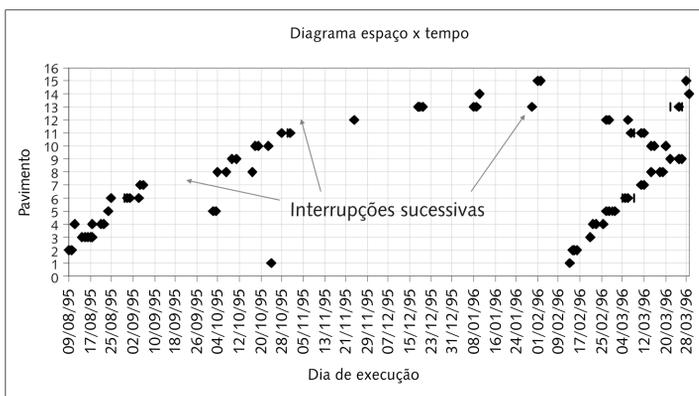


Figura 3 – Dias gastos para execução da alvenaria externa da obra 1.2

Outro tipo de análise é a dos índices de produtividade ao longo da execução do serviço. Nas obras de caráter repetitivo, é típica a ocorrência do fenômeno conhecido como efeito aprendizagem: melhoria nos índices a partir da repetição e continuidade dos processos. A Figura 4 apresenta um caso de melhoria dos índices de produtividade dos serviços de execução de estruturas de concreto armado dos edifícios 1.1, 1.2 e 1.3, no qual se observa a redução no consumo de mão-de-obra, com a evolução da execução dos pavimentos. Os dados podem ser utilizados para construção de equações que representam o fenômeno, conforme apresentado na Figura 5 e na Tabela 1. Esses valores permitem a criação de índices de referência, facilitando comparações entre os serviços executados, bem como o controle de ciclos de produção.

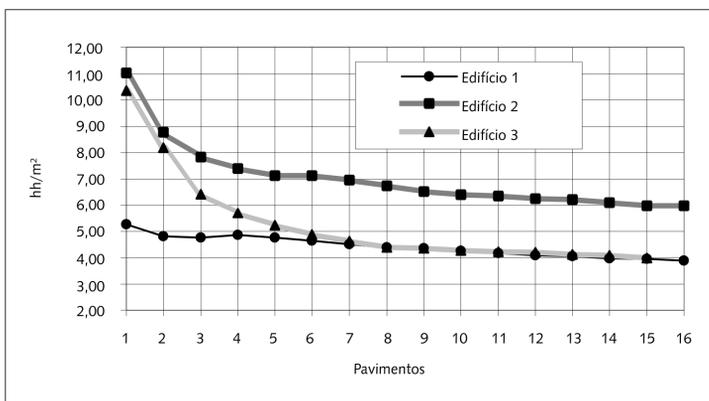


Figura 4 – Dados sobre consumo de mão-de-obra na execução da estrutura dos prédios

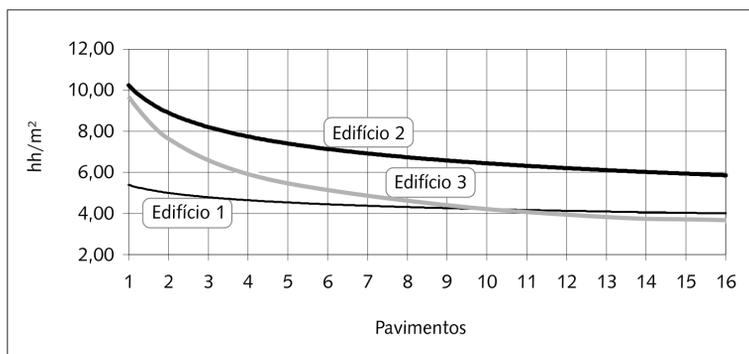


Figura 5 – Regressões do consumo de mão-de-obra na execução da estrutura dos prédios

Edifício	Equação	R <sup>2</sup>	Lei de aprendizagem
1.1	$Y_x = 5,3989 X^{-0,1070}$	0,9005	93%
1.2	$Y_x = 10,234 X^{-0,2016}$	0,9674	87%
1.3	$Y_x = 9,7557 X^{-0,3540}$	0,9654	78%

Tabela 1 – Equações e parâmetros das regressões

Quanto à influência dos diferentes tipos de equipes sobre a produtividade, na Tabela 2, apresenta-se a variação dos índices em função dos diferentes números de operários. Esses valores são representados no gráfico da Figura 6. Nos diversos serviços estudados, tem-se verificado uma tendência de maior produtividade para pequenas equipes, observando-se que equipes maiores apresentam dificuldades de coordenação. Essa é uma informação importante, no planejamento de uma obra, para a escolha das equipes adequadas. Pode-se verificar na Figura 7 que o custo para execução de um serviço varia com a equipe. Normalmente, as equipes menores, que são mais produtivas, gastam mais tempo para a execução do conjunto dos serviços, porém levam a um custo menor. As equipes maiores, apesar de menos produtivas, realizam o conjunto dos serviços de forma mais rápida, por contar com um número maior de operários. Esse é um dado muito importante, que pode ser utilizado em obras semelhantes, quando o planejamento deve levar em conta questões de custo e tempo.

Equipes	2/1	3/2	3/4	4/2	4/3	5/2
N.º Operários	3	5	7	6	7	7
Produtividade (m <sup>2</sup> /h)	1,95	1,40	1,46	1,35	1,35	1,50

Tabela 2 – Produtividade das equipes e número de dias trabalhados

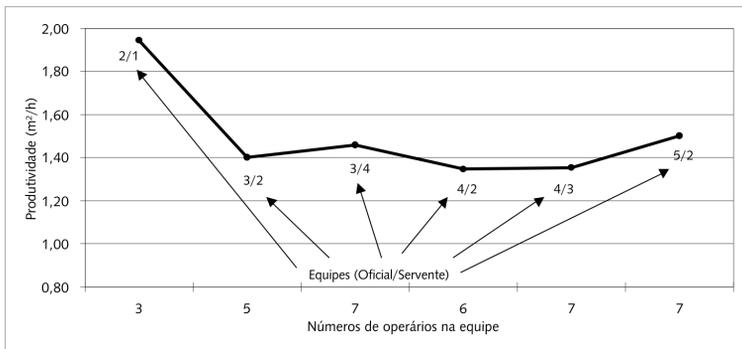


Figura 6 – Comportamento da produtividade em função da variação das equipes

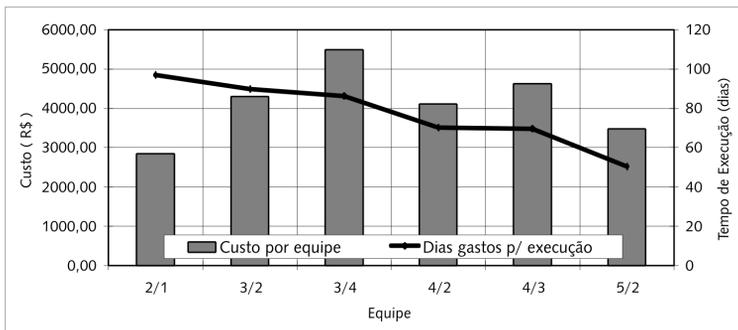


Figura 7 – Gráfico do custo e tempo de execução

Em vários dos serviços analisados, não se observou a ocorrência do efeito aprendizagem, devido às diversas interrupções ao longo da execução do serviço, conforme evidenciado na Figura 3, ou à falta de continuidade das equipes (emprego de diversas equipes ao longo da execução de um serviço), como apresentado na Figura 8, o que impedia o aproveitamento da oportunidade de aprendizado.

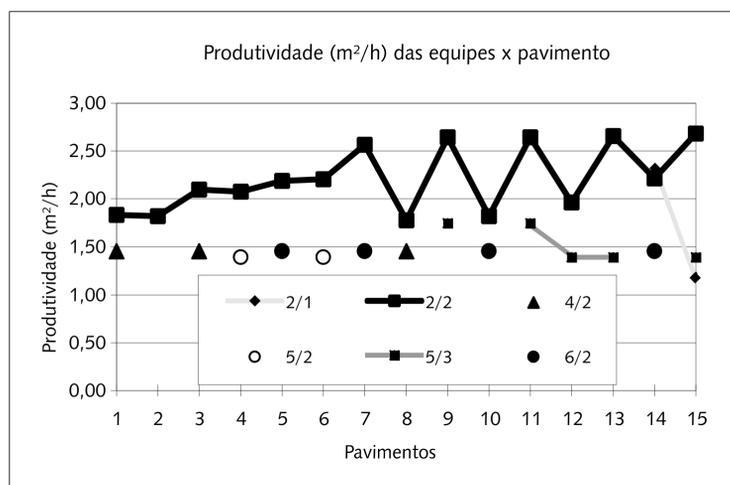


Figura 8 – Equipes utilizadas na execução do serviço reb-int1.2

Além dos gráficos apresentados, também foram analisados outros que relacionam: produtividade ao longo dos dias de semana; produção física e homens-hora por pavimento; produtividade e custo diário; comparação do consumo e duração de execução por unidade repetitiva; e custo total do serviço comparado ao número de dias executados pela equipe. Esse conjunto de análises permitiu evidenciar diversos fatores que influenciaram a produtividade nas obras estudadas.

## Resultados sobre variabilidade dos índices de produtividade – fase 2

Durante a execução da primeira fase, observou-se uma intensa variabilidade nos dados de produtividade. Devido a essa situação, desenvolveu-se uma metodologia para análise da variabilidade dos índices.

Os processos produtivos apresentam variabilidade. Nota-se que um processo não produz sempre os mesmos resultados. Mesmo um processo automatizado possui oscilação inerente a ele, e essa variação é inevitável. O Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma técnica que vem sendo usada em várias indústrias como forma de detectar e controlar a variação de características de produtos (CARVALHO, 1991).

Para controle da produção, utilizam-se gráficos de controle, montados a partir de dados de avaliação de características de amostras coletadas periodicamente, ao longo da fabricação dos produtos. Esses gráficos podem ser usados para distinguir as causas especiais de variação da produção das causas crônicas. Quando há muita instabilidade dos processos, ela é refletida na variabilidade dos dados. Contudo, com eles pode-se estabelecer valores de referência para avaliação da performance atual ou de alternativas de produção. Os fatos esporádicos que causam grandes variações devem ser devidamente anotados, pois servirão como referência para futuras investigações, a fim de eliminar as suas causas (SANTOS, 1995).

Quanto aos índices de produtividade na Construção Civil, constata-se intensa variabilidade nos indicadores. Alguns autores sugerem que os valores de consumo de mão-de-obra apresentam variações da ordem de +/-20% (HEINECK; PANZETER, 1989). Apesar de haver indicações de uso de gráficos de controle para a produtividade (SANTOS, 1995), até o momento não se observa uma metodologia completa de levantamento e análise de dados da produtividade, adequada às características do setor.

Ryser (1999) define como produtividade cumulativa a relação entre horas trabalhadas ou homens-hora (Hh) gastos, dividida por homens-hora estimados, sendo os gastos, de fato, a quantidade de horas consumidas e o estimado, a quantidade contida no orçamento para a execução do serviço.

Se o valor desse indicador for baixo, existe uma eficiência elevada, sendo possível atingir entre 0,80 e 0,85 da produtividade prevista. Normalmente, a produtividade, devido à curva de aprendizagem, apresenta no início do serviço um resultado ligeiramente ineficiente e melhora com o tempo. No fim, ocorre uma diminuição na produtividade, devido ao chamado efeito desmobilização.

Ryser (1999) considera que a variabilidade dos índices de produtividade na Construção Civil é normal se estiver situada na faixa de 0,80 a 1,20 da produtividade prevista. Caso os valores da produtividade média fiquem fora dessa faixa, de acordo com esse autor, há problemas na condução do serviço e ocorreram situações que devem ser investigadas, pois interferiram na produtividade.

Thomas e Zavrski (1999) propuseram uma forma de modelar a produtividade na execução de serviços da Construção Civil, afirmando que, quando um projeto não apresenta elevada complexidade e há uma boa administração, a produtividade diária também é relativamente constante e padrão. A proposta dos autores é a análise

da produtividade diária em relação a um potencial da obra, que é uma linha-base, calculada conforme procedimentos expostos no Quadro 7. Essa sistemática define valores máximos para a variabilidade individual da produtividade (ou diária), propondo um limite superior.

01	Determine 10% dos dias de trabalho totais.
02	Arredonde esse número para o próximo número inteiro mais alto (esse número não deve ser inferior a 5). Esse número n define o tamanho do subconjunto de linha-base (número de dias).
03	São selecionados os conteúdos do subconjunto de linha-base como os dias de trabalho de n que têm produção diária mais alta.
04	Durante esses dias, faça nota da produtividade diária.
05	A produtividade potencial de um conjunto específico de dados é a mediana dos valores das produtividades diárias no subconjunto. Esse valor é denominado produtividade potencial individual (PROPi) e representa um valor possível de ser atingido, para aquele serviço em particular.
06	A produtividade da linha-base é a média dos valores de produtividade potencial de vários serviços semelhantes. Esse valor é denominado produtividade potencial (PROP), que é obtida pela média das produtividades dos n serviços semelhantes ( $PROP = \text{somatório } 1 \text{ a } n \text{ dos } PROPi, \text{ dividida por } n$ ) e representa um valor possível de ser atingido, para aquele tipo de serviço.
07	Define-se um limite superior para a produtividade, igual a duas vezes a produtividade-base (limite superior = 2 x produtividade-base)

Com essa linha-base, tem-se um parâmetro para analisar dias considerados anormais, que seriam os situados acima de um limite superior (máximo). Esse limite superior é definido como duas vezes o valor da produtividade da linha-base. Thomas e Zavrski (1999) consideram que a variabilidade nos valores individuais (diários) da produtividade na Construção Civil é normal se está situada nessa faixa.

Para analisar o desempenho da produtividade na execução de serviços em obras, são calculados parâmetros de desempenho. Esses parâmetros são o DI e CPM.

O DI significa *Disrupte Index*, conforme nomenclatura em inglês definida por Thomas e Zavrski (1999).

O DI mede a variabilidade dentro de um único serviço. É uma medida de até que ponto houve dias de trabalho anormais no serviço, conforme a Equação 2.

$$DI = \frac{\text{Número de dias de trabalho acima do limite máximo}}{\text{Número total de dias de trabalho}} \quad (2)$$

O intervalo de valor de DI é entre 0,0 e 1,0. Quanto mais alto o DI, mais dias de trabalho anormais houve no serviço. Um valor de DI = 0,20 significa que 20% dos dias tiveram um valor maior do que o máximo aceitável. Quanto maior o valor de DI, maior variabilidade nos valores individuais da produtividade. Um DI baixo significa baixa variabilidade.

A produtividade média cumulativa final (PROM) inclui influências do tipo de serviço a ser executado e do gerenciamento da obra. Tomando a linha-base ou produtividade potencial (PROP) como um valor referencial e possível de ser atingido pelo serviço, um índice de medida da qualidade de gerenciamento é o valor final da produtividade média. Para obter essa medida, adotou-se um coeficiente que relaciona a produtividade média com o valor potencial do serviço ou linha-base. Denominou-se esse coeficiente de Coeficiente de Produtividade Média (CPM), que relaciona a produtividade média acumulada final (PROM) e o valor da produtividade potencial média (PROP), que pode ser considerada como a média dos melhores dias ou do valor mínimo de consumo dos serviços semelhantes. Enfim, no cálculo do CPM, será utilizada a média dos valores mínimos, ou seja, a produtividade potencial para o conjunto de serviços semelhantes, e para cada conjunto de dados divide-se esse valor pela média acumulada final de cada um, conforme a Equação 3.

$$CPMi = \frac{\text{Produtividade média acumulada final de um serviço ou PROMi}}{\text{Média do valor mínimo de consumo dos serviços semelhantes ou PROP}} \quad (3)$$

Caso o CPM esteja próximo de 1,0, isso significa que o valor da produtividade média ficou perto do valor mínimo, que é um valor potencial dos serviços apropriados ou possível de ser atingido. Por exemplo, se o valor do CPM for 1,05, isso quer dizer que o valor da média ficou 5% acima do valor potencial, ou seja, de forma

geral, a produtividade ao longo dos dias deve ter ficado próxima ao mínimo. Provavelmente, a obra possuía um bom gerenciamento e um projeto adequado. Já no caso de se obter um valor de CPMi igual a 2,70, a produtividade média ficou 170% acima do potencial, indicando que a obra possuía problemas gerenciais, devendo ser analisados os fatores que afetaram negativamente a produtividade. Se o valor for abaixo de 1,00, isso quer dizer que a produtividade foi menor que a do potencial, devendo-se analisar o diferencial que possuía a obra para que esse valor fosse reduzido.

A relação entre a produtividade base ou potencial (PROP) e a produtividade média final de um serviço (PROMi) pode ser expressa também pela Equação 4.

$$\text{PROMi} = \text{CPMi} \times \text{PROP} \quad (4)$$

Como resultados disponíveis, obtiveram-se diversos gráficos de identificação da produtividade. Obteve-se também uma padronização na forma deles, na qual o gráfico denominado Variabilidade 1 define o comportamento, ou seja, os pontos devem estar próximos da linha da média para que se tenha uma boa produtividade. Já o gráfico denominado de Variabilidade 2 é relacionado com as linhas de máximo e mínimo, se os pontos estão dentro desse intervalo.

De posse dos gráficos e das planilhas de produção, deve-se fazer uma análise e obter os fatores que afetam a produtividade em cada serviço e em cada obra. Por exemplo, no caso do trabalho, observando-se as Figuras 9 e 10, pode-se verificar as seguintes situações:

- (a) no início da atividade (1) houve o chamado efeito mobilização, no qual a produtividade foi menor que a média final. Ao longo da execução, com o denominado efeito aprendizado, o consumo de mão-de-obra reduziu-se;
- (b) no ponto (2) a produtividade foi prejudicada pela falta de material e mudança na equipe, ocasionando um aumento no consumo de mão-de-obra;
- (c) no ponto (3) pode-se verificar que ocorreu uma interrupção no serviço por alguns dias, levando a uma descontinuidade que prejudicou os índices de produtividade;
- (d) e, por último, no ponto (4), ocorreu uma diminuição da produtividade devido ao chamado efeito de fim, ou seja, um aumento do consumo de mão-de-obra acarretada por situações como desmobilização, realização de serviços mais complicados que foram deixados para o final da tarefa, falta de motivação ao se aproximar do fim dos serviços, etc.

De uma forma geral, os gráficos Variabilidade 1 e Variabilidade 2, no serviço em análise, demonstram um comportamento típico na execução de obras. Inicialmente, os índices apresentam um consumo de mão-de-obra maior que a média final. Ao longo da execução, os consumos reduzem-se, devido ao entrosamento da equipe e de melhorias obtidas no chamado efeito aprendido. Nos últimos dias de execução, ocorre o efeito de fim, caracterizado por um consumo de mão-de-obra maior. Durante a execução do serviço, ocorre uma variação nos índices, devido ao efeito aprendido e também a situações que ocorrem no canteiro, tais como falta de materiais, interrupções, alteração nas equipes, problemas com equipamentos, entre outros. O controle durante a execução é importante para que os índices previstos no planejamento e orçamento da obra possam ser atingidos. No serviço apresentado no trabalho, a variabilidade e os índices finais estão dentro de padrões aceitáveis, apesar de um início com consumo bem superior à média final e das situações apresentadas na análise.

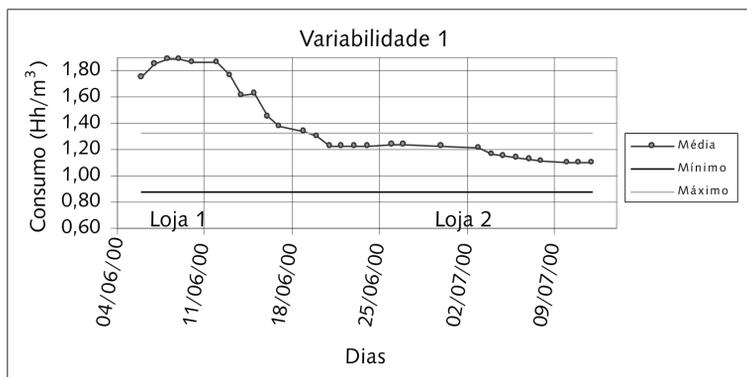


Figura 9 – Gráfico de Variabilidade 1 (serviço con-pis2.5)

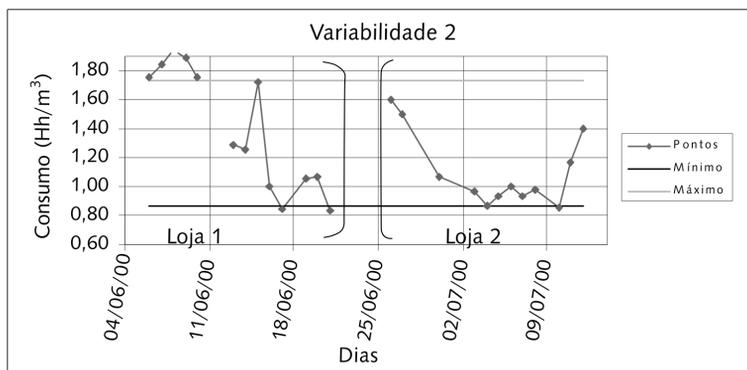


Figura 10 – Gráfico de Variabilidade 2 (serviço con-pis2.5)

Com o desenvolvimento dos gráficos, pode-se obter os fatores que afetam a produtividade, destacados principalmente nos dias anormais. Também é possível verificar que, quanto menor o valor de DI, menor o valor de COM. Essa situação é percebida através do gráfico que correlaciona todos os pontos de DI e CPM analisados na pesquisa, na qual o  $R^2$  apresenta um valor de aproximadamente 0,88 (Figura 3).

Deve-se ressaltar que, pela equação obtida ( $y = 1,6003.x + 1,0574$  ou colocando CPM em função de DI tem-se  $CPM = 1,6003.DI + 1,0574$ ), há a demonstração de que poucos dias anormais já significam uma repercussão importante, uma vez que um  $DI = 0,10$ , ou seja, 10% de dias anormais, significa um desempenho de 22% no CPM, isto é, CPM igual a 1,22. Enfim, baixa variabilidade (DI baixo) significa bom desempenho (CPM baixo), e alta variabilidade (DI alto) significa um desempenho ruim (CPM alto). E, de acordo com a equação, mesmo com DI igual a 0, o CPM seria de 1,06, evidenciando que, mesmo sem dias acima do limite máximo, ocorrem alguns em que o consumo é mais elevado, influenciando o resultado da média. Pode-se, então, correlacionar a variabilidade e o consumo aos índices de produtividade, transformando a Equação 4 na forma expressa pela Equação 5.

$$PROM = (1,6003.DI \times PROP) \quad (5)$$

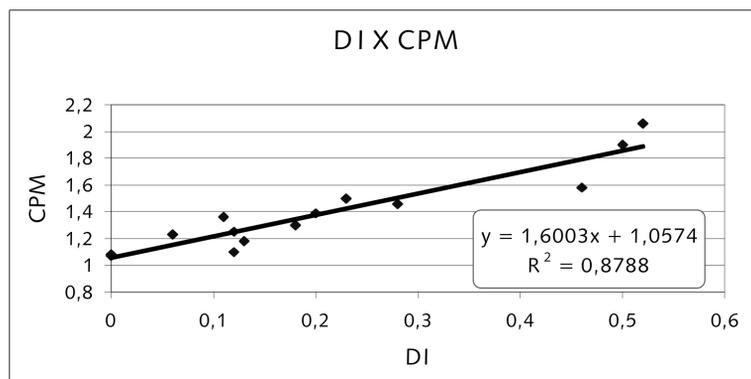


Figura 11 – Relação entre DI e CPM

O mais importante é que seja feito um esforço para reduzir a variabilidade, pois o trabalho demonstra que, caso ela se reduza, os índices serão melhores. A partir dos bancos de dados, foram identificadas várias causas da variabilidade, que estão apresentadas no Quadro 9. Entre as causas estão interrupções, troca de membros da equipe, operário trabalhando em condições inadequadas, falta de materiais e problemas com equipamentos.

Fator	Serviço(s) afetado(s)
Efeito aprendido	Alv-int2.1, Alv-ext2.1, Reb-int2.1, Reb-int2.3, Con-pis2.5, Asse-pis2.5, Con-pis2.6
Alteração do tamanho da equipe	Con-pis2.5, Asse-pis2.5
Falta de material	Con-pis2.5
Organização da produção	Con-pis2.5
Equipamentos fora de operação	Reb-int2.3, Con-pis2.6
Afastamento de funcionário para outra função	Reb-int2.3, Con-pis2.5
Mudança de equipe	Con-pis2.5
Interrupções	Alv-int2.1, Alv-ext2.1, Alv-int2.2, Reb-int2.1, Reb-ext2.1, Reb-int2.3
Temperatura	Reb-int2.3, Con-pis2.5, Asse-pis2.5
Problemas de gerenciamento e seqüenciamento	Alv-int2.1, Alv-ext2.1, Alv-int2.2, Reb-int2.1, Reb-ext2.1, Reb-int2.3, Con-pis2.5
Retrabalho	Reb-int2.3
Problemas de execução	Reb-int2.3
Mobilização/Desmobilização	Con-pis2.5, Asse-pis2.5
Projeto	Con-pis2.5

**Quadro 8 – Fatores que afetaram a produtividade**

De forma geral, o que se pode perceber é que muitas anormalidades podem ter afetado a produtividade e várias foram identificadas, excluindo-se fatores que dificilmente são identificados tais como a não-percepção da pessoa que procedia à coleta até a presença de causas não facilmente perceptíveis (falta de motivação da equipe, por exemplo). De qualquer forma, é muito importante avaliar que somente os dias acima do máximo nos serviços representaram uma média de 21% do total de dias coletados.

O desenvolvimento desta pesquisa mostrou que há diversos fatores influenciando a produtividade. Cada obra possui suas particularidades, e o seu desempenho depende de vários itens, que, quando combinados, criam as condições para uma boa ou má produtividade. Não obstante, é válido ressaltar que existem fatores localizados, pontuais, que afetam um dia ou um conjunto de dias, e fatores permanentes, sistêmicos, com os quais se deve conviver durante o decorrer de todo o serviço. Ambos podem ser controlados pela grência da obra.

De posse dos valores potenciais dos serviços, pode-se planejar a obra, tendo-se uma idéia da produtividade a ser atingida e realizando-se controle, mesmo nos primeiros dias de execução.

## Considerações finais

Em geral, a busca de indicadores na Construção Civil esbarra em algumas dificuldades (KOSKELA, 1992):

- diversidade dos projetos relacionada à falta de repetição e incertezas presentes na execução de obras, o que dificulta a comparação entre projetos;
- dificuldade de coleta de dados nas obras; e
- variação nas definições e processos de coleta de dados.

No entanto, quando as medições são usadas internamente, por uma empresa que coleta dados de forma padronizada e tem projetos semelhantes, as informações tornam-se úteis. Além disso, os dados devem ser usados para focalizar taxas de melhoria, em vez de valores absolutos, tais como:

- redução do consumo da mão-de-obra;
- redução da variabilidade do processo; e
- aumento da velocidade de execução das obras.

As obras de caráter repetitivo apresentam ainda algumas vantagens em seu gerenciamento, como a possibilidade de controle de ciclos de produção, que ocorrem rotineiramente ao longo das unidades repetitivas.

Os modernos conceitos de produção, como os da produção enxuta (KOSKELA, 1992), referem-se a itens que devem ser atacados nos processos, destacando-se: aumento da transparência dos processos pelo emprego de indicadores da produção, redução da variabilidade dos índices e dos tempos de execução das tarefas, maior previsibilidade da produção, redução do tempo total de execução das obras e dos serviços e redução de desperdícios.

Uma importante contribuição do trabalho foi a análise da variabilidade da produtividade pelo uso de gráficos e de dois indicadores: DI e CPM. Verificou-se que, quanto maior o valor de DI, maior é o valor do CPM, o que se permite concluir que, quanto mais dias anormais houver na produção (com consumo acima do normal), mais a média tenderá a apresentar um valor elevado, distanciando-se do valor potencial ideal do serviço. Mesmo poucos dias acima do valor potencial influenciam muito o resultado do CPM, repercutindo negativamente no valor da média.

Se for possível identificar limites e os dias que se situarem fora desses limites, pode-se definir o DI. De posse de todas as causas dos dias anormais identificados, é possível classificar e mostrar as de maiores incidências. Deve ser feito um esforço

para controlar e diminuir a ocorrência de dias anormais e, com isso, a variabilidade, pois, como se pode verificar pelo exposto no trabalho, quanto menor a variabilidade, melhor será o índice. Com a pesquisa, pode-se obter a magnitude da influência de dias anormais no consumo médio da produtividade, através da equação que correlaciona o DI e o CPM. No caso do trabalho, várias causas de variabilidade foram identificadas, tais como interrupção, troca de membros da equipe, falta de operários, falta de materiais, problemas com equipamentos, entre outras.

De maneira geral, pode-se concluir que diversos fatores afetam a produtividade, e, portanto, deve-se analisar as características de cada serviço antes de confirmarem-se os resultados. Verificou-se que é possível identificar os fatores que afetam a produtividade, o que permite a configuração de uma ferramenta a ser utilizada pelas empresas atuantes no setor, de forma a gerar os seus próprios bancos de dados, adotar uma metodologia de intervenção no sentido de melhorar os seus índices e realizar um planejamento diferencial, levando em conta fatores como temperatura, tamanho das equipes, organização do canteiro e outros. Enfim, utilizar parâmetros de desempenho, evitando surpresas e variabilidade, de modo a maximizar os resultados e minimizar os seus desperdícios, que é a busca básica de qualquer empresa, inclusive na Construção Civil.

Na metodologia aplicada no trabalho, buscavam-se, inicialmente, indicadores relativos a produtividade e qualidade. No entanto, a abrangência e a forma da coleta de dados permitem ampliar as análises. Além de analisar a produtividade dos serviços, como um valor absoluto, observa-se uma série de outros indicadores: comportamento da produtividade ao longo da execução, produtividade ao longo dos ciclos de repetição, variabilidade dos índices, velocidade de execução das equipes, produtividade das equipes, forma ao longo do tempo da execução dos serviços (continuidade e interrupções). A ênfase do trabalho foi dada na obtenção de dados e informações pelas empresas executoras dos serviços, a partir de uma metodologia padronizada, de forma a atuar em seus processos na busca de maior eficácia na execução de suas obras ou atividades, portanto indo em direção aos princípios ditados pelas atuais teorias da gestão da Construção Civil.

## Referências bibliográficas

ALMEIDA, F.; JÚNGLES, A.; PANZETER, A. Estudo da evolução da produtividade no canteiro de obras sob a ótica do efeito aprendido. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO. 1998. São Paulo: Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil. **Anais...** 03-06 nov. 1998.

CARVALHO, M. **Um sistema de controle de qualidade para a indústria têxtil.** Florianópolis. 1991. 132 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1991.

COMMITTEE ON HOUSING, BUILDING AND PLANNING. Economic Commission for Europe, United Nations. Effect of Repetition on Building Operations and Processes on Site. New York, 1965, **Report of an Enquiry undertaken by Committee on Housing, Building and Planning.**

HEINECK, L. Efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração no aumento da produtividade na alvenaria. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 1991. Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC). **Anais...** 30-31 out. 1991.

420 HEINECK, L.; PANZETER, A. Estimativa de custos na construção civil: um estudo de caso de obtenção de constantes unitárias de consumo de mão-de-obra. In: ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9., 1989 Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia de Produção. **Anais...** 1989.

KOSKELA, L. Application of the New Production Philosophy in Construction. **Technical Report**, 72. Stanford, EUA: CIFE, 1992. 75 p.

RYSER, R. **Construction Productivity: A Measurement of Worker Efficiency?** Disponível em: <[http:// www.projectmgmt.com/articles.htm](http://www.projectmgmt.com/articles.htm)>  
Acesso em: nov. 1999.

SANDERS, S.; THOMAS, H. Factors affecting masonry labor productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 117, n. 4, 1991. New York, ASCE.

SANTOS, A. **Método de intervenção em obras de edificações enfocando o sistema de movimentação e armazenamento de materiais.** Porto Alegre, 1995. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

SOUZA, U. Como medir a produtividade da mão-de-obra na Construção Civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., p. 25-28, abr. 2000. Salvador: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** 2000.

THOMAS, H; ZAVRSKI, I. Construction baseline productivity: theory and practice. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 5, 1999. New York, ASCE.

THOMAS, H.; MATHEWS, C. E WARD, J. Learning Curve Models of Construction Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 2, 1986. New York, ASCE.

WERKEMA, M. **TQC: As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos.** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 1. 1995. Série Ferramentas da Qualidade.

