

# A UTILIZAÇÃO DAS CURVAS DE APRENDIZAGEM NO PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

**Madalena Osório Leite**

Universidade Federal de Santa Catarina / Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEP  
Rua Des. Valdetário Mota, 183, Apt. 301, Papicu - Fortaleza-CE - email: madalenaleite@uol.com.br

**Osmar Possamai, Dr.**

Professor Doutor da Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Campus Trindade - Florianópolis - SC - email: possamai@eps.ufsc.br

## *ABSTRACT*

*The building sub-sector is one of those that presents the worst indexes of managerial and technological delay, resulting in lack of quality of its products. Moreover, there is a lack of planning before the beginning of the projects, causing an execution without an initial prevision of costs about the use of human resources. The use of the learning curves allows a better determination of the financial and human resources, resulting in a better measurement of the execution periods of the enterprises. This paper aims to use the learning curves to develop a model to determine the growing productivity index for the services of the building sub-sector. Therefore, it is an attempt to turn more precise the planning of the building process, providing a better condition for the determination of the terms and an economy of costs, taking in consideration the learning effect, currently despised by the planning techniques.*

*KEY WORDS: learning curves, learning effect, productivity*

## **1. INTRODUÇÃO**

As produtividades dos serviços, em cada empresa, têm um valor particular, devido às suas características internas. Por isso, não se pode utilizar valores extraídos de publicações nos planejamentos. Existe a necessidade de se saber não só o valor absoluto dos tempos gastos para a execução dos serviços, mas também, os seus valores no decorrer do tempo.

Nesse ponto, começa-se a utilizar as curvas de aprendizagem. Elas demonstram a diminuição do tempo de trabalho para a execução do mesmo serviço. Isso acontece em decorrência do sucessivo aperfeiçoamento na execução do trabalho e da familiarização da equipe no ambiente de operação, que é chamado de efeito aprendido.

O objetivo desse trabalho é utilizar as curvas de aprendizagem para desenvolver um modelo para a determinação do índice de diminuição nos tempos gastos para a execução de serviços no setor da construção civil. Com isso, procura-se tornar mais preciso o planejamento dessa etapa da construção de edificações, provendo uma melhor condição para a determinação de prazos e uma economia de custos, levando em consideração o efeito aprendido, atualmente desprezado pelas técnicas de planejamento.

## **2. O PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL E AS CURVAS DE APRENDIZAGEM**

O planejamento da programação de obras de engenharia implica, inicialmente, numa previsão das atividades a serem realizadas, dos recursos necessários, dos custos estimados, dos prazos e de tantos outros elementos importantes para a execução e para o acompanhamento da obra.

Segundo GATES e SCARPA (1972), a aplicação mais óbvia das curvas de aprendizagem é a relacionada a problemas de alocação de mão de obra. Alguns exemplos específicos para a construção civil: estabelecer previamente preços para projetos residenciais, onde o lucro dependerá do custo da construção, estimar o aumento da produtividade para obter um preço competitivo, negociar contratos com subempreiteiros e planejar o suporte logístico prevendo um aumento da produtividade.

HANEIKO e HENRY *apud* SOUZA (1996) analisando dados de produtividade relativos a uma grande construção industrial, concluíram que o efeito aprendido esteve presente em atividades de longa duração e que consumiram mão de obra significativamente. PIGGOT *apud* MARCHIORI (1998) considera importante o efeito da repetição na produtividade total da mão de obra e aconselha que este fator seja levado em conta no gerenciamento da construção.

## **3. AS CURVAS DE APRENDIZAGEM**

Segundo BIOS PUBLICATIONS (2000), as empresas normalmente executam ineficientemente uma nova tarefa quando as estão enfrentando pela primeira vez ou quando mudam de um antigo procedimento para um modo radicalmente diferente de executá-lo. As melhorias esperadas em velocidade e eficiência provocadas pela experiência acumulada têm sido representadas utilizando-se as curvas de aprendizagem. Os gerentes de várias indústrias utilizam as curvas de aprendizagem para estimar custos futuros e identificar as taxas de produção.

Os fatores que afetam a produtividade podem ser organizados em grupos, tais como mão de obra, aspectos de projeto e conteúdo do trabalho, condições ambientais, práticas gerenciais de controle, métodos de execução e estrutura organizacional do projeto (THOMAS *et al.* *apud* OLIVEIRA e OLIVEIRA, 1999).

Entre os fatores citados anteriormente, nos trabalhos de caráter repetitivo, surge o efeito aprendido, representado graficamente pela curva de aprendizagem, onde após o operário já ter executado várias vezes uma tarefa, o mesmo adquire maior confiança e agilidade em sua execução, aumentando, assim, sua produtividade. Porém, esse fenômeno só é possível se o trabalho for contínuo e repetitivo, ou seja, não ocorrerem interrupções nos processos e nem alterações no método executivo do serviço analisado, sendo este executado por uma mesma equipe de funcionários.

Segundo HEINECK *apud* OLIVEIRA e OLIVEIRA (1999), a repetição de uma tarefa, o treinamento e a aprendizagem na sua execução, enfim, a experiência, conduzem a um melhor desempenho, ou seja, a um aumento da produtividade. Várias são as razões que explicam o efeito aprendido: familiarização com o trabalho, melhoria da coordenação da equipe e dos equipamentos, melhoria na coordenação do trabalho, melhor gerenciamento e supervisão no dia a dia, desenvolvimento de melhores métodos de execução, melhores

formas de suprimento às tarefas e menores alterações nos trabalhos (THOMAS *apud* OLIVEIRA e OLIVEIRA, 1999).

FARGHAL e EVERETT (1997) mostram dados históricos de sessenta atividades relacionadas com construção coletadas de algumas fontes (“EFFECT”, 1965; EVERETT e SLOCUM, 1993; MCCLURE *et al.*, 1980 e OGLESBY *et al.*, 1989). Os serviços relacionados fazem parte das mais variadas atividades tais como construções residenciais, operações com guindaste, fabricação de pré-moldados de concreto, construção de pontes e escavação de túneis.

### 3.1. Os Tipos de Curva de Aprendizagem

A maioria das pesquisas em aprendizagem tem focado o estudo dos modelos matemáticos. Segundo FARGHAL E EVERETT (1997), os mais famosos modelos de curvas de aprendizagem incluem o modelo linear (WRIGHT, 1936), o modelo Stanford B (AN IMPROVED, 1949), o modelo cúbico (CARLSON, 1973), o modelo exponencial (“EFFECT”, 1965) e o modelo segmentado (THOMAS *et al.*, 1986). Os tipos de curva de aprendizagem estão demonstrados na figura 1.

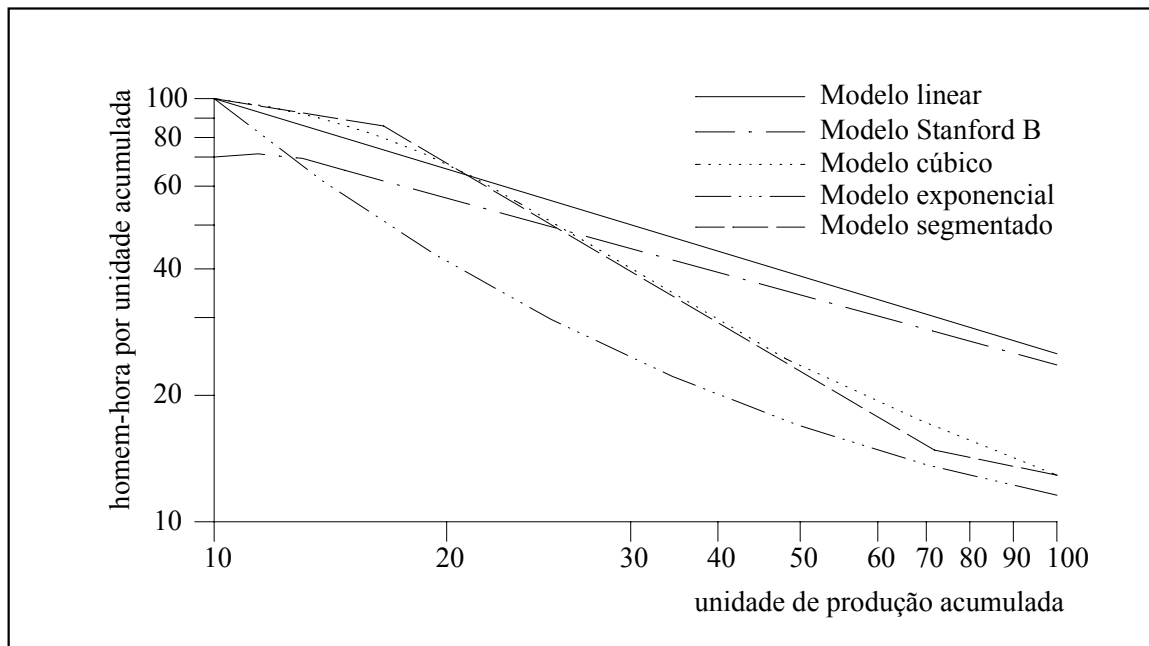


Figura 1- Tipos de Curva de Aprendizagem - Escala logarítmica (THOMAS *et al.*, 1986).

O modelo linear de curva de aprendizagem, segundo THOMAS *et al.* (1986), é o modelo mais usado para a análise das atividades em construção civil. O modelo linear é nomeado assim, porque forma uma linha reta quando desenhado em uma escala logarítmica. A suposição do modelo linear é que a taxa de aprendizagem permanece constante ao longo da duração da atividade.

Segundo THOMAS *et al.* (1986), a curva de aprendizagem original foi desenvolvida em 1936 pela T. P. WRIGHT. A fórmula do modelo linear é representada na equação (1):

$$Y_x = A X^{-n} \quad (1)$$

onde:

-  $Y_x$  é o custo, quantidade homem-hora ou tempo necessário para a x-ésima operação;

- A é o custo, quantidade homem-hora ou tempo necessário para a primeira operação;
- X é o número de ordem da operação;
- n o parâmetro que caracteriza a curva de aprendizagem.

A produtividade ganha devido ao efeito aprendizagem, é uma função da taxa de aprendizagem, S, mostrada na equação (2):

$$S = 2^{-n} \quad (2)$$

A taxa de aprendizagem é expressa em forma de percentagem. Quando a taxa de aprendizagem é 100%, não há mais nenhum aumento de produtividade.

O modelo Stanford B assume que o modelo linear é a situação normal provida que os operários não têm nenhuma experiência adquirida. Experiência adquirida é definida como o *know how* ou a experiência resultante da execução de atividades similares ou da construção de unidades idênticas em um passado recente. O modelo Stanford B é uma modificação do modelo linear para considerar o ganho de experiência. Esta experiência resulta em ganho de produtividade que será cada vez menor durante a fase de aprendizagem.

O modelo cúbico assume que a taxa de aprendizagem não é uma variável constante, devido à combinação entre a prévia experiência e o nivelamento da produtividade em atividades que se aproximam da sua conclusão (THOMAS *et al.*, 1986).

O modelo exponencial para a curva de aprendizagem foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa de Construção Norueguês. Este modelo está baseado na regra que, parte do custo, homem-hora ou tempo por unidade, que pode ser diminuído pelo efeito aprendizagem, será reduzido pela metade depois de um número constante de repetições. E, finalmente, o modelo segmentado que é a aproximação linear do modelo cúbico.

### **3.2. A Escolha do Modelo para a Aplicação na Construção Civil**

Dados de sessenta e cinco atividades foram usados para desenvolver os vários modelos de curva de aprendizagem. O modelo exponencial, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa de Construção Norueguês, era insatisfatório na maioria do tempo. Para os dados cumulativos comuns, o modelo linear foi comparado ao modelo cúbico, e este era mais consistente. O modelo segmentado e o modelo Stanford B foram estudados em 1984, utilizando-se dados da tabela de produtividade de serviços de um edifício de seis pavimentos (THOMAS *et al.*, 1986).

Segundo FARGHAL e EVERETT (1997), o modelo linear provê a melhor correlação entre desempenhos atuais e passados para os modelos e atividades testadas. Além disso, é o modelo mais usado na maioria dos artigos publicados sobre o assunto. Eles mostram que em dados de sessenta serviços selecionados no setor da construção o modelo de curva linear é o mais fidedigno na previsão de desempenho futuro. Os dois autores ainda lembram que este modelo é a curva de aprendizagem original primeiramente descrita nos anos trinta e que o modelo cúbico se ajustava melhor a dados do passado e o modelo linear se ajustam melhor aos mais recentes dados.

Nesse trabalho, utiliza-se o modelo linear por ser o mais recomendado para aplicação no setor da construção civil.

#### 4. MODELO PROPOSTO PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE APRENDIZAGEM

A escolha do serviço deve ser feita levando-se em consideração a importância do mesmo na obra como um todo e a sua repetição no decorrer da execução da obra. Este trabalho se aplica a obras repetitivas que propiciem o estudo do aumento e da variação da produtividade ao longo de sua execução. Segundo OLIVEIRA e OLIVEIRA (1999), os tipos de obras ditas repetitivas são: prédios altos (edifícios compostos por no mínimo dez pavimentos tipo), conjuntos prediais (conjuntos formados por dois ou mais blocos, com no mínimo cinco pavimentos tipo) e conjuntos habitacionais.

A escolha deve ser feita pela equipe técnica da empresa que deve optar dentre os serviços de caráter repetitivo o que apresenta maior custo com a mão de obra. Assim, a equipe poderá determinar melhor os preços dos serviços e o prazo de execução, sabendo antecipadamente o crescimento de sua produtividade.

É de fundamental importância escolher bem as turmas que participarão da pesquisa. Para que haja uma boa escolha, deve-se analisar as principais características dos componentes de cada equipe. As características da vida profissional dos operários devem ser analisadas, como a participação em treinamentos, o grau de escolaridade, o tempo de trabalho no serviço analisado, o tempo de trabalho na empresa, entre outras. Faz-se uma entrevista preenchendo um questionário para a escolha das turmas mais indicadas para as observações. Deve-se ter a preocupação de escolher operários com menos possibilidade de demissão ou mudança de turma para garantir equipes ininterruptas. O questionário é representado na tabela 1.

<b>Questionário Profissional</b>	
Nome:	
Idade:	
Grau de escolaridade:	
Tempo na empresa:	
Tempo com a equipe de trabalho:	
Tempo como profissional:	
Participação em treinamentos:	1.
	2.
	3.
Profissões anteriores:	1.
	2.
Serviço mais executado na carreira:	

Tabela 1 - Questionário Profissional.

Com o serviço e as equipes escolhidas, os tempos de execução dos serviços serão medidos. Considerar-se-á os tempos totais gastos por profissionais (pedreiro, carpinteiro, ferreiro) para efeito de cálculo. Para cada unidade de serviço executada por cada analisada deve-se preencher uma Planilha de Acompanhamento de Turmas que é demonstrada na tabela 2. O acompanhamento deve ser diário e com duas observações, uma no período da manhã e outra no período da tarde, para se saber o andamento do trabalho no seu início e fim. Deve ser marcada a quantidade horária do dia que foi destinada pelos profissionais da turma para o serviço analisado.

<b>Planilha de Acompanhamento de Turmas</b>											
Obra: (1)											
Turma:	1. (2)										
	2. (2)										
	3. (2)										
Serviço: (3)											
Unidade de execução: (4)											
Número de ordem de execução do serviço: (5)											
Data inicial: (6)						Data final: (7)					
Data	Hora ou fração										
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>
(8)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Quantidade total de horas	(10)										

Tabela 2 - Planilha de Acompanhamento de Turmas.

A Planilha de Acompanhamento de Turmas contém campos para o preenchimento de acordo com as seguintes orientações:

- (1) Nome da obra (este campo pode ser preenchido antes da fase de impressão);
- (2) Identificação do funcionário pertencente à turma;
- (3) Descrição do serviço analisado;
- (4) Identificação da unidade de execução do serviço;
- (5) Número ordinal referente à sequência de execução do serviço pela equipe;
- (6) Data em que a observação do serviço na sua unidade se iniciou;
- (7) Data em que se encerra a observação do serviço na unidade analisada;
- (8) Data de ocorrência das observações;
- (9) Campo que deve ser preenchido de acordo com a quantidade de horas de profissionais utilizada pela turma para a execução do serviço na enésima hora de serviço;
- (10) Indicação da quantidade total de horas preenchidas na planilha.

Após a obtenção dos dados com o preenchimento das planilhas, inicia-se a fase de organização do banco de dados. Esses dados darão origem aos gráficos para análise da curva de aprendizagem do serviço analisado. Para o resumo dos dados obtidos nas observações, deve-se utilizar a Planilha Resumo de Horas, representada na tabela 3.

<b>Planilha Resumo de Horas</b>	
Obra: (1)	
Turma:	1. (2)
	2. (2)
	3. (2)
	4. (2)
Serviço: (3)	
Unidade de execução: (4)	
Ordem da unidade de execução	Quantidade total de horas profissionais
(5)	(6)

Tabela 3 - Planilha Resumo de Horas.

A Planilha Resumo de Horas contém campos para o preenchimento de acordo com as seguintes orientações:

- (1) Nome da obra (este campo pode ser preenchido antes da fase de impressão);
- (2) Identificação do funcionário pertencente à turma;
- (3) Descrição do serviço analisado;
- (4) Identificação da unidade de execução do serviço;
- (5) Número ordinal referente à sequência de execução do serviço pela equipe (referente ao campo 5 de cada Planilha de Acompanhamento de Turmas);
- (6) Indicação da quantidade total de horas (campo 20 de cada Planilha de Acompanhamento de Turmas).

O gráfico que representa a curva de aprendizagem tem no eixo das ordenadas a quantidade de homens-hora por unidade (representadas no gráfico exemplo pelos números 0 a 12) e no eixo das abscissas as unidades de execução dos serviços (representadas pelas letras de A a L no gráfico exemplo). A representação gráfica será baseada nos pontos marcados no eixo cartesiano. Após a representação gráfica dos dados, deve-se adicionar a linha de tendência. No caso da utilização do *software Microsoft Excel®*, a linha de tendência é do tipo potência, para se obter a curva de aprendizagem do tipo linear. Existe a opção de exibição da equação do gráfico e do  $R^2$  no gráfico, conforme é apresentado na figura 2.

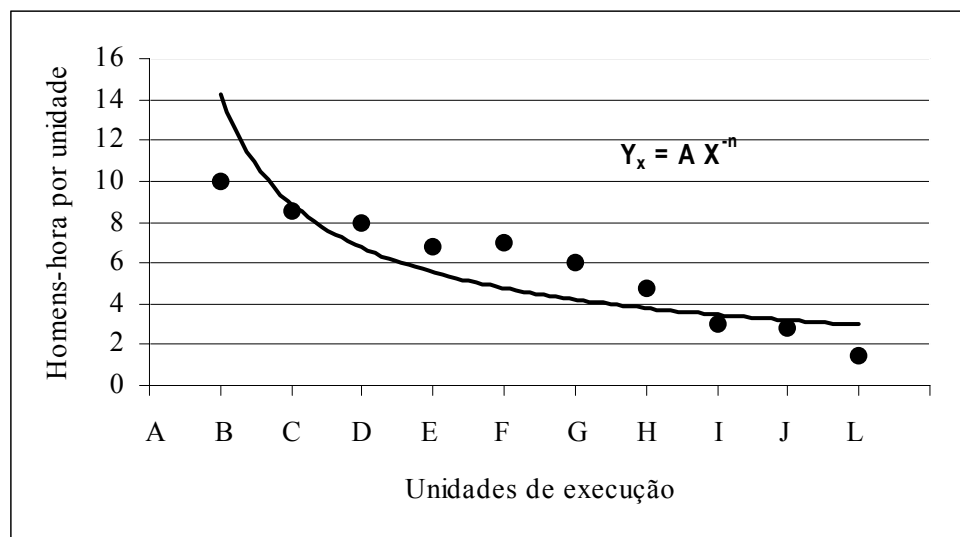


Figura 2 - Gráfico Exemplo com a Curva de Aprendizagem.

## 5. CONCLUSÕES

Após a obtenção dos dados, os índices de diminuição dos tempos gastos com a execução dos serviços serão conhecidos e a curva de aprendizagem traçada. Inicia-se, então, o cadastramento desses números, que foram colhidos para os diversos serviços, para a utilização nos planejamentos das próximas obras da construtora. Num próximo empreendimento não serão considerados os mesmos valores de produtividades para a execução de todos os locais e fases do serviço. Sabe-se que os tempos vão diminuindo e fica mais fácil determinar, com uma maior precisão, o prazo de execução do serviço. Além disso, o preço do serviço na obra nova será melhor discutido e determinado, evitando que nas suas últimas execuções os operários ganhem muito além do desejado. Isso garantirá um melhor controle de custos de mão de obra.

Atualmente, essa pesquisa se encontra na fase de coleta de dados no Edifício "Place des

*Cysne*”, da Fibra Construções Ltda., na cidade de Fortaleza-CE. Espera-se demonstrar os resultados obtidos na defesa de dissertação na Universidade Federal de Santa Catarina.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIOS GROUP INC. **Learning curves**. Obtida via internet.  
<http://www.biosgroup.com/research/curves/curves.html>, 2000.
- EVERETT, John G.; FARGHAL, Sherif H. Data representation for predicting performance with learning curves. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 123, n. 1, p. 46-52, mar. 1997.
- FARGHAL, Sherif H.; EVERETT, John G. Learning curves: accuracy in predicting future performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 123, n. 1, p. 41-45, mar. 1997.
- GATES, Marvin F.; SCARPA, M. Amerigo. Learning and experience curves. **Journal of the Construction Division**, v. 98, n. CO1, p. 79-99, mar. 1972.
- LUTZ, James D.; HALPIN, Daniel W.; WILSON, James R. Simulation of learning development in repetitive construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 120, n. 4, p. 753-759 dec. 1994.
- MARCHIORI, Fernanda Fernandes. **Estudo da produtividade e da descontinuidade no processo produtivo da construção civil: um estudo de caso para edifícios altos**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina.
- OLIVEIRA, Ricardo Rocha; OLIVEIRA, Ana Maria Santana; HAMERSKI, Araceli; MARTINI, Carlos Edebrando; DALL’OGLIO, Simone. **Metodologia para melhoria da qualidade e produtividade em obras de caráter repetitivo**. Cascavel : UNIOESTE, 1999. v. 1: Metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho.
- SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de. **Metodologia para o estudo da produtividade da mão de obra no serviço de formas para estruturas de concreto armado**. São Paulo, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- THOMAS, H. Randolph; MATHEWS, Cody T.; WARD, James G. Learning curve models of construction productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 2, p. 245-257, june 1986.
- UNITED NATIONS COMMITTEE ON HOUSING, BUILDING AND PLANNING. **Effect of repetition on building operations and processes on site**. New York, 1965.