

# Edifícios de Múltiplos Pavimentos: Análise das Curvas de Aprendizagem

**Talita S Oliveira**<sup>1</sup>

E-mail: [talitasooliveira@yahoo.com.br](mailto:talitasooliveira@yahoo.com.br)

**Sidnea E C Ribeiro**<sup>2</sup>

E-mail: [sidneaecr@gmail.com](mailto:sidneaecr@gmail.com)

**Danielle M D Oliveira**<sup>3</sup>

E-mail: [daniellemdo@gmail.com](mailto:daniellemdo@gmail.com)

**CARMEN C. RIBEIRO**<sup>4</sup>

E-mail: [carmencoutobh@gmail.com](mailto:carmencoutobh@gmail.com)

## RESUMO

Os estudos relacionados a gestão, planejamento e produtividade das obras em geral evoluíram de forma muito rápida trazendo mudanças significativas em todo processo. Os edifícios de múltiplos pavimentos foram estudados de forma mais profunda por trazer o efeito aprendizagem durante sua execução. Uma das formas de se analisar a aprendizagem e produtividade nesse tipo de edifício é com a utilização das curvas de aprendizagem. As curvas permitem prever a variação da produtividade em função do número de unidades produzidas. Neste estudo foi apresentado dois modelos de curvas, um linear e outro cúbico e através do *software* MiniTab foi realizada uma comparação entre esses dois modelos para as atividades de forma e desforma em 5 edifícios de múltiplos pavimentos de uma mesma empresa. Apesar do modelo linear ser o mais indicado por diversos autores para análises em construção civil, o modelo cúbico apresentou o melhor resultado nessa pesquisa.

## PALAVRAS-CHAVE

Planejamento. Repetição. Curva de Aprendizagem.

1 Mestranda em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH / MG

2 Doutora e Professora do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH / MG

3 Doutora e Professora do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH / MG

4 Doutora e Professora do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH / MG

## ABSTRACT

The studies related to the management, planning and productivity of constructions in general evolved very quickly bringing significant changes throughout the process. The multi-storey buildings have been studied more deeply for having the learning effect during their execution. One way to analyze learning and productivity in this type of building is by using learning curves. The curves allow predicting the variation in productivity as a function of the number of units produced. In this study, two curve models were presented, one linear and one cubic, and through the MiniTab software a comparison was made between these two models for the formwork activities in 5 multi-storey buildings of the same company. Although the linear model is the most indicated by many authors for analysis in civil construction, the cubic model presented the best result in this research.

## KEYWORDS

Planning. Repetition. Learning curve.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem se reerguendo de uma crise financeira que afetou principalmente o setor da construção civil, com isso as empresas desse segmento estão se empenhando para obter lucros e se manter estáveis no mercado. Nos últimos anos o estudo da produtividade de obras vem crescendo e ganhando espaço na literatura nacional, uma vez que os ganhos financeiros são consequências de um bom planejamento e gerenciamento da execução das obras.

As construtoras estão investindo cada vez mais em programas de qualidade e produtividade e em ferramentas de planejamento a fim de garantir controle dos custos previstos e cumprimento de prazos. Isso leva a busca de indicadores de qualidade e produtividade, que por meio da comparação com valores referenciais tornam possível obter o controle de eficiência da obra. Na construção civil esses índices são medidos geralmente pela relação homens/hora necessários para determinada atividade ou contabilizados como um todo.

Segundo Heineck (1991 apud LEITE et al., 2004) um aumento de produtividade pode ocorrer quando existe repetição de uma tarefa ou treinamento pois ocorre uma familiarização na sua execução e a experiência no processo de execução conduz a um melhor desempenho. Várias são as razões que explicam o efeito aprendido: familiarização com o trabalho; melhoria da coordenação da equipe e dos equipamentos; melhoria na coordenação para a execução das tarefas no trabalho; melhor e aumento da eficácia do gerenciamento e supervisão no dia a dia; desenvolvimento de melhores métodos de execução; melhores formas de suprimento às tarefas; e menores alterações nos trabalhos.

De acordo com Oliveira et al. (1998), para que o efeito aprendizagem realmente ocorra, é necessário que a execução do serviço seja contínua, sem interrupções prolongadas e que não haja grandes variações de equipes de operários. Fazendo uma análise do efeito de aprendizagem é possível traçar as curvas de aprendizagem, que demonstram a evolução de determinado serviço da obra. Ela relaciona

também a diminuição do tempo gasto para a execução do mesmo serviço, que se dá pela repetição da atividade fazendo com que a mesma seja aperfeiçoada e familiarizada pela equipe de produção.

Muitos pesquisadores desenvolveram modelos matemáticos ou curvas de aprendizagem, que permitem prever a variação da produtividade em função do número de unidades produzidas (repetição). Neste artigo foi apresentado dois modelos de curvas, um linear e outro cúbico, e segundo os autores Farghal e Everett (1997), o Modelo Linear prevê a melhor correlação entre desempenhos atuais e passados para os modelos e atividades testados, esse é o modelo mais usado e recomendado para construção civil. O Modelo Cúbico foi o de melhor resultado nessa pesquisa e foi elaborada uma comparação entre os mesmos. As atividades analisadas foram fôrma e desfôrma em 5 edifícios de múltiplos pavimentos de uma mesma empresa.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre os vários modelos matemáticos existentes que permitem prever a variação da produtividade em função do número de unidades produzidas são apresentados 2 modelos, o modelo linear indicado por vários autores, tais como Thomas, Mathews e Ward (1986) e o modelo cúbico.

### 2.1. Modelo Linear

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 o mesmo autor, a curva de aprendizagem original foi desenvolvida em 1936 pela T. P. Wright. A fórmula do modelo linear é representada na Equação 1.

$$Y_x = A.X^{-n} \text{ (Eq.1)}$$

- $Y_x$  é a quantidade de homem-hora/m<sup>2</sup> médio;
- $X$  é o pavimento.

Segundo Thomas et al. (1986), a Equação 1 também pode ser apresentada de forma logarítmica, conforme representada na Equação 2

$$\log Y_x = \log A - n \log X \text{ (Eq.2)}$$

### 2.2. Modelo Cúbico

Apesar do Modelo Linear apresentado ser o mais adotado e indicado, em estudos da construção civil, o Modelo Cúbico (Equação 3) também é muito utilizado em várias pesquisas.

$$Y_x = a + bx + cx^2 + dx^3 \text{ (Eq.3)}$$

- $Y_x$  é a quantidade de homem-hora/m<sup>2</sup> médio;
- $X$  é o pavimento.

### 2.3. Análise Estatística

A análise estatística em obras, pode ser definida como escolha e tratamento dos dados e através dela é possível determinar o quão confiável são as conclusões. Uma das formas de fazer análise estatística é utilizando as equações de regressão. Segundo Mergh (2019), elas são importantes para avaliar a quantidade de variabilidade dos dados explicada pelos modelos apresentados. Esta avaliação é realizada por meio do coeficiente de determinação  $R^2$ .

$R^2$  é uma medida fornecida pelo próprio software MiniTab que representa a porcentagem de variação na resposta que é explicada pelos modelos, ou seja, mostra o quão bem o modelo ajusta os dados. Ele é calculado como 1 menos a razão da soma dos quadrados dos erros (que é a variação que não é explicada pelo modelo) para a soma total dos quadrados (que é a variação total no modelo). Para os valores de  $R^2$  quanto mais próximo de 100%, mais assertivo é o modelo escolhido.

Segundo Oliveira et al. (1998), “ $S$ ” é uma taxa que estabelece a inclinação da curva e quanto menor a porcentagem da taxa “ $S$ ”, maior é o

aprendizado. Além disso o software MiniTab fornece S para representar o desvio padrão da distância entre os valores dos dados e os valores ajustados, e para avaliar se o modelo descreve bem a resposta. A medida de S é em unidades da variável de resposta e representa o quão longe os valores de dados caem dos valores ajustados.

**3. METODOLOGIA**

Esse estudo exploratório foi realizado por meio de estudo de caso com objetivo de analisar a produtividade no sentido da repetição. Foram feitas análises utilizando o modelo linear e o modelo cúbico, buscando identificar qual melhor descreveria o efeito de aprendizagem de 5 obras de edifícios de vários pavimentos em Belo Horizonte, de uma mesma empresa com as características descritas conforme Quadro 01.

Quadro 01 – Dados Obras

DADOS OBRAS					
	OBRA A	OBRA B	OBRA C	OBRA D	OBRA E
Número de pavimentos	26	20	16	16	20
Área pavimento tipo (m²)	355,66	329,37	425,25	444,56	382,33
Quantidade de carpinteiros	18	22	17	22	20

Fonte: Empresa analisada (2019)

Após a definição das unidades-caso, das atividades analisadas (fôrma e desfôrma) e determinação do número de casos buscou-se estabelecer o número de homens hora consumido por m² e seus valores médios até a repetição. Em seguida, utilizando o software MiniTab, através das equações de regressão é identificada a curva mais adequada para atividade analisada no artigo e feita a comparação entre a curva escolhida e a mais indicada para construção civil, ambas apresentadas na revisão bibliográfica. Com a coleta de dados, percebe-se que o número de dias gasto para execução dos pavimentos diminui conforme se aumenta a repetição até o momento em que ele se estabiliza.

**4. RESULTADOS**

Procurou-se estabelecer o número de homens hora consumido por m² do pavimento e seus valores médios até a repetição, conforme apresentado no Quadro 02. Segundo Agnoletto et al. (2010), esses valores permitem a criação de

índices de referência, facilitando a comparação entre os edifícios analisados.

Quadro 02 – Quantidade Hh/m²

HOMEM*HORA/M²											
PAVIMENTO TIPO	OBRA A	OBRA A (médio)	OBRA B	OBRA B (médio)	OBRA C	OBRA C (médio)	OBRA D	OBRA D (médio)	OBRA E	OBRA E (médio)	
1	4,01	4,01	7,05	7,05	5,28	5,28	8,27	8,27	7,83	7,83	
2	3,56	3,79	5,88	6,47	4,57	4,93	6,10	7,19	5,52	6,67	
3	3,12	3,56	5,88	6,27	3,17	4,34	4,79	6,39	4,14	5,83	
4	3,12	3,45	5,88	6,17	2,81	3,96	3,92	5,77	4,14	5,41	
5	3,12	3,38	5,88	6,11	2,81	3,73	3,92	5,40	4,14	5,16	
6	3,12	3,34	5,88	6,07	2,81	3,58	3,92	5,15	4,14	4,99	
7	3,12	3,31	5,88	6,05	2,81	3,47	3,92	4,98	4,14	4,87	
8	3,12	3,28	5,88	6,02	2,81	3,39	3,92	4,84	4,14	4,78	
9	3,12	3,27	5,88	6,01	2,81	3,32	3,92	4,74	4,14	4,71	
10	3,12	3,25	5,88	6,00	2,81	3,27	3,92	4,66	4,14	4,65	
11	3,12	3,24	5,88	5,98	2,81	3,23	3,92	4,59	4,14	4,60	
12	3,12	3,23	5,88	5,98	2,81	3,20	3,92	4,54	4,14	4,56	
13	3,12	3,22	5,88	5,97	2,81	3,17	3,92	4,49	4,14	4,53	
14	3,12	3,21	5,88	5,96	2,81	3,14	3,92	4,45	4,14	4,50	
15	3,12	3,21	5,88	5,96	2,81	3,12	3,92	4,41	4,14	4,48	
16	3,12	3,20	5,88	5,95	2,81	3,10	3,92	4,38	4,14	4,46	
17	3,12	3,20	5,88	5,95					4,14	4,44	
18	3,12	3,19	5,88	5,94					4,14	4,42	
19	3,12	3,19	5,88	5,94					4,14	4,41	
20	3,12	3,18	5,88	5,94					4,14	4,40	
21	3,12	3,18									
22	3,12	3,18									
23	3,12	3,18									
24	3,12	3,17									
25	3,12	3,17									
26	3,12	3,17									

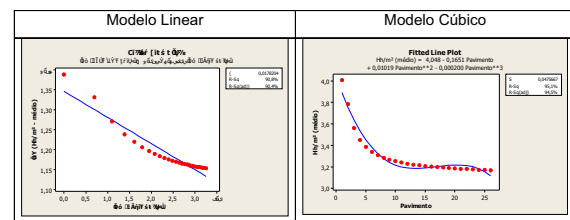
Fonte: Elaborado pela autora

Foram elaborados gráficos de regressões do efeito aprendizagem por obra, durante a execução das atividades escolhidas, para comparação dos modelos apresentados. Como já comparado por Agnoletto (2010) em sua pesquisa, os valores médios possuem melhor resultado, com coeficiente de determinação mais alto, por isso os gráficos foram elaborados utilizando apenas os valores médios.

**4.1. Obra A**

A obra A composta de 26 pavimentos tipos de área 355,56m², e com 18 carpinteiros trabalhando contou com os resultados apresentados nos gráficos da Figura 01.

Figura 01 – Comparação Modelos Curva de Aprendizagem

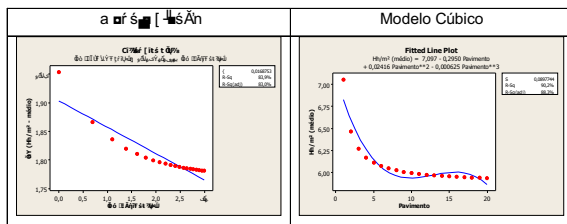


Fonte: Elaborada pela autora

**4.2 Obra B**

A obra B composta de 20 pavimentos tipos de área 329,37m², e com 22 carpinteiros trabalhando contou com os resultados apresentados nos gráficos da Figura 02.

Figura 02 – Comparação Modelos Curva de Aprendizagem

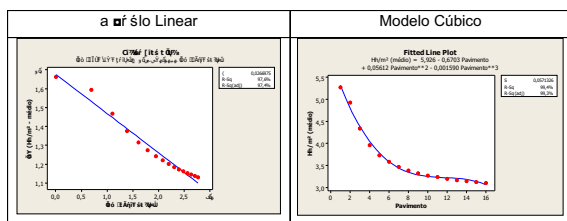


Fonte: Elaborada pela autora

4.3. Obra C

A obra C composta de 16 pavimentos tipos de área 425,25m<sup>2</sup>, e com 17 carpinteiros trabalhando contou com os resultados apresentados nos gráficos da Figura 03.

Figura 03 – Comparação Modelos Curva de Aprendizagem

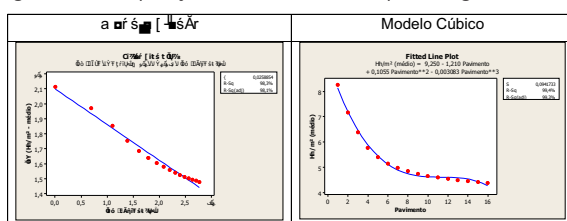


Fonte: Elaborada pela autora

4.4. Obra D

A obra D composta de 16 pavimentos tipos de área 444,56m<sup>2</sup>, e com 22 carpinteiros trabalhando contou com os resultados apresentados nos gráficos da Figura 04.

Figura 04 – Comparação Modelos Curva de Aprendizagem

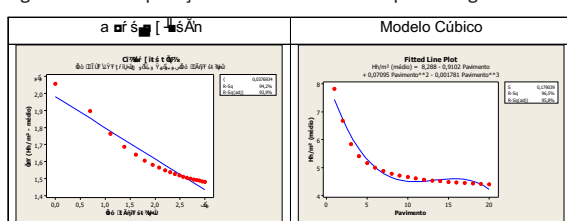


Fonte: Elaborada pela autora

4.5. Obra E

A obra E composta de 20 pavimentos tipos de área 382,33m<sup>2</sup>, e com 20 carpinteiros trabalhando contou com os resultados apresentados nos gráficos da Figura 05.

Figura 05 – Comparação Modelos Curva de Aprendizagem



Fonte: Elaborada pela autora

É possível observar que nos gráficos os valores dos coeficientes de determinação das curvas apresentam alguns pontos de dispersão fora da curva, mas em construção civil isso é normal. Para melhor comparação entre os resultados descritos acima, o Quadro 03 apresenta as equações, os valores obtidos de S e R<sup>2</sup>.

Quadro 03 – Quadro Comparativo

QUADRO COMPARATIVO			
	Modelo Linear	Modelo Cúbico	
OBRA A	Equação Regressão	$\ln Y = 1,346 - 0,06556 \ln X$	$Y = 4,048 - 0,1651x + 0,01019x^2 - 0,000200x^3$
	S	0,0178204	0,0475667
	R <sup>2</sup>	90,80%	95,10%
OBRA B	Equação Regressão	$\ln Y = 1,903 - 0,04607 \ln X$	$Y = 7,097 - 0,2950x + 0,02416x^2 - 0,000625x^3$
	S	0,0168753	0,0897744
	R <sup>2</sup>	83,90%	90,20%
OBRA C	Equação Regressão	$\ln Y = 1,676 - 0,2080 \ln X$	$Y = 5,926 - 0,6703x + 0,05612x^2 - 0,001590x^3$
	S	0,0266975	0,0571326
	R <sup>2</sup>	97,60%	99,40%
OBRA D	Equação Regressão	$\ln Y = 2,099 - 0,2379 \ln X$	$Y = 9,250 - 1,210x + 0,1055x^2 - 0,003083x^3$
	S	0,0258854	0,0941733
	R <sup>2</sup>	98,30%	99,40%
OBRA E	Equação Regressão	$\ln Y = 1,981 - 0,1826 \ln X$	$Y = 8,288 - 0,9102x + 0,07095x^2 - 0,001781x^3$
	S	0,0376934	0,179039
	R <sup>2</sup>	94,20%	96,50%

Fonte: Elaborada pela autora

Como pode-se observar no quadro 03, destacado em vermelho, o Modelo Linear obteve bons resultados, mas com valores sempre inferior ao Modelo Cúbico, destacado em verde, que obteve melhor resultado em todas as obras analisadas. Pode-se observar que em duas obras (C e D) os resultados do Modelo Cúbico foram excelentes, com valores de 99,4% e o pior valor foi na obra B de 90,2% sendo considerado ainda um ótimo resultado. Já analisando o Modelo Linear obteve-se resultado excelente na obra D de 98,3% ainda assim abaixo do resultado obtido pelo Modelo Cúbico e o pior valor como o Cúbico, também foi na obra B de 83,9%. Logo, o Modelo Cúbico é considerado mais assertivo em análises de produtividade e planejamento para a atividade estudada nesse artigo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que por se tratar de atividades rápidas, a Taxa de Aprendizagem para as mesmas foi alta, isso significa que as atividades de fôrma e desfôrma apresentam um aprendizado baixo.

Através do comparativo entre os modelos lineares apresentados conclui-se que apesar do Modelo Linear apresentar bons resultados e ser o mais recomendado para a construção civil em geral, cada atividade pode ter um modelo que descreva melhor o comportamento da aprendizagem. Isso traz mais acertabilidade para o planejamento de uma obra. Para a atividade analisada nesse estudo, de fôrma e desfôrma, o Modelo Cúbico apresentou resultados mais realistas em todas as obras estudadas e para um planejamento mais detalhado passa a ser o mais recomendado.

Ainda assim, para um planejamento e controle de obras adequado, podem existir outros parâmetros que podem influenciar nestes resultados, e que também devem ser levados em consideração. Alguns deles podem estar fora desta pesquisa, mas é importante que sejam descritos, dentre eles:

- facilidade/dificuldade de execução (construtibilidade);
- organização do canteiro de obra;
- projetos compatibilizados;
- continuidade da execução da estrutura.

Segundo Agnoletto (2010), uma contribuição importante que este tipo de pesquisa pode trazer para o planejamento de obras atual é a diferença entre um planejamento tradicional para projetos de edifícios com características repetitivas, considerando a produtividade, tempo de execução e custos constantes, sem considerar o efeito aprendizagem e um planejamento estratégico e mais refinado para edifícios com tais características, considerando-se todos os conceitos e fenômenos descritos nesta pesquisa, para fins de previsão e controle de tempo de execução, custos e produtividade.

Sendo assim, com a academia realizando cada vez mais pesquisas nessa área, o planejamento diferenciado para edifícios que contem repetição passa a ganhar em qualidade e acertabilidade quando comparado ao planejamento atual utilizado por gestores e engenheiros de planejamento de empresas construtoras.

## 6. AGRADECIMENTOS

Como autora desta pesquisa junto as minhas

orientadora e coorientadora, gostaria de agradecer à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior), e também à coordenação do DEMC (Departamento de Engenharia de Materiais e Construção Civil) da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNOLETTI, Rafael Antônio. **ANÁLISE DO EFEITO APRENDIZAGEM NA EXECUÇÃO DA ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO DE PAVIMENTOS-TIPO**. 2010. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FARGHAL, Sherif H.; EVERETT, John G. **Learning curves: accuracy in predicting future performance**. Journal of Construction Engineering and Management, 1997. V. 123, p. 41-45.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002. 176 p.

HEINECK, L. F. **Efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração no aumento da produtividade na alvenaria**. Anais do III Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil, Florianópolis-SC, 1991.

apud LEITE, M. O.; POSSAMAI, O., HEINECK, L. F. M. **A utilização das curvas de aprendizagem no planejamento da Construção Civil**. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004. Florianópolis. Anais. Florianópolis: XXIVENEP, 2004.

MERGH, L. S. **Análise de Indicadores da Gestão de Produção em Obras Corporativas**. 2019. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFMG, Belo Horizonte - MG, 2018.

OLIVEIRA, R. R.; DALL'OGGIO, S.; HAMERSKI, A.; MARTINI, C. E. **Estudo de fatores que afetam a produtividade em obras repetitivas**. In: Congresso Latino-Americano de Tecnologia e Gestão da Produção de Edifícios, 1998. São Paulo. Anais. São Paulo: CLATGPE, 1998.

Thomas, H.; R., MATHEWS, C. T., WARD, J. G. **Learning Curve Models of Construction Productivity**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 112, Nº. 2, June 1986, pp 245-258.