

# Modelando o Tempo de Execução de Tarefas em Projetos: uma Aplicação das Curvas de Aprendizagem

## RESUMO

*Este documento aborda a modelagem do tempo de execução de tarefas em projetos, onde a tomada de decisão sobre a alocação destes tempos corre por conta da análise do tempo mais provável de finalização da tarefa. No entanto, a coleta de dados para os tempos de execução pode advir: pela experiência do gerente de produção, pela consulta aos profissionais que realizarão as atividades ou pela construção matemática (modelagem), que é proposta deste material. Para tanto, utilizou-se as curvas de aprendizagem como ferramental para o tratamento e análise dos dados, contribuindo para a padronização e construção dos modelos empíricos.*

Palavras-Chave: Curvas de Aprendizagem. Tempo de Execução de Tarefas em Projetos. Modelagem Matemática.

## 1. INTRODUÇÃO

A competitividade do mundo moderno fez surgir à necessidade de o homem estar cada vez mais preparado para o mercado de trabalho. As empresas buscam o profissional apto à tomada de decisões, que possua conhecimentos generalistas e que suas decisões sejam baseadas em tecnologia, comprovação matemática (modelos otimizados) ou consulta a técnicos experientes (AGUIAR et al., 2006).

A teoria a cerca das curvas de aprendizagem foi divulgada pela primeira vez em 1936, por meio de um artigo de T. P. Wright, intitulado *Factors Affecting the Cost of Airplanes*, publicado no *Journal of the Aeronautical Science* (STEVENSON, 2001). Desde então, muito se registrou na literatura sobre a necessidade de considerar a curva de aprendizagem na elaboração de projetos produtivos.

Ampla bibliografia sobre o assunto se faz disponível atualmente, no entanto, não é evidente um material que aborde de forma clara e direta, a influência das curvas de aprendizagem para a construção de modelos matemáticos que representam a demanda de mão-de-obra e obtenção dos tempos de execução de suas tarefas.

No planejamento de projetos a tomada de decisão a cerca da alocação de mão-de-obra e do tempo de execução das atividades corre por conta de uma análise do tempo mais provável de finalização de uma tarefa. Contudo, a coleta de dados a respeito destes tempos de execução pode se dar, pela experiência do gerente de produção, pela consulta aos próprios profissionais que realizarão as atividades ou ainda pela comprovação matemática (desenvolvimento de modelos), que se tornou a motivação deste material.

Este artigo ilustra um modelo matemático que comprova a falta de correlação entre dobrar o volume de mão-de-obra de uma operação e seu tempo de execução ser reduzido na mesma proporção. Embora pudesse parecer lógico que tal situação pudesse ocorrer na prática, à exigência de aprendizado e treinamento impede a sua confirmação.

Assim, o presente estudo propõe um modelo de cálculo de tempo de produção (execução de tarefas), utilizando as curvas de aprendizagem em uma aplicação de cálculo do tempo de montagem de sistemas de refrigeração em supermercados de Curitiba e São Paulo.

A inserção das curvas de aprendizado no dimensionamento de processos produtivos paralelos se justifica, dada a sua aplicabilidade por profissionais ligados à área de produção.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Os conceitos prever, organizar, comandar, coordenar e controlar projetos segue definições muitas vezes distintas na macroeconomia (LOESCH & HEIN, 1999). Neste trabalho utilizaremos alguns desses conceitos como objetivos a serem atingidos. A Figura-1 a seguir ilustra as fases, questionamentos e respostas de um projeto.

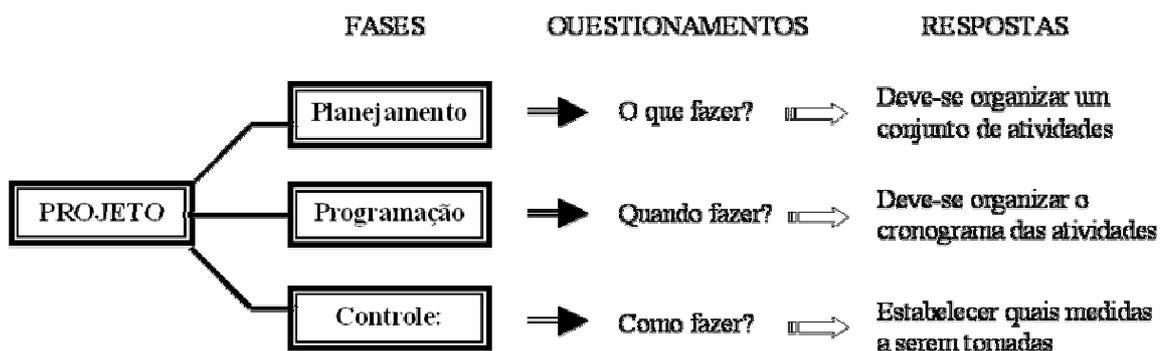


Figura 1. Fases, questionamentos e respostas para um projeto. (LOESCH & HEIN, 1999)

Na Tabela 1 a seguir está ilustrado um exemplo de pequeno projeto.

Tabela 1. Exemplo de pequeno projeto.

Atividade	Dependência	Tempo de Execução (Semanas)		
		A: Otimista	B: Provável	C: Pessimista
A	---	2	5	8
B	---	6	7	8
C	---	2	11	14
D	A	8	10	24
E	B, C	1	3	11
F	B	3	7	17
G	D, E	11	11	11
H	B, C	4	14	18
I	F	10	10	10

Na primeira coluna estão inseridas as atividades que serão realizadas no planejamento do projeto, na segunda as dependências imediatas destas atividades, e na seqüência os tempos de execução (otimista, provável e pessimista) para cada atividade. O desenvolvimento gerencial do projeto pode ser realizado utilizando as técnicas de caminho crítico (Redes P.E.R.T.) ou algum software de gestão de projetos (por exemplo, Microsoft MS-Project). Entretanto, o objetivo deste material é focalizar a gestão dos tempos de execução das atividades.

Logo, como foram definidos os tempos de execução para cada atividade? Baseado na percepção e experiência do gestor, através de pesquisa? Este trabalho ilustrou a modelagem de um experimento segundo a ótica das curvas de aprendizagem construindo modelos que

servem de referência para a tomada de decisão na determinação do tempo de execução de tarefas.

## 2.1. APRENDIZAGEM X REPETIÇÃO

Não se aprende a tocar um instrumento musical ou falar outro idioma em um dia, em uma semana, talvez em um ano. É preciso tempo, dedicação e muita prática. Da mesma forma, para aprender a fazer um trabalho, é preciso tempo, quanto mais prática se adquire, mais rápido e com mais qualidade se consegue produzir.

Algumas atividades podem ser aprendidas mais rapidamente (exemplo: montagens simples de produtos). Em dez dias provavelmente, um auxiliar de produção, recém-contratado, consegue atingir a mesma produtividade de seus colegas em uma das linhas de produção de uma empresa fabricante de fogões a gás domésticos. A tarefa não é difícil, mesmo assim, o trabalhador necessita de um tempo de adaptação. Às vezes, é necessária adaptação física, como quando uma pessoa inicia sessões de ginástica em uma academia. Nas primeiras semanas, o corpo e músculos doem, contudo com o passar do tempo o corpo adquire forma.

Tarefas mais complexas ou mais difíceis de executar demandam mais tempo para que se consiga um bom nível de produtividade. Para que uma auxiliar de costura recém-contratada atinja a produtividade de uma costureira (em uma indústria de confecções), é preciso um bom montante de tempo. A prática tem demonstrado a necessidade de períodos de três a seis meses, contando com a vontade que a pessoa tem de aprender. Mesmo um professor, quando repete o mesmo curso mais de uma vez, adquire mais prática no assunto, vai sedimentando o conhecimento e as aulas ficam cada vez melhores.

Sempre haverá aprendizagem quando a mão-de-obra estiver envolvida. Assim, quando se trata de estudos de tempos e processos, é preciso levar em conta a maneira como a aprendizagem acontece, para que possa ser previsto o impacto da aprendizagem nos tempos e custos de processos. Quanto mais vezes uma tarefa é repetida, mais o trabalhador se aperfeiçoa. Portanto, a tarefa poderá ser feita cada vez mais rapidamente, até que seja atingida a “maestria” ou ponto de equilíbrio. A repetição de certas atividades conduz a um aumento de produtividade.

## 2.2. CURVAS DE APRENDIZAGEM

As curvas de aprendizagem são registros gráficos da redução no custo, à medida que a mão-de-obra ganha experiência e aumenta a produção no mesmo intervalo de tempo. Elas podem expressar as características de um bom aprendiz. Em fevereiro de 1936, quando Wright publicou seus estudos demonstrando que o custo da mão-de-obra diminuía na construção de um avião com o passar do tempo (STEVENSON, 2001). Ele observou que o tempo para fazer o segundo avião chegava a 80% do primeiro e o tempo para construir o quarto avião era 80% do tempo para fazer o segundo avião.

Davis et al. (2006) definem a curva de aprendizagem como sendo uma linha exibindo o relacionamento entre o tempo de produção por unidade e o número cumulativo de unidades produzidas, revalidando sua ampla variedade de aplicações no mundo dos negócios. Segundo eles, a curva de aprendizagem pode ser aplicada aos indivíduos, serviços e principalmente às organizações.

Brown et al. (2005) fazem uma consideração adicional sobre o ingrediente inestimável da aprendizagem: “A aprendizagem indubitavelmente tem um impacto em importantes áreas

dos processos de produção. Assim, seria bastante sensato que as empresas alocassem tempo para a aprendizagem em vez de ficarem constantemente ocupadas – em geral com as coisas erradas”.

Meredith e Shafer (2002) alertam que a redução dos tempos de realização da tarefa não se deve apenas à aprendizagem, mas também a outros fatores correlacionados, como melhores ferramentas e métodos de trabalho. Contudo, em contrapartida poder-se-ia argumentar que a melhoria de ferramentas e de métodos também decorre da aprendizagem.

Especialistas procuraram um padrão estatístico que pudesse expressar a previsibilidade da curva. Chegaram à conclusão que, a cada vez que o número de repetições é dobrado, ocorre um declínio percentual constante (não proporcional) no tempo de execução da tarefa (REIS E SANDERS, 2002). Também observaram que a diminuição do tempo obtida pelo aprendizado por repetição, normalmente varia entre 10% e 20% (PEINADO E GRAEML, 2007).

Entretanto, por convenção, as curvas de aprendizagem são conhecidas em função do complemento destas taxas de diminuição, ou seja, uma curva de 80% apresenta decréscimos no tempo de 20% a cada vez que o número de repetições dobra. Uma curva de aprendizagem de 90% apresenta um decréscimo no tempo de execução de 10% a cada vez que o número de repetições dobra. Teoricamente, uma curva de 100% não apresentaria nenhuma melhoria com o passar do tempo e repetição das tarefas.

### 3. RESULTADOS

Para melhorar a compreensão a cerca das curvas de aprendizagem, registramos o caso de uma empresa prestadora de serviços de refrigeração em Curitiba e São Paulo.

#### 3.1. CÁLCULO DE TEMPO DE PRODUÇÃO UTILIZANDO CURVAS DE APRENDIZAGEM

O gerente de operações observou que o tempo gasto pelos seus técnicos para montar a segunda câmara frigorífica, em um novo supermercado, foi de 90 horas de trabalho. Poucas semanas antes, o tempo gasto para montar a primeira câmara havia sido de 100 horas.

Ao valer-se do conceito de curva de aprendizagem e baseando-a em 90%, o gerente inferiu que o tempo para montar uma quarta câmara no supermercado seria de 81 horas, ou seja, 90% do tempo gasto para montar a segunda câmara. Já o tempo para montar a oitava câmara seria de 72,9 horas. Em síntese, ele observou a caracterização da curva de aprendizagem no processo de montagem de câmaras frigoríficas e constatou que a cada duplicação da produção acumulada, o tempo de produção reduzia de modo a representar 90% do tempo anterior conforme pode ser observado na tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Dados das montagens das câmaras frigoríficas: base 90%.

Número de câmaras frigoríficas produzidas	Tempo de montagem por unidade
1	100 horas
2	90% de 100 = 90 horas
4	90% de 90 = 81 horas
8	90% de 81 = 72,9 horas
16	90% de 72,9 = 65,6 horas
32	90% de 65,6 = 59 horas

Observando a tabela 2, podemos antever (por exemplo) o tempo de montagem para a 32ª câmara frigorífica (59 horas). A figura 2 a seguir ilustra como o tempo utilizado para a realização de uma tarefa diminui com a aprendizagem por repetição.

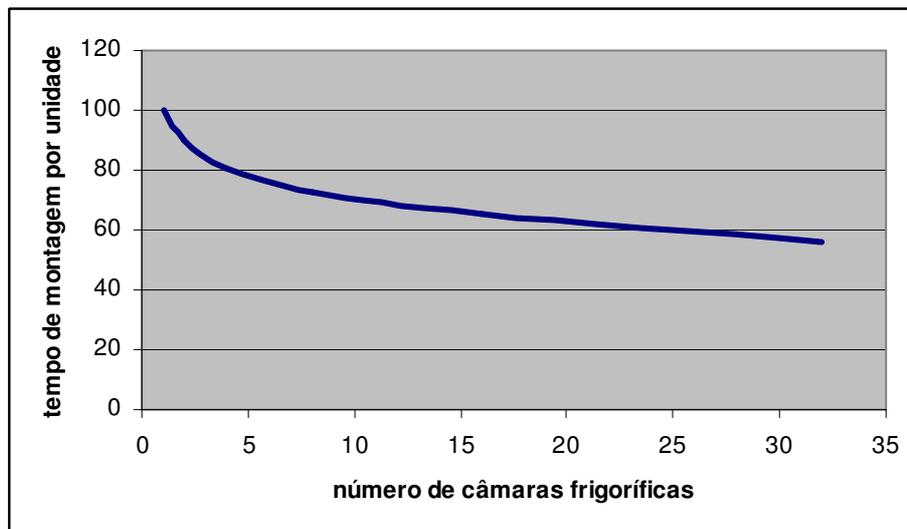


Figura 2. Curvas de aprendizagem de câmaras frigoríficas 90%

A representação pictórica das curvas de aprendizagem pode contribuir tanto como facilitador na análise dos dados, como também para calcular o tempo de trabalho de uma atividade qualquer. Pode-se eleger para aprendizagem um padrão ou comportamento: com o passar do tempo, assim que o número de vezes de uma tarefa é dobrado, o tempo de conclusão da tarefa decai a uma taxa parcialmente constante.

### 3.2. MODELAGEM DO SISTEMA APLICADO

Existem duas formas de se fazer o cálculo dos valores dos tempos de montagem das câmaras frigoríficas, considerando a curva de aprendizagem. A primeira delas é utilizar a fórmula 1 (modelo) a seguir, desenvolvido para este cálculo.

$$T_n = T_1 \times n^b \quad (1)$$

Onde:

$T_n$  = tempo para fazer a  $n$ ésima unidade

$T_1$  = tempo para fazer a primeira unidade

$n$  = número da unidade produzida

$b$  = quociente entre o logaritmo natural do percentual de aprendizagem e o logaritmo natural de 2.

No caso das câmaras frigoríficas em questão, o tempo de montagem da quinta unidade, por exemplo, será de 78,4 horas como relata o desenvolvimento da fórmula 1 modelada anteriormente.

$$T_5 = 100 \times (5^{\ln 0,9 / \ln 2}) = 100 \times (5^{-0,105 / 0,693}) = 100 \times 0,784 = 78,4 \text{ horas}$$

Pode-se também utilizar uma tabela convencional muito empregada no cotidiano empresarial. As tabelas 3 e 4 (modificadas) a seguir ilustram os coeficientes da curva de aprendizagem.

Tabela 3. Coeficientes da curva de aprendizagem (*nb*). Stevenson (2001) modificada.

Número	70%		75%		80%		85%		90%		95%	
	Tempo		Tempo		Tempo		Tempo		Tempo		Tempo	
	Por unid.	Total										
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,700	1,700	0,750	1,750	0,800	1,800	0,850	1,850	0,900	1,900	0,950	1,950
3	0,568	2,268	0,634	2,384	0,702	2,502	0,773	2,623	0,846	2,746	0,922	2,872
4	0,490	2,758	0,563	2,946	0,640	3,142	0,723	3,345	0,810	3,556	0,903	3,774
5	0,437	3,195	0,513	3,459	0,596	3,738	0,686	4,031	0,783	4,339	0,888	4,662
6	0,398	3,593	0,475	3,934	0,562	4,299	0,657	4,688	0,762	5,101	0,876	5,538
7	0,367	3,960	0,446	4,380	0,534	4,834	0,634	5,322	0,744	5,845	0,866	6,404
8	0,343	4,303	0,422	4,802	0,512	5,346	0,614	5,936	0,729	6,574	0,857	7,261
9	0,323	4,626	0,402	5,204	0,493	5,839	0,597	6,533	0,716	7,290	0,850	8,111
10	0,306	4,932	0,385	5,589	0,477	6,315	0,583	7,116	0,705	7,994	0,843	8,954

Tabela 4. Coeficientes da curva de aprendizagem (*nb*). Stevenson (2001) modificada.

Número	70%		75%		80%		85%		90%		95%	
	Tempo		Tempo		Tempo		Tempo		Tempo		Tempo	
	Por unid.	Total										
20	0,214	7,407	0,288	8,828	0,381	10,48	0,495	12,40	0,634	14,60	0,801	17,13
30	0,174	9,305	0,244	11,44	0,335	14,02	0,450	17,09	0,596	20,72	0,777	25,00
40	0,150	10,90	0,216	13,72	0,305	17,19	0,421	21,42	0,571	26,54	0,761	32,68
50	0,134	12,30	0,197	15,77	0,284	20,12	0,400	25,51	0,552	32,14	0,749	40,22
60	0,122	13,57	0,183	17,66	0,268	22,86	0,383	29,41	0,537	37,57	0,739	47,65
70	0,112	14,73	0,171	19,43	0,255	25,47	0,369	33,16	0,524	42,87	0,730	54,99
80	0,105	15,81	0,162	21,09	0,244	27,95	0,358	36,74	0,514	48,05	0,723	62,25
90	0,099	16,83	0,154	22,67	0,235	30,34	0,348	40,32	0,505	53,14	0,717	69,45
100	0,094	17,79	0,148	24,17	0,227	32,65	0,340	43,75	0,497	58,14	0,711	75,85
200	0,065	25,48	0,111	36,81	0,182	52,72	0,289	74,78	0,447	104,9	0,676	145,6
300	0,053	31,34	0,094	46,94	0,159	69,66	0,263	102,2	0,420	148,2	0,656	212,1
400	0,046	36,26	0,083	55,74	0,145	84,84	0,245	127,5	0,402	189,2	0,642	277,0
500	0,041	40,57	0,076	63,67	0,135	98,89	0,233	151,4	0,389	228,7	0,631	340,6
1000	0,029	57,40	0,057	96,07	0,108	158,6	0,198	257,9	0,350	412,1	0,600	674,4

As tabelas que podem ser montadas na planilha eletrônica Microsoft Excel®, apresentam os valores de *nb* tabelados para diferentes curvas de aprendizagem, facilitando assim os cálculos. Para se determinar o tempo para fazer a *n*ésima unidade, dada a curva que se aplica ao caso, utiliza-se o valor *nb* multiplicado pelo tempo de produção da primeira unidade. O outro coeficiente é um valor cumulativo. Por meio dele, podem-se calcular o tempo cumulativo necessário para produzir todas as *n* primeiras unidades. A fórmula 2 a seguir ilustra este modelo.

$$T_n^* = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n \quad (2)$$

Onde:

$T_n^*$  = tempo para fazer as *n* primeiras unidades  
 $T_1$  = tempo para fazer a primeira unidade

nb = coeficiente tabelado (coluna do tempo total)

O tempo cumulativo para a produção de 5 câmaras frigoríficas pode ser observado a seguir.

$$T_5^* = 100 + 90 + 84,6 + 81 + 78,4 = 434 \text{ horas}$$

Que representa o somatório dos tempos de produção para cada câmara frigorífica. Outro modelo pode expressar o tempo de duração acumulado das n primeiras unidades, sendo comumente utilizado em calculadoras científicas. A expressão para o modelo pode ser verificada na fórmula 3, abaixo.

$$T_n^* = \sum_{i=1}^n \left( T_1 \times i^{\frac{\ln \%}{\ln 2}} \right) \quad (3)$$

Onde:

$T_n^*$  = tempo para fazer as n primeiras unidades  
 T1 = tempo para fazer a primeira unidade  
 n = enésima unidade  
 ln% = logaritmo natural da porcentagem da curva  
 ln2 = logaritmo natural de dois

Em algumas situações pode ser necessário calcular o tempo médio de produção das primeiras n unidades, para fazer um orçamento, por exemplo. Se for orçado o tempo de mão-de-obra da primeira unidade, o preço será alto demais e se for orçado o tempo da mão-de-obra para a última unidade, o preço será baixo demais. Assim, determina-se um valor médio conforme descrito na fórmula 4 a seguir.

$$\bar{T}_n^* = \frac{T_n^*}{n} \quad (4)$$

Onde:

$T_n^*$  = tempo para fazer as n primeiras unidades  
 n = número de unidades consideradas

Para o exemplo aplicado anteriormente encontramos um tempo médio de 86,8 horas como mostra o resultado a seguir.

$$\bar{T}_5^* = \frac{434}{5} = 86,8 \text{ horas}$$

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades em um projeto determinam diferentes durações de tempo. Como o objetivo principal geralmente é a redução nos tempos de execução das atividades e por conseqüência em seus custos, procura-se o aceleração das atividades, que por sua vez,

podem contribuir com a ascensão dos custos diretos. Portanto é de fundamental importância à busca por conceitos e ferramentas de gestão que possam dar suporte ao tomador de decisões.

#### 4.1. CONCLUSÕES

Este trabalho ilustrou a modelagem de um experimento segundo a ótica das curvas de aprendizagem, construindo modelos (tempo para fazer a  $n$ -ésima unidade, tempo acumulado para produzir as primeiras  $n$  unidades e tempo médio de produção das  $n$  primeiras unidades), que servem de referência para a tomada de decisão segura para os tempos de execução de tarefas e mão-de-obra.

Como uma das principais aplicações das curvas de aprendizagem é o planejamento das necessidades de mão-de-obra. Este trabalho embasou como o conhecimento do comportamento do aprendizado por repetição pode auxiliar os gerentes de produção a tomar decisões sobre a sua real necessidade. Naturalmente, os gerentes sabem de antemão que a produção aumenta à medida que os trabalhadores adquirem maior prática. A contribuição da curva de aprendizagem consiste em uma forma matemática de ajudar a realizar estimativas de melhoria, com uma base menos intuitiva.

#### 4.2. SUGESTÕES

A teoria relativa à curva de aprendizagem sugere sua importância em relação a uma série de aplicações, tais como:

Curvas de aprendizagem aplicadas ao planejamento de custos e orçamentos;

Curvas de aprendizagem aplicadas à realização de orçamentos e negociações.

#### 5. REFERÊNCIAS

AGUIAR, G. F.; AGUIAR, B. C. X. C.; WILHELM, V. E. Obtenção de Índices de Eficiência para a Metodologia Data Envelopment Analysis Utilizando a Planilha Eletrônica Microsoft Excel. Revista da Vinci, Curitiba, v.3, n.1, p. 157-169, 2006.

BROWN, S. et al. Administração da Produção e Operações: Um enfoque estratégico na manufatura e nos serviços. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. Fundamentos da Administração da Produção. Porto Alegre: Bookman, 2001.

LOESCH, C.; HEIN, N. Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos. Blumenau: Ed.FURB, 1999.

MAITAL, S. Economia para Executivos: Dez ferramentas essenciais para empresários e gerentes. Rio de Janeiro: Campus, 1996.

MEREDITH, J. R.; SHAFER, S. M. Administração da Produção para MBA's. Porto Alegre: Bookmann, 2002.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Administração da Produção: operações industriais e de serviços. Curitiba: Unicenp, 2007.

REID, D.; SANDERS, N. R. Operations Management. EEUU: John Wiley & Sons, 2002.

STEVENSON, W. J. Administração das Operações de Produção. Rio de Janeiro: LTC, 2001.