CURVAS DE APRENDIZADO APLICADAS A ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DE SOLDADORES

TITO R. S. CADAVAL JR.[1], ERIC H. DUARTE[1], RAFAEL L. PAES[1]*

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise da produtividade de soldadores de estruturas navais utilizando o conceito de curvas de maturidade. O presente estudo caracteriza-se por ter uma abordagem quantitativa, o método escolhido é o estudo de caso e seu propósito exploratório. Foram coletados 82 amostras buscando relacionar a evolução da produtividade (hh/ton) e o aumento da tonelada produzida acumulada. O ajuste dos dados de desempenho foi realizado utilizando os modelos de curva de aprendizado: potencial; hiperbólico; exponencial e logarítmico. Os parâmetros foram obtidos através de regressão não- linear pelo método de *Quasi-Newton* por intermédio de *software* de análise estatística *Statistica* 7.0. Os resultados obtidos pelo ajuste da curva exponencial evidenciam b=0,198 próximo de zero, o que indica um moderado percentual de aprendizado e assimilação moderada de conhecimento, destreza e preceitos da tarefa. Como principal contribuição apresenta-se uma aplicação de modelos constituídos por funções matemáticas de complexidade diversas, que possibilitam melhor conhecer o processo de aprendizado de soldadores, e abre caminho para sua utilização em diversas atividades de planejamento de mão de obra e industrial.

PALAVRAS-CHAVES: Curvas de maturidade. Indústria naval. Produtividade.

LEARNING CURVES APPLY ANALYSIS OF PRODUCTIVITY OF WELDERS

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the productivity of welders naval structures using the concept of maturity curves. The present study is characterized by having a quantitative approach, the chosen method is the case study and its exploratory purpose. Were collected 82 samples trying to relate the evolution of productivity (mh/ton) and an increase in accumulated ton produced. The setting of performance data was performed using learning curve models: potential; hyperbolic, exponential and logarithmic. These parameters were obtained by non-linear regression by the method of Quasi-Newton through statistical analysis software Statistica 7.0. The results by fitting the exponential curve show b = 0.198 close to 0.0, which indicates a moderate percentage of

[1] Laboratório de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG). *Autor correspondente: Professor Rafael Lipinski Paes, Tel.: (53)3293-5049. E-mail: rpaes@furg.br

the learning and moderate assimilation of knowledge, skill and precepts of the task. As main contribution, it shows an application of mathematical models consisting of functions of various complexities, leading to better understand the learning process of welders and consolidate the way for their use in various planning activities of labor and industrial.

KEY WORDS: Maturity curves. Naval industry. Productivity.

1. INTRODUÇÃO

A indústria naval brasileira ressurge após duas décadas de inatividade, e vive um momento favorável. Existe uma demanda anunciada de mais de 350 embarcações e 50 plataformas, e diversos incentivos tais como: isenções fiscais, financiamento a estaleiros e armadores, um fundo de garantia à construção naval, e mobilização política para atração de investimentos e parceiros tecnológicos internacionais [5].

Dentro deste contexto, as potencialidades das reservas do pré-sal representam uma oportunidade única para o desenvolvimento de toda uma cadeia de fornecimento do setor *offshore* brasileiro. Caso sejam implementadas com sucesso, as políticas recomendadas terão elevado impacto, podendo gerar cerca de 2,5 milhões de empregos até 2020 em todo o país, gerando uma demanda por bens e serviços por volta de US$ 400 bilhões neste período – escala suficiente para desenvolver sólida cadeia produtiva de bens e serviços local [4].

O impacto positivo das políticas publicadas adotadas será amplificado, desde que permeiem toda a cadeia de fornecimento da indústria naval. O principal demandante de insumos e produtos para essas infraestruturas (equipamentos, navios, plataformas, dutos, refinarias, navipeças) é a Petrobras com previsão de US$ 236,5 bilhões entre 2012 e 2016. Este fato somado a política de um conteúdo local de no mínimo 70%, coloca às empresas nacionais uma perspectiva segura de investimentos com vistas ao atendimento dessas demandas [4].

Assim, torna-se imperativo que as políticas de incentivo sejam estendidas a toda cadeia do setor, uma vez que mais da metade dos empregos gerados depende de uma ampla participação da cadeia de fornecimento e da dinâmica que a renda gerada terá principalmente nas pequenas e médias empresas [8].

Em 2010, Favarin et al. [6] estudaram a relevância da avaliação comparativa dos principais fatores competitivos para o estabelecimento de uma indústria nacional de construção naval capaz de atingir níveis internacionais de produtividade, qualidade e custos. Como resultado da pesquisa, é evidenciado que mão-de-obra representa cerca de 15% a 20% do custo total de construção de navios e plataformas. Isto ocorre,

predominantemente, devido ao nível tecnológico, que estabelece o grau de mecanização dos processos e à posição na curva de aprendizado, a qual define a velocidade dos ganhos de produtividade do estaleiro e é intrínseca de qualquer atividade produtiva. Na Coréia e no Japão, o histórico de aprendizado na indústria naval mostrou uma declividade dessa curva de 70%, ou seja, a cada vez que a produção dobra, se observa uma redução de 30% no consumo de HH/CGT.

A FIGURA1 ilustra um exemplo de curva de aprendizado de um estaleiro brasileiro, utilizando um modelo logarítmico em que se conseguiu ganhos de produtividade entre 10% e 15% a cada vez que a produção acumulada dobrou.

Na modelagem de curvas de aprendizado, ajustam-se modelos não-lineares aos dados empíricos, através de estimação heurísticas de parâmetros. Trata-se de uma modelagem univariada, baseada na análise de uma única variável dependente, associada ao desempenho do trabalhador (ou do desempenho médio de grupos de trabalhadores) desempenhando uma tarefa [1].

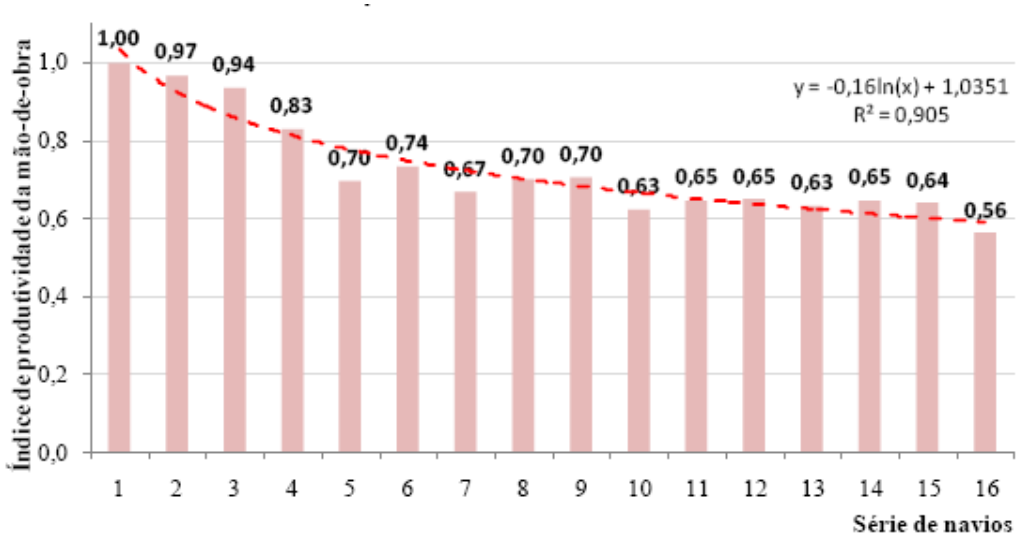


Figura 1 – Curva de aprendizado para uma série de navios [6].

Assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar a produtividade de soldadores de estruturas navais utilizando o conceito de curvas de maturidade. Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a fundamentação teórica em torno dos modelos de curvas de aprendizado, a seção 3 apresenta a metodologia a ser empregada, a seção 4 apresenta aos resultados obtidos e a conclusão encerra o artigo na seção 5.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Curvas de aprendizado

Curvas de aprendizado são representações matemáticas do desempenho de um trabalhador quando submetido a uma tarefa manual repetitiva [3]. Esses modelos são constituídos por funções matemáticas de complexidades diversas, possibilitando a descrição do processo de aprendizado em diversos setores. Dentre as curvas de aprendizagem univariadas mais difundidas, merecem destaque os modelos potenciais, exponenciais, hiperbólicos e logarítmicos, apresentados na sequência.

2.1.1 Modelos potenciais

O modelo de Wright é também conhecido como modelo potencial (Equação 1):

$$y = C_1 x^{-b} \quad (1)$$

onde, y indica o tempo (custo) médio por unidade demandado para a produção de x unidades e C_1 é o tempo (custo) da primeira unidade produzida. O parâmetro b (declividade da curva de aprendizado) é gerado por intermédio de manipulação matemática da taxa de aprendizado do trabalhador (medida percentualmente), sendo seu valor compreendido no intervalo -1 a 0 [3].

2.1.2 Modelos exponenciais

Curvas de aprendizagem exponencial são constituídas por parâmetros que permitem mais informações sobre aprendizado do trabalhador do que as fornecidas pelas curvas potenciais [7] *apud* [3]. Sua proposição segue a forma da Equação 2:

$$y = C_1 x^{b} e^{cx} \quad (2)$$

onde, c é uma segunda constante e os demais parâmetros são idênticos ao modelo potencial (Equação 1).

2.1.3 Modelos hiperbólicos

A modelagem matemática aborda uma curva hiperbólica de dois parâmetros. Uma análise preliminar da equação, segundo seus princípios de concepção, permite associar a variável x ao número de unidades conformes, r ao número de unidades não-conformes e y à proporção de unidades consideradas corretas, de acordo com a Equação 3 [1].

$$y=C_1[x/(x+r)] \quad (3)$$

2.1.4 Modelos logarítmicos

Curvas de aprendizagem logarítmicas são utilizadas em sistemas com comportamento semelhante ao modelo exponencial. Sua proposição segue a forma da Equação 4:

$$y=C_1+b[log(x)] \quad (4)$$

2.2 Metodologia

O presente estudo caracteriza-se por ter uma abordagem quantitativa, o método escolhido é o estudo de caso e seu propósito exploratório. Para tanto é utilizado uma adaptação da metodologia de trabalho proposta por Anzanello [2] composta pelas seguintes etapas: (i) identificação dos produtos com características similares; (ii) definição da amostra e coleta de dados; (iii) ajuste dos dados de desempenho obtidos através dos modelos de curvas escolhidos; e (iv) análise dos parâmetros gerados pela curva de aprendizado.

Inicialmente a identificação dos produtos se deu através de entrevista com a gestora do planejamento, visitação *in loco* e análise documental. A definição da amostra deverá considerar critérios como disponibilidade de dados, representatividade econômica, geometria de produtos e previsão de demanda. Foram consultados relatórios gerenciais de períodos de junho a setembro de 2010 e priorizados indicadores como homem-hora/ton considerando projetos específicos e setor produtivo (ex. solda).

Na terceira etapa o ajuste dos dados de desempenho foi realizado utilizando os seguintes modelos de curva de aprendizado: potencial; exponencial; hiperbólico e logarítmico. Os parâmetros são obtidos através de regressão não- linear pelo método de

Quasi-Newton por intermédio de *software* de análise estatística *Statistica* 7.0. Os dados de desempenho são modelados como variável dependente homem-hora/ton (y) em função das ton acumuladas (x). O critério utilizado para avaliar o ajuste dos modelos de curvas de aprendizado foi o erro médio relativo. Por fim, a análise dos parâmetros gerados pelas curvas de aprendizado encerra a metodologia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Amostra

Foram coletados 82 amostras no período de junho a setembro de 2010. Essas amostras foram agrupadas em sub grupos n=3 e avaliado a existência de dados atípicos utilizando limites de controle com nível de confiança de 90 % e precisão de 0,05. A TABELA 1 apresenta a evolução da produtividade medida em hh/ton. considerando o aumento da tonelada produzida acumulada eliminando 7 amostras consideradas atípicas. Os dados apresentados foram multiplicados por uma variável para manter a confidencialidade e seus resultados não interferem nas análises realizadas.

Tabela 1. Amostra Utilizada para análise com subgrupo n=3

Sub. Grupo	hh/ton	ton. acum.	Sub. Grupo	hh/ton	ton. acum.
1	518,17	17,77	11	293,41	81,53
2	531,15	22,51	12	480,99	87,23
3	409,74	27,85	13	422,78	93,43
4	420,66	33,50	14	341,61	103,01
5	384,82	38,69	15	415,57	119,17
6	490,27	51,79	16	319,04	125,48
7	438,26	57,51	17	228,36	135,78
8	372,05	63,65	18	216,18	147,58
9	481,80	67,44	19	182,18	158,63
10	301,63	74,30	20	153,20	176,45

3.2. Ajustes e análises de dados

O ajuste dos dados de desempenho foi realizado utilizando modelos: potencial, exponencial, hiperbólico e logarítmico apresentados no referencial teórico. Os parâmetros foram obtidos através de regressão não- linear. Os parâmetros de ajuste das curvas e o erro médio relativo (EMR) são apresentados na TABELA 2. Devido ao elevado erro médio relativo apresentado pelo modelo hiperbólico, o ajuste do mesmo não foi apresentado neste trabelho.

Tabela 2 - Parâmetros do ajuste as curvas de aprendizado

Modelo	**C_1**	**b**	**c**	**r**	**EMR (%)**
Potencial	1296,02	0,30	-	-	21,27
Exponencial	306,628	0,198	0,008		16,95
Hiperbólico	310,49	-	-	8,07	24,95
Logarítmico	908,62	126,79	-	-	19,92

A análise dos parâmetros obtidos pelo ajuste da curva potencial evidência que C_1=1.296,02 é a produtividade expressa em hh/ton da primeira tonelada produzida. O parâmetro b = 0,30 (declividade da curva de aprendizado) indica uma mediana taxa de aprendizado. Nota-se que o modelo parece não refletir a realidade, principalmente quando considerado faixas iniciais (<10 ton) indicando altíssima utilização de hh/ton.) esse fato pode ser corroborado pelo erro relativo de 21,27 % apresentado (FIGURA 2).

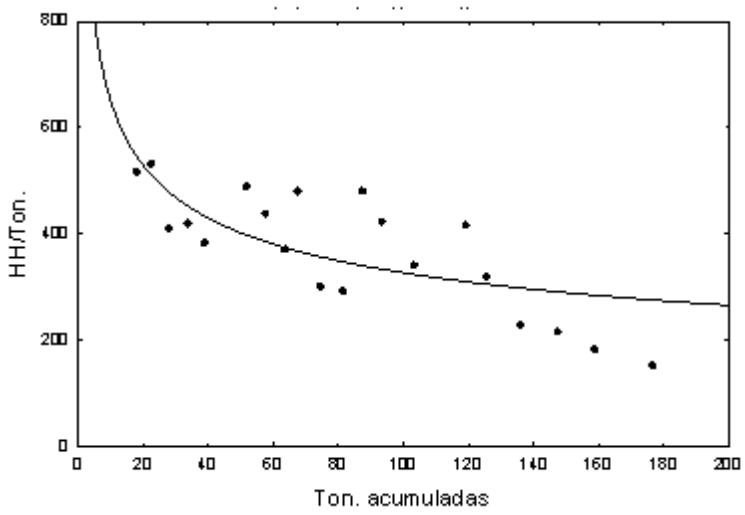


Figura 2 - Ajuste para a curva de aprendizado – modelo potencial

O ajuste dos parâmetros obtidos pelo modelo exponencial evidência o menor erro relativo (16,95%), C_1=306,62 é a produtividade expressa em hh/ton. da primeira tonelada produzida. O parâmetro b=0,198 (próximo de zero) indica um moderado percentual de aprendizado e assimilação rápida dos preceitos da tarefa. Adicionalmente, conclui-se que o modelo parece não refletir a realidade, principalmente quando considerado faixas: (i) iniciais (< 20 ton.) indicando taxas de produtividades inferiores as obtidas à 20 ton. < ton. acumuladas < 40 ton.; ou (ii) acima de 300 ton., indicando taxas de produtividade próximas a zero (FIGURA 3).

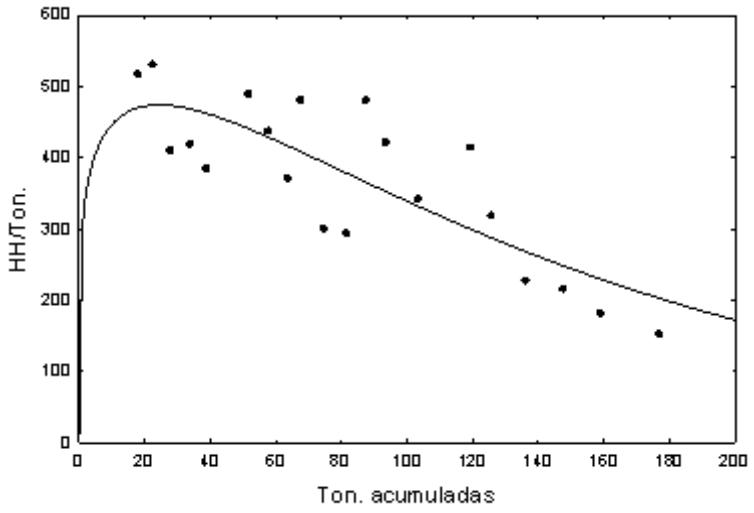


Figura 3 - Ajuste para a curva de aprendizado – modelo exponencial

Os parâmetros obtidos pelo ajuste da curva logarítmico C_1=908,62 e b=-126,79 permitem observar que a produtividade em períodos de experiência inicial (10 ton. < ton. acumuladas < 60 ton.) aumenta em média 8 % a cada 10 ton. produzidas. De outro em períodos (60 ton. < ton. acumuladas < 180 ton.) a taxa média de produtividade é inferior a 4% a cada 10 ton. produzidas (FIGURA 4).

Adicionalmente, sugere-se investigar a evolução da produtividade além do período investigado (após setembro) a fim de verificar a tendência de estabilização da curva. Isto se torna relevante, pois a estimativa de produtividade para volumes superiores a 500 ton acumuladas parece se tornar irreal dado a produtividade obtida pelo modelo alcançar níveis inferiores a 120 hh/ton. Este fato poderá fornecer bases para estabelecimento de faixas de volumes para fiel utilização da curva já que se acredita que a produtividade deverá se manter relativamente constante ao longo dos próximos períodos.

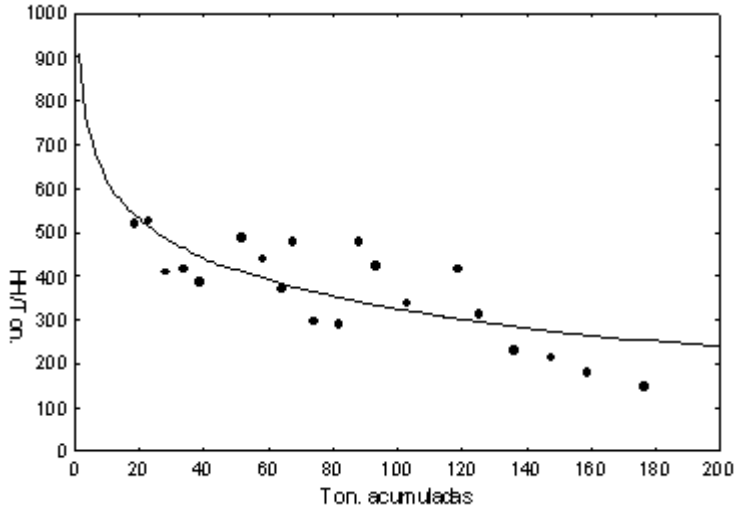


Figura 4 - Ajuste para a curva de aprendizado – modelo logarítmico

Por fim, algumas reflexões devem ser feitas sobre a realização de pesquisas futuras com auxílio das curvas de aprendizado. Por exemplo, indica-se a utilização da taxa de aprendizado "b" entre equipes e/ou turnos como ferramenta de gestão e avaliação de desempenho. Ademais, verifica-se a oportunidade de subsidiar o processo de planejamento, programação e controle da produção com as curvas de maturidade para a definição dos índices de produtividade adotados ao longo do tempo. Acredita-se que o planejamento agregado da mão de obra deva ser fortemente impactado pelo aumento gradual da produtividade. Em decorrência disso, os modelos poderiam justificar a adoção de políticas de recursos humanos orientadas a manutenção da força de trabalho, à melhoria da produtividade e a redução de custos.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pelo presente trabalho permitem realizar algumas considerações sobre a aplicação, o tema e o desenvolvimento de pesquisas futuras.

A aplicação de modelos constituídos por funções matemáticas possibilitam melhor conhecer o processo de aprendizado de soldadores e abre caminho para sua utilização em diversas atividades de planejamento de mão de obra e industrial.

A avaliação da produtividade é fator decisivo para obtenção de vantagem competitiva sustentável. A manutenção da força de trabalho aliada ao desenvolvimento de projetos padronizados podem fornecer bons resultados para as empresas. Conclui-se que o tema investigado mostrou-se de grande relevância para a indústria naval devido

principalmente ao ambiente de produção dominado pelo uso intensivo de recursos humanos.

Há de se ressaltar também a possibilidade de investigar a melhoria da produtividade no que se refere a adoção de projetos padronizados de estruturas navais, mesmo com séries pequenas de estruturas ou projetos únicos. Pesquisas realizadas ressaltam que o importante para a produtividade não é a produção de grandes séries de estruturas, e sim a padronização dos componentes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ANZANELLO, M.; FOGLIATTO, F.S. Curvas de aprendizado: estado da arte e perspectivas de pesquisa. Gestão & Produção, v. 14, p.109-123, 2007.

[2] ANZANELLO, M. Curvas de Aprendizado como Balizadoras da Alocação de Modelos de Produtos a Equipes de Trabalhadores. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

[3] ARGOTE, L. Organizational Learning: Creating, Retaining and Transferring Knowledge. Springer-Verlag, New York, 1999.

[4] DE NEGRI, J.A.; KUBOTA, L.C.; TURCHI, L. Inovação e a Indústria Naval no Brasil. Estudos Setoriais de Inovação. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, Belo Horizonte, 2009.

[5] FAVARIN, J.V.R.; ANDERSON, V.L.; GALLARDO, A.P.; AMARANTE, R.M.; PINTO, M.M.O. Desafios para o Ressurgimento da Cadeia de Fornecedores Navais no Brasil.- CEGN, p.01, 2009. Disponível em: <http://www.gestaonaval.org.br>.Acesso em 26 set 2012.

[6] FAVARIN, J.V.R.; PINTO, M.M.O.; ANDERSON, V.L.; BARACAT L.M. Competitividade da indústria naval brasileira. 23º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore Rio de Janeiro, 25 a 29 de Outubro de 2010. Disponível em: < http://www.ipen.org.br>. Acesso em 20 ago 2012.

[7] NEMBHARD, D.A.; UZUMERI, M.V. An individual-based description of learning within an organization. IEEE Transactions on Engineering Management, New Jersey, v. 47, n. 3, p. 370-378, 2000a.

[8] PETROBRAS. Plano de Negócios e Gestão 2012/2016. – Agosto 2012. Disponível em: <http://www.investidorpetrobras.com.br>. Acesso em 10 set 2012.