



XVIII Congresso Internacional de Custos
XXX Congresso Brasileiro de Custos

15 a 17 de novembro de 2023
Natal / RN / Brasil



Efeito da Experiência: Aspectos da Curva de Aprendizagem em uma Empresa do Ramo Metalmeccânico

GUSTAVO HENRIQUE FERRARI (UNIDAVI) - cont.gustavoferrari@gmail.com

Mara Juliana Ferrari (UNIDAVI) - mara@rossa.com.br

Silvana Dalmutt Kruger (UFMS) - silvana.d@ufms.br

Resumo:

O presente estudo tem por objetivo analisar o índice de representatividade apresentada pelo modelo de curva de aprendizagem de uma empresa do ramo metalmeccânico. A pesquisa é caracterizada como descritiva, realizada a partir de um estudo de caso junto a uma empresa que produz peças para motocicletas. Utilizou-se os aspectos do método desenvolvido por Wright (1936) para a aplicação das curvas de aprendizagens. A amostra inicial observada foi de 300 operadores da linha de produção de peças para motocicletas, posteriormente as curvas de aprendizagem foram desenvolvidas com base nos dados de cinco operadores. Observou-se índices de aprendizagem com variações de 60,13%, 69,59%, 77,48%, 78,76% e 92,39%, evidenciando que o número de atividades executadas pelos operadores no mesmo processo tem redução diferente de tempo ao longo da repetição das tarefas. A variação do tempo do aprendizado representou percentuais de variação entre 7,61% e 39,87%. Com base na teoria das curvas de aprendizagens apenas um operador apresentou uma aprendizagem constante, conforme proposto pelo modelo. Os resultados de forma geral evidenciam que a análise do desempenho de tarefas por meio das curvas de aprendizagem pode contribuir com a redução de custos e na avaliação laboral dos colaboradores, auxiliando no processo de tomada de decisões.

Palavras-chave: *Curvas de aprendizagem, Teoria de Wright, Análise de custos.*

Área temática: *Custos como ferramenta para o planejamento, controle e apoio a decisões*

Efeito da Experiência: Aspectos da Curva de Aprendizagem em uma Empresa do Ramo Metalmeccânico

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo analisar o índice de representatividade apresentada pelo modelo de curva de aprendizagem de uma empresa do ramo metalmeccânico. A pesquisa é caracterizada como descritiva, realizada a partir de um estudo de caso junto a uma empresa que produz peças para motocicletas. Utilizou-se os aspectos do método desenvolvido por Wright (1936) para a aplicação das curvas de aprendizagens. A amostra inicial observada foi de 300 operadores da linha de produção de peças para motocicletas, posteriormente as curvas de aprendizagem foram desenvolvidas com base nos dados de cinco operadores. Observou-se índices de aprendizagem com variações de 60,13%, 69,59%, 77,48%, 78,76% e 92,39%, evidenciando que o número de atividades executadas pelos operadores no mesmo processo tem redução diferente de tempo ao longo da repetição das tarefas. A variação do tempo do aprendizado representou percentuais de variação entre 7,61% e 39,87%. Com base na teoria das curvas de aprendizagens apenas um operador apresentou uma aprendizagem constante, conforme proposto pelo modelo. Os resultados de forma geral evidenciam que a análise do desempenho de tarefas por meio das curvas de aprendizagem pode contribuir com a redução de custos e na avaliação laboral dos colaboradores, auxiliando no processo de tomada de decisões.

Palavras-chave: Curvas de aprendizagem. Teoria de Wright. Análise de custos.

Área Temática: Custos como ferramenta para o planejamento, controle e apoio a decisões.

1 INTRODUÇÃO

O nível de competitividade nas organizações exige a busca por informações relevantes para gerenciar os recursos físicos e humanos (Curvelo & Andrade, 2022). A busca por vantagens competitivas pode conduzir o direcionamento das estratégias, contribuindo com a definição de diferenciais competitivos, distinguindo as organizações pelo posicionamento estratégico (Kruger, Juttel & Zanin, 2023).

O planejamento, o controle e a análise dos resultados tornam-se instrumentos para a avaliação do desempenho das organizações, conseqüentemente a gestão das receitas, despesas e custos, permite identificar indicadores para a avaliação do desempenho (Cipolla & Giussani, 2022). Frente ao cenário mercadológico, as organizações estão em constante busca por melhores desempenho econômico-financeiro, aumento de produtividade, redução de custos na execução de processos e elaboração dos produtos, considerando que tais aspectos influenciam diretamente nos resultados operacionais (Gotardo, Zanin & Kruger, 2023).

Entre os aspectos gerenciáveis estão os recursos físicos e humanos, sendo que o gerenciamento da produtividade também inclui as equipes de trabalho, os custos de produção e a organização das tarefas (Stroiecke, Fogliatto & Anzanello, 2013). Abell e Hammond (2006), alegam que o aumento da experiência e o efeito de aprendizagem dos funcionários poderá ser um fator relevante quando se pensa em

custos de mão de obra direta, redução de prazos de produção ou melhoria na qualidade dos produtos oferecidos.

Estudos precursores indicam que a aprendizagem dos indivíduos é influenciada pela experiência, sendo que o tempo de execução das tarefas reduzem à medida que a experiência na execução aumenta (Ferreira, Satos & Fluentes, 2020). Para Abell e Hammond (2006), os custos, em empresas com participação relevante, nos mercados que atuam, se apresentam mais baixos, determinam como causa o ganho de escala e o efeito experiência, que segundo os mesmos autores, os custos chegam a ter redução de 10% a 30% quando cada vez que a experiência da empresa no setor produtivo e vendas desses produtos dobravam. Em 1972 o grupo Boston Consulting denominou que a relação custos e experiência fosse denominada de curva de experiência (Abell & Hammond, 2006). No entanto Wright (1936), estabeleceu o primeiro modelo denominado de curva de aprendizado, a partir de observações com a montagem de aviões, constatando que o tempo da montagem reduzia à medida que a aprendizagem do processo produtivo aumentava, bem como identificando que a redução do tempo reduzia também os custos do processo produtivo.

Diversos fatores podem interferir no desempenho operacional dos indivíduos, especialmente no ambiente produtivo, como por exemplo alterações no produto ou matéria-prima, equipamentos, processos, valorização, etc., sendo possível avaliar o tempo de aprendizagem e a produtividade, a partir da curva de aprendizagem dos trabalhadores (Ozório, Valmorbidia, Kreling, Ferreira, & Schiavon, 2022).

As curvas de aprendizagem são modelos matemáticos que representam o desempenho de um trabalhador, quando este exerce uma atividade manual repetitiva (Wright, 1936). A partir das repetições das tarefas o trabalhador passa a demandar menos tempo para execução, seja por se familiarizar aos meios de produção, adaptar-se as ferramentas utilizadas, ou por encontrar maneiras mais fáceis de executar a tarefa (Peña, Romero & Noguez, 2022). As curvas também possibilitam o monitoramento da redução de custos de um item com o avanço do progresso de produção (Anzanello & Fogliatto, 2005).

Sob os aspectos apontados anteriormente e com base nos dados fornecidos pela empresa, objeto do presente estudo, atuante no ramo metal mecânico com participação significativa dos itens produzidos, bem como utiliza-se dos recursos de mão de obra (chão de fábrica) de diversos operadores, por sua vez a organização busca meios de aumentar a produtividade entre esses a análise do efeito da experiência em seu processo produtivo. Diante deste contexto apresenta-se a seguinte pergunta de pesquisa: Qual o índice de representatividade, apresentada pelo modelo de curva de aprendizagem, de uma empresa do ramo metalmeccânico? Com base no modelo de curva de aprendizagem apresentada por Wright (1936), o presente estudo tem por objetivo: analisar o índice de representatividade apresentada pelo modelo de curva de aprendizagem de uma empresa do ramo metalmeccânico.

Justifica-se a relevância do estudo por identificar modelos que possam prever o comportamento associado à aprendizagem e experiência dos operários no chão de fábrica o quanto poderá interferir na produtividade o efeito de experiência e assim a empresa criar estratégias para aprendizagem dos operadores e equipes. Estas previsões podem direcionar as decisões quanto à produtividade e eficiência do processo, auxiliando os gestores na análise dos processos produtivos (Abell & Hammond, 2006; Peña et al., 2022). Acredita-se que diante de situações de substituição ou troca de colaboradores, observando a perda de *know-how* e de recursos previamente investidos com capacitações, poderá até identificar se a experiência, na execução de determinada atividade, terá relação com a execução

ideal. A empresa objeto de estudo compõe um grupo de empresas reconhecido como líder mundial na fabricação de peças para motocicletas.

Destaca-se neste sentido a importância da pesquisa no aspecto prático e aplicado, no intuito de proporcionar uma nova visão aos gestores da empresa objeto de estudo sobre os seus funcionários, a partir da análise da curva de aprendizagem. Sob o enfoque acadêmico, destaca-se a oportunidade da pesquisa sobre a temática, visando estimular novas pesquisas acerca das curvas de aprendizagem no contexto gerencial e assim explorar o efeito da aprendizagem e experiência em diversos contextos e segmentos.

2 CURVA DE APRENDIZAGEM

Os estudos sobre aprendizagem foram inicialmente citados por Herman Ebbinghaus (1850-1909), tido como fundador da psicologia experimental. Com os testes efetuados por Ebbinghaus (1885), foi possível descrever a dinâmica geral da aprendizagem e do esquecimento. Para atingir este objetivo, Ebbinghaus desenvolveu um método, e utilizou nele mesmo, o teste consistia em aprender vários grupos de sílabas aleatórias e sem real significado. Desta maneira, monitorando o tempo e o número de repetições necessários para conseguir aprender e esquecer o grupo de sílabas, foi possível desenvolver um gráfico que relata a aprendizagem e outro que relata o esquecimento. A Figura 1 colocada a seguir, demonstra os resultados de Ebbinghaus (1913), é considerada a primeira curva de aprendizagem e esquecimento já desenvolvidas.

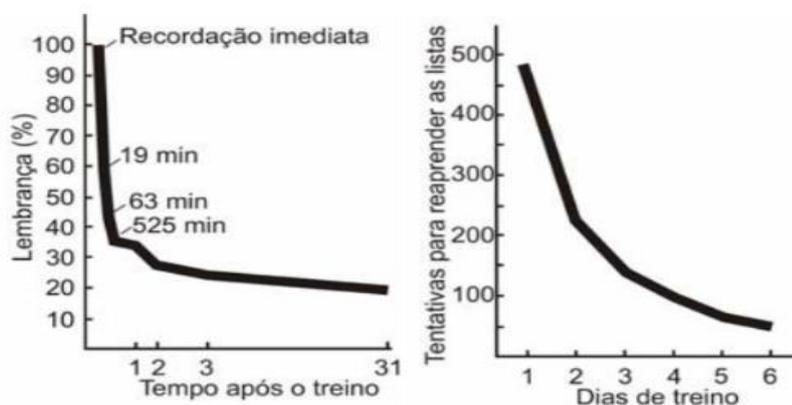


Figura 1 - Curva de aprendizagem e esquecimento de Ebbinghaus

Fonte: Adaptado de Ebbinghaus (1913, p. 44)

As curvas de aprendizagem inicialmente desenvolvidas por Ebbinghaus foram extremamente importantes para a psicologia, porém, com o avanço dos estudos sobre o tema foi possível prospectar tal ideia como aplicação para diversas áreas, chegando à educação, finanças e até custos (Pavão, 2008).

No contexto industrial, em uma linha de produção, Abell e Hammond (2006) define que experiência tem um significado preciso, seria a quantidade cumulativa de unidades produzidas até aquela data. O efeito de experiência, gera o decréscimo dos custos de forma inversamente proporcional a cumulatividade da produção, este efeito pode ser medido e é esperado. Durante o tempo, já se pode observar o acontecimento deste efeito em uma grande variedade de produtos, desde automóveis, petroquímicos, calcário moído, fibras sintéticas, transporte aéreo entre outros (Abell & Hammond, 2006). Pode-se notar nos produtos citados, que há uma grande variação em seus

estilos, produtos que exigem um alto grau tecnológico e outros que são considerados mais simplórios.

A percepção dos estudiosos foi que cada vez que a quantidade produzida acumulada dobrava o valor de todos os custos correlacionados, desde a parte administrativa à produção, decresceu de forma uniforme e previsível (Abell & Hammond, 2006). Uma medida relevante na avaliação de desempenho de uma operação de montagem é a curva de aprendizado ou de experiência de um operador, que representa o quanto sua habilidade aumenta ao longo do tempo (Peñas et al., 2022).

O Quadro 1 resume os efeitos de experiência no processo produtivo.

Eficiência da mão-de-obra	Quanto maior a quantidade de repetições executadas pelo trabalhador em uma determinada tarefa da produção, mais hábil ele se torna naquela função, tornando-se mais eficiente com as facilitações adquiridas pela experiência.
Especialização no trabalho e melhoria de métodos	A especialização aumenta a eficiência do trabalhador na tarefa executada
Novos processos de produção	Novos equipamentos são fonte importante de redução de custos, nas indústrias especialmente.
Obtenção de melhor desempenho dos equipamentos de produção	No início da utilização de um novo equipamento é comum ter um desempenho conservador. Com o tempo, a experiência adquirida pode desenvolver novas formas de utilizar o equipamento, melhorando os resultados.
Mudanças no mix de recursos	Um produto sempre pode sofrer alterações, adicionando a ele recursos diferentes ou mais baratos na operação.
Padronização de produto	Quando a produção é padronizada a repetição constante dos processos gera o aprendizado do trabalhador, tornando seu trabalho melhor a cada processo.
Redesenho de produto	Durante a produção é possível identificar pontos em que o produto possa ser alterado de forma a satisfazer melhor o cliente ou até baratear seu custo alterando os materiais utilizados

Quadro 1 - Fontes que influenciam no efeito de experiência

Fonte: Elaborado a partir de Abell e Hammond (2006).

O Quadro 1 representa vários fatores que podem influenciar no custo da produção, entre os citados encontra-se a eficiência da mão-de-obra que está diretamente ligada ao fator aprendizagem/experiência, que pode ser matematizada por diversos modelos evidenciados na literatura, conforme evidenciam Abell e Hammond (2006).

A medição do desempenho do trabalhador para fazer uma tarefa pode ser feita de muitas maneiras, entre elas estão o tempo de trabalho demandado por unidade fabricada, a quantidade de unidades fabricadas em intervalo de tempo fixo, a redução dos custos de um produto por unidade ou, até mesmo, pela porcentagem de unidade não-conformes pelo número de repetições de uma mesma operação (Anzanello & Fogliatto, 2005).

Diversos métodos podem ser utilizados para monitorar a execução de operações de montagem baseadas em humanos na linha de produção, observando o comportamento de longo prazo das atividades (por exemplo, a precisão, a velocidade ou tempo de execução e a qualidade das tarefas), visando identificar aspectos do desempenho da produção (Peñas et al., 2022).

As curvas de aprendizagem, de forma matemática, tiveram início com Theodore Paul Wright (1936) com a publicação no *Journal of the Aeronautical Sciences*, onde

demonstrou um estudo que o custo total da produção de seus aviões se modificou de forma decrescente conforme cada avião produzido. Neste estudo Wright cita diversos fatores que influenciam para que ocorra esta redução de custos, o material, os fatores de *design*, as ferramentas, mudanças no processo, o efeito do tamanho, e o efeito de quantidade.

No estudo, a parte relacionada ao efeito de quantidade implica que o trabalho, o material e o *overhead*, são fatores que alteram conforme a quantidade. No caso dos materiais, o aumento de precisão do trabalhador torna possível que o desperdício que ocorria antes, seja evitado, sendo assim, este está evitando um custo que antes era incorrido. Levando em consideração o *overhead*, este implica que, funcionários mais sobrecarregados demonstram uma curva de aprendizagem maior, ou seja, uma empresa que trabalha de forma que mantém seu trabalhador no limite, faz com que este se desenvolva de forma mais acelerada, acentuando de maneira mais relevante a curva de aprendizagem (Wright, 1936).

As curvas de aprendizagem potenciais são os modelos mais difundidos, devido a facilidade de aplicação e o nível de predição em comparação a outras, estas têm sido utilizadas na elaboração de estratégias através do monitoramento de aspectos ligados à produção, como as estimativas de tempo para a conclusão de determinadas tarefas, a verificação do efeito de paradas no processo produtivo e avaliação do impacto de consequências das modificações de parâmetros de um processo durante sua execução (Anzanello & Fogliatto, 2007).

A ideia proposta por Wright (1936) foi aplicada no local onde o mesmo trabalhava, em uma fábrica de aviões, no caso, ele notou que a cada avião construído, seus empregados eram 80% mais eficientes, fazendo com que seus custos de produção fossem sempre reduzindo conforme a quantidade produzida aumentava, apesar disso, a fórmula proposta indica uma curva potencial que funcionaria conforme a equação apresentada no próximo tópico.

Nas relações de trabalho muitos interesses gerenciais podem gerar custos de produção, sendo importante observar os excedentes, bem como remunerar de forma adequado os indivíduos conforme sua força de trabalho (Silva, 2020).

Seguindo a teoria de Wright (1936), foi possível perceber em seus estudos que o desenvolvimento do trabalho manual poderia ser calculado através da equação:

$$y = C_1 x^b, \text{ onde } y \text{ é o fator da variação de custo proporcional a quantidade } x.$$

A variável C_1 representa o tempo ou custo gasto para executar a primeira unidade. A recíproca de y representa diretamente a variação do custo em relação à quantidade. Esta equação, através da manipulação matemática, possibilita a descoberta de b para a primeira aplicação e previsão do desenvolvimento do funcionário.

Neste caso r é o parâmetro que dá forma a equação hiperbólica, podendo descrever três situações diferentes de aprendizado. A primeira situação é formada por um r maior que zero ($r > 0$), neste caso a curva cresce até um limite, que seria o limite de desempenho k , e retrata uma situação comum, de um trabalhador que não possui experiência prévia.

No segundo caso é quando r está tendendo à zero ($r \rightarrow 0$), neste caso a curva comporta-se de maneira horizontal, mostrando que neste processo não está ocorrendo aprendizado. No terceiro cenário, em que r é menor que zero ($r < 0$), é a situação em que o desempenho é representado por uma curva decrescente, que tende a diminuir ainda mais durante o processo, pode ter sido causada por fadiga ou até esquecimento de como fazer tal tarefa (Anzanello & Fogliatto, 2007).

No modelo a seguir é possível verificar o desenvolvimento de cada curva conforme descrito acima na curva hiperbólica de três parâmetros. A Figura 3 demonstra as diferenças gráficas no comportamento das curvas:

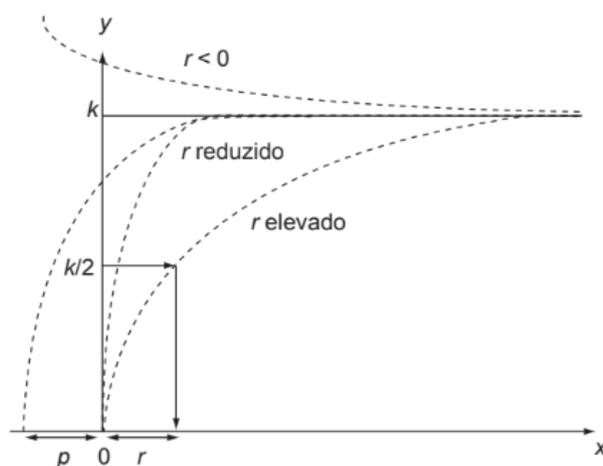


Figura 3 - Comparativo entre os gráficos de várias equações

Fonte: Anzanello e Fogliatto (2007, p. 115).

Os modelos de curva de aprendizagem exponenciais são formados por variáveis diferentes das que constituem os modelos potenciais. Estas variáveis possibilitam uma extração maior de informação sobre o processo de aprendizagem do trabalhador, criando assim previsões de produção muito mais precisas que as fornecidas pelas curvas potenciais (Anzanello & Fogliatto, 2005).

Em ambientes industriais onde os dados já existem e estão disponíveis a partir dos sistemas de informações, os gestores podem avaliar aspectos laborais a partir do gerenciamento de operações, observando como as tarefas do chão de fábrica são executadas, visando observar aspectos produtivos ou ainda manuais (Peñas et al., 2022). Os estudos realizados por Mazur e Hastie (1978), demonstram que quando o trabalhador é submetido a tarefas com alto grau de complexidade, e tenta-se aplicar a equação anterior, a modelagem desenvolvida pela curva pode apresentar defeitos.

Neste sentido, a partir da curva de aprendizagem dos trabalhadores é possível avaliar o tempo de aprendizagem e a produtividade, bem como observar fatores que podem interferir no desempenho operacional dos indivíduos no ambiente produtivo, considerando por exemplo alterações relacionadas ao produto ou matéria-prima, os equipamentos, fases e etapas dos processos, valorização e satisfação, etc. (Ozório et al., 2022).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa se caracteriza como descritiva, realizada por meio de estudo de caso com análise documental e cunho quantitativo. A pesquisa descritiva tem como característica, segundo Gil (1999) descrever as características de uma população, fenômeno ou estabelecimento de relações entre variáveis. No ponto de vista de Andrade (2002), este tipo de pesquisa busca observar fatos, registrá-los, analisá-los, classificá-los e interpretá-los sem a interferência do pesquisador nos mesmos.

A empresa objeto do estudo está localizada na região Sul do Brasil, sendo parte de um grupo de empresas reconhecido como líder mundial na fabricação de peças para motocicletas. Os dados primários foram fornecidos pela empresa em arquivo no

formato Excel, contendo informações referentes a linha de produção número um, responsável pela produção de peças para a motocicleta HDA CG 125 ES/KS, do período temporal de 4 anos referente a 300 colaboradores.

O arquivo continha a data, quantidade produzida, tempo de produção, tempo de *setup* da máquina, tempo total, quantidade de peças (conformes e não conformes), operador responsável, atividade executada, máquina utilizada, centro de custos e o produto desenvolvido. Como o arquivo para análise possuía 109.147 linhas, apresenta-se na Tabela 1 a exemplificação da planilha de dados utilizados para a análise do estudo.

Tabela 1

Dados fornecidos pela empresa

H6 Produto	Atividade	Máquina	CC	Total Peças	Tempo	Mês	Tempo convertido
VS99850000001	X5	00015	3511	845	06:80	41729	7,333333333333
VS99850000001	X5	00015	3511	1.600	08:40	41729	8,666666666667
7672804-W	E4	00059	3131	3.840	01:00	41670	1
11101491200C	D3	00068	3111	3.200	01:25	41698	1,416666666667

[...] continua

Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir dos dados foi executada a função CONT.SE do Excel que possibilitou a contagem de vezes que cada operador foi mencionado na coluna de operador no banco de dados. Desta maneira foi possível desenvolver a Tabela 2, que possibilita a visualização da representatividade dos empregados da planilha fornecida pela empresa, indicando os operadores mais relevantes no conjunto de dados.

Tabela 2

Relevância dos funcionários em relação ao todo

Operadores	Incidência	Relevância	Relevância Acumulada
655	6.526	6,56%	6,56%
65	5.895	5,92%	12,48%
620	5.388	5,41%	17,89%
608	4.950	4,97%	22,86%
468	4.262	4,28%	27,14%
399	3.562	3,58%	30,72%
726	3.521	3,54%	34,26%
559	3.413	3,43%	37,69%

[...] continua

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 2, é possível observar todos os operadores que passaram pela linha de montagem número um da empresa, objeto de estudo no período estudado, o número de vezes em que o operador foi referido dentro dos dados analisados e a relevância em relação à totalidade dos dias trabalhados da análise.

Observou-se posteriormente a experiência/aprendizagem do indivíduo no chão de fábrica, medida pela quantidade produzida acumulada no período, permitindo

analisar as atividades executadas pelo operador em condições específicas e de forma contínua. Com base nos dados da empresa considerou-se também o centro de custos, a atividade executada pelo operador, a máquina utilizada, a data em que o processo ocorreu e a quantidade de peças que foram feitas naquela data.

O método utilizado para o desenvolvimento das curvas de aprendizagem foi baseado no estudo de Wright (1936). O método consiste na aplicação de uma fórmula matemática:

$$y = C_1 x^b$$

Sendo: y – Tempo/custo para produção de uma peça após x unidades;
 C_1 – Tempo/custo para a produção da primeira peça;
 x – Quantidade de peças;
 b – Índice de aprendizagem

Considerando: $b = LN(y) / LN(x)$

Onde o parâmetro “quantidade de peças” pode ser obtido pela divisão do tempo ou custo de execução da primeira peça pela segunda, demonstrando qual o nível de redução percentual (Wright, 1936). A análise considera os índices de produtividade de 5 colaboradores da empresa estudada, sendo que os resultados são apresentados por meio das curvas de aprendizagem, conforme o modelo proposto por Wright (1936).

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se o desenvolvimento e a análise referente a comparação da realidade dos dados com a projeção proposta pela curva de aprendizagem de Wright (1936), conforme a base de dados fornecida pela empresa objeto de estudo.

4.1 Análise de curvas de aprendizagem

Considerando o histórico das informações obtidas junto a empresa, foram analisados os dados de cinco operadores, sendo nomeados como 65, 399, 468, 608 e 655. Após segregação dos dados foi possível identificar o tempo médio da primeira remessa executada pelos operadores e da segunda remessa, desta maneira, conforme o método de Wright (1936), foi possível verificar o índice de aprendizagem de cada um dos operadores para a atividade laboral desenvolvida.

Observando inicialmente a condição do operador 65 e a sequência de cálculos para obtenção do índice de aprendizagem, no caso deste operador foram 6,42 horas de trabalho para produzir 6.312 peças, quando se divide o tempo pelo número de peças produzidas gera uma média de 0,001016582 horas, para produção de cada peça. Conforme a manipulação 5, da curva de Wright (1936), é possível chegar na equação que possibilita o isolamento do índice b , demonstrado a seguir.

$$b = LN(y) / LN(x)$$

$$b = LN(0,001016582) / LN(6312)$$

$$b = -0,7876$$

$$b = -78,76\%$$

Os dados dos demais 4 operadores também foram identificados, permitindo observar a partir de gráficos de linhas plotado pelo software Excel que oferece a comparação dos dados reais do funcionário com os dados obtidos através da equação de Wright (1936).

Na Figura 1 é possível fazer a comparação da evolução de cada funcionário em relação a experiência adquirida, neste caso, a linha ordenada representa o tempo que cada operador demorou para executar a tarefa em uma peça, e a abscissa representa a quantidade de vezes que ele executou um conjunto de processos da atividade observada.

Observa-se de forma comparativa a partir dos gráficos apresentados na Figura 1, que o operador identificado como 399, apresentou a curva de aprendizagem de Wright (1936), conforme preconizado pelo modelo, evidenciando que a curva de aprendizagem desenvolvida tem alto índice de aprendizagem. O índice apresentado pelo operador foi de -77,48% o que significa que a cada vez que o número de processos executados por este trabalhador é dobrado ele reduz o tempo ou custo do processo em cerca de 22,52%.

Este fenômeno pode ter ocorrido por dois motivos, o primeiro é pelo processo ser considerado menos complexo, o grau de complexidade de cada processo influência no índice de aprendizagem da tarefa, o qual neste caso parece ser uma atividade facilmente executada. O segundo fator que pode ser considerado, é que o operador colocado na função possui alto grau de assimilação de experiência e aprendizagem, o que permite que ele se desenvolva de forma rápida, atingindo o ponto estacionário da função em um tempo menor.

Neste caso verifica-se que a curva pode ser utilizada para prever o desenvolvimento do funcionário na função, porém, como os números são extremamente baixos após a redução, com o tempo, mesmo que pequena a variação gráfica, ainda existe certo grau de erro na previsão, às vezes maiores às vezes menores.

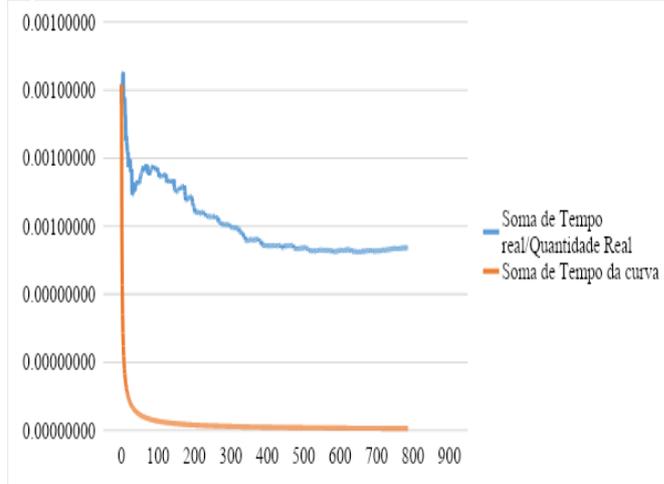
Apesar de não ser um método com grande grau de confiabilidade a longo prazo, neste caso, o método é plausível, já que o índice de aprendizagem em relação ao índice real demonstrou comportamento semelhante, mesmo que não exato, assim sendo possível confirmar que a redução de custo nesta tarefa teve grande relevância e ligação ao aprendizado do funcionário.

No caso do operador 65, o índice de aprendizagem foi de -78,76%, ou seja, a cada vez que o número de atividades executadas pelo operador é dobrado o custo ou tempo para execução do mesmo processo era reduzido em 21,24%, o que demonstra a absorção de aprendizado do operador com base nos dois primeiros processos executados.

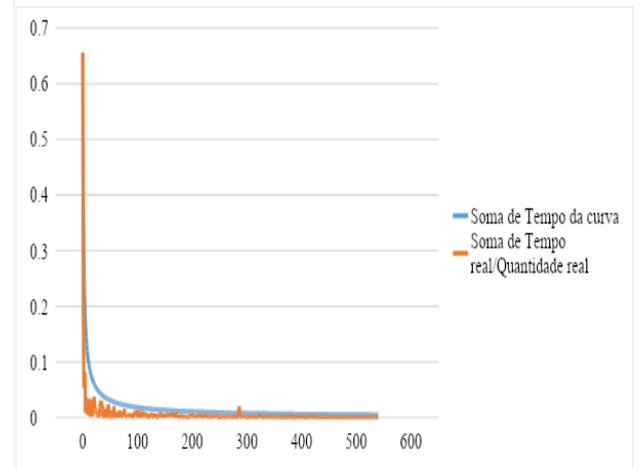
Já o operador 468, apresentou índice de aprendizagem de -60,13%, sendo que o tempo de redução é de 39,87% para este operador. Enquanto o operador 608 apresentou índice de aprendizado de -92,39%, o que representa uma redução 7,61% a cada vez que a quantidade de processos executados fora dobrada.

Conforme o gráfico apresentado pela Figura 1, e o índice de aprendizagem encontrado para o operador 468 é relativamente baixo, pode-se obter uma gama de conclusões, as duas mais plausíveis seriam que o operador já possui experiência na função, o que tornaria mais difícil desenvolver e absorver mais conhecimento de maneira contínua na função executada, a segunda opção seria que o operador possui baixa absorção de conhecimento ou leva mais tempo para aprender a função, podendo desta maneira ou ser alocado ou desligado da empresa por ser ineficiente. Tais resultados devem ser observados e avaliados pelos gestores de produção.

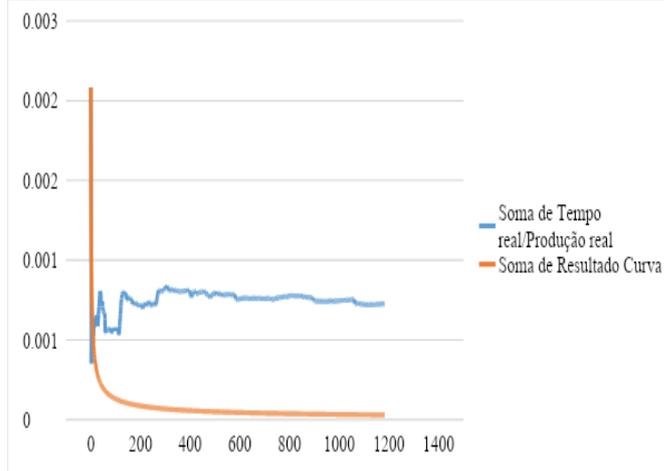
Operador 65



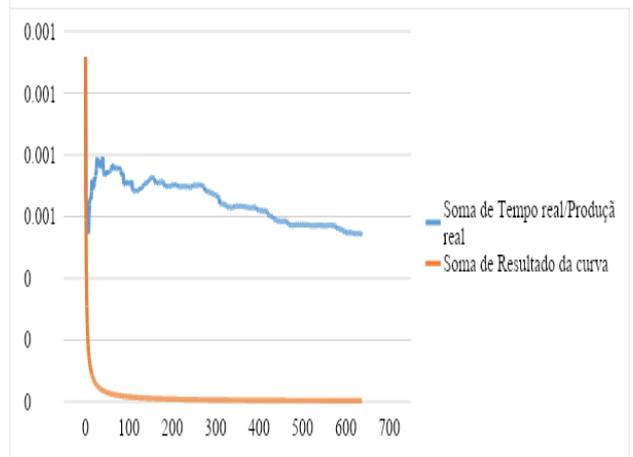
Operador 399



Operador 468



Operador 608



Operador 655

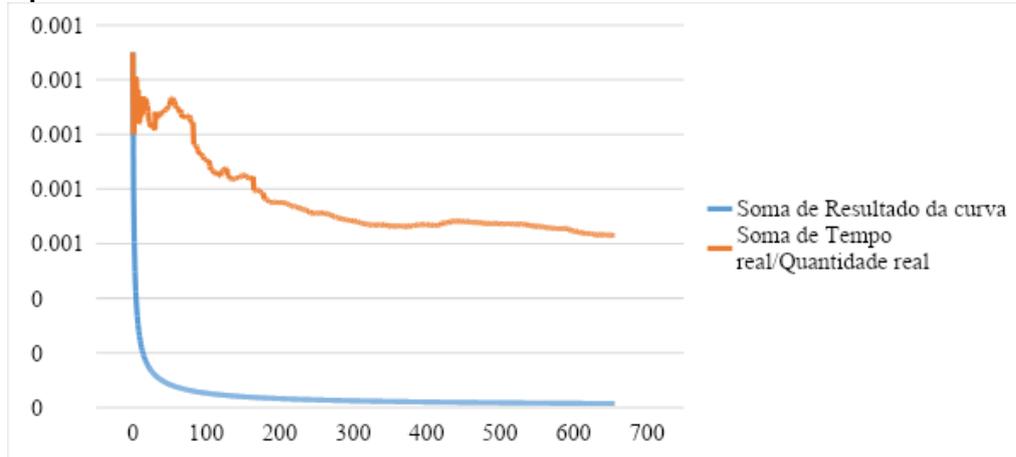


Figura 1. Comparativo de produção e o modelo Wright

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa.

O operador 655 apresentou índice de aprendizagem de -69,59%, o que apresenta uma redução de custos ou tempo para a tarefa demandada de cerca de 30,41% a cada vez que o número de repetições fosse dobrado. Seguindo o padrão mencionado na metodologia foi comparado de forma gráfica a realidade com os dados gerados através da curva proposta por Wright (1936), conforme demonstra a Figura 1.

De acordo com a Figura 1 a curva plotada utilizando o método de Wright (1936) com base no índice de aprendizagem inicial, não representa a realidade deste funcionário 655, visto que, o mesmo pode ser um funcionário com experiência prévia que pode estar retornando de suas férias o que gera um período de não constante de aprendizado, mesmo assim, é possível verificar que há o efeito de aprendizagem no operador, já que o tempo para execução de sua tarefa está decrescendo conforme a quantidade de repetições executadas.

Destaca-se ainda, que no ambiente das empresas industriais o uso de tecnologias, como sensores inteligentes baseados em sistemas de visão computacional e no aprendizado das máquinas, favorece o monitoramento das atividades laborais e a avaliação do desempenho dos colaboradores, sem afetar o desempenho das operações (Peñas et al., 2022).

4.2 Aprendizagem comparativa entre os operadores

Os operadores 65 e 655 são responsáveis por executar a mesma atividade, porém, em máquinas diferentes, na Figura 2 compara-se os dados reais e os gerados pela curva de Wright (1936).

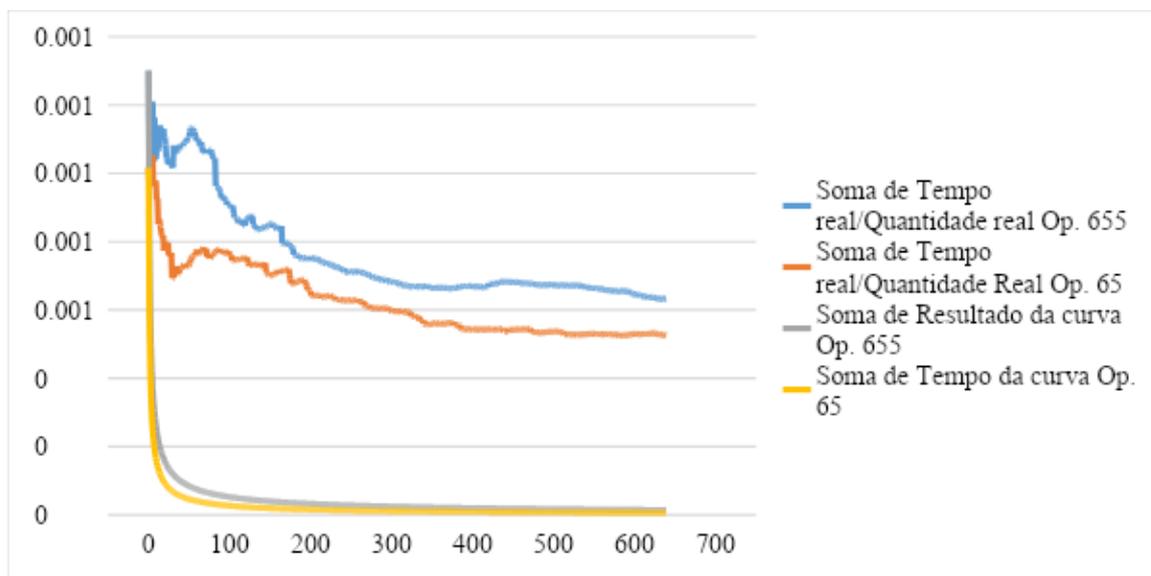


Figura 2. Gráfico comparativo da aprendizagem

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a plotagem das curvas para comparação entre os operadores é possível observar que o ritmo de aprendizagem do operador número 65 é mais elevado que o do operador número 655, o que mostra que o operador número 65 é um funcionário que tem maior produtividade, e que, comparando-se apresenta maior velocidade de adaptação a novas tarefas similares, em relação ao outro operador em questão.

O uso de técnicas de otimização de recursos favorece à análise do desempenho e auxiliam na tomada de decisão (Peñas et al., 2022). Estes resultados vão ao encontro dos estudos de Ferreira et al. (2020); Ozório et al. (2022) e Anzanello e Fogliatto (2005), evidenciando que a experiência reduz o tempo para a execução das tarefas, bem como podem reduzir os custos produtivos, a partir do aumento da produtividade deste colaborador.

Novos aprendizados e modelos de curvas estão começando a surgir, entregando maior complexidade a partir do uso de características multivariadas, bem como indicando que esses modelos são mais precisos do que os modelos anteriores, embora sejam mais difíceis de estimar, como por exemplo o modelo apresentado por Boone, Elshaw, Koschnick, Ritschel e Badiru (2021) e Di Luozzo, Pop e Schiraldi (2021).

Cada vez mais as empresas de manufatura estão adotando o gerenciamento de operações, com base nos pressupostos da Indústria 4.0, visando aprimorar suas operações no chão de fábrica, bem como utilizando aspectos do aprendizado de máquinas (Peñas et al., 2022). Neste sentido, destaca-se que a partir da análise da curva de aprendizagem ou eficiência dos trabalhadores é possível avaliar o tempo de aprendizagem e sua produtividade, observando os principais fatores que podem interferir no desempenho operacional individual dos colaboradores no ambiente produtivo (Ozório et al., 2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento desta pesquisa, pôde-se fazer uma análise do índice de representatividade apresentada pelo modelo de curva de aprendizagem de uma empresa do ramo metalmecânico. Considerou-se os dados de produção de peças de motocicleta dos operadores do chão de fábrica da empresa objeto de estudo, e a modelo de curva de aprendizagem de Wright (1936).

Os dados foram organizados e trabalhados com auxílio do software Excel de maneira que possibilitasse verificar se era possível a aplicação da teoria proposta pelo estudo. Utilizando o mesmo software foram segregados os operadores para localizar de forma decrescente os que foram considerados mais relevantes dentro do conjunto de dados fornecido pela empresa. Desta maneira foram escolhidos pela relevância e conformidade dos dados cinco operadores que possibilitaram a aplicação do modelo desejado, os operadores 65, 399, 468, 608 e 655.

A aplicação da curva de aprendizagem foi desenvolvida conforme o modelo proposto por Wright (1936), sendo utilizados os índices de aprendizagem adquiridos por meio da divisão entre o tempo médio obtido do primeiro processo e o tempo médio obtido pelo segundo processo, gerando assim um índice de redução de tempo por peça, considerado este o índice de aprendizagem do indivíduo. Os índices obtidos para os operadores 65, 399, 468, 608 e 655, foram respectivamente -78,76%, -77,48%, -60,13%, -92,39% e -69,59%. A variação do tempo do aprendizado representou percentuais de variação entre 7,61% e 39,87%.

Com base na teoria das curvas de aprendizagens apenas um operador apresentou uma aprendizagem constante, conforme proposto pelo modelo utilizado.

Por meio dos gráficos desenvolvidos para comparação entre a curva de aprendizagem e os dados reais do operador, foi possível constatar que em apenas um dos gráficos desenvolvidos o modelo de Wright correspondeu com proximidade a realidade do nível de aprendizagem do trabalhador, a curva do operador 399, inicialmente, foi a que mais se aproximou da realidade, porém a longo prazo todas as curvas se distanciaram da realidade. Observou-se que alguns outros fatores não

mensuráveis podem ter afetado os colaboradores no decorrer do tempo observado, sendo estes fatores relacionados aos aspectos emocionais, falta de perspectiva de crescimento dentro da empresa, insatisfação com a tarefa executada, falta de integração com o grupo em que trabalha, colaboração dos colegas, dentre outros aspectos.

Portanto, conforme os dados apresentados pelo estudo, os resultados podem ser utilizados para previsões de curto período de tempo, mas sem uma comparação extremamente fidedigna ao longo do tempo. Pode-se observar a partir da análise que ocorre o efeito de aprendizagem/eficiência no chão de fábrica da empresa, e que este é relevante em relação a redução dos custos de mão de obra direta, destacando a importância de capacitações para qualificar a execução das tarefas em menor tempo possível.

Evidencia-se como limitação do estudo a análise de apenas uma linha de produção e os critérios apresentados pelo sistema de informações e controle da empresa estudada. Como sugestões para pesquisas futuras sobre as curvas de aprendizagem, contatou-se a possibilidade de avaliação de grupos de operadores de alta performance, selecionados pelo desempenho das curvas de aprendizagem, tanto na empresa estudada como para outros ambientes, bem como observar o desempenho em organizações que se utilizam de critérios de produtividade a partir do plano de cargos e salários, com gratificações relacionadas à avaliação de desempenho.

De forma geral, os resultados da pesquisa evidenciam a importância da análise do desempenho de tarefas a partir do modelo de curvas de aprendizagem, ponderando que estes dados podem contribuir com reflexões acerca da avaliação laboral dos colaboradores, bem como, auxiliar na identificação do efeito da aprendizagem na redução dos custos.

REFERÊNCIAS

- Abell, D. F. & Hammond, J. S. (2006). *Dinâmica de custos: efeitos de escala e de experiência*. In: Mintzberg, H. et al. O processo da estratégia: conceitos, contextos e casos selecionados. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 14(2), 295-300.
- Andrade, M. M. (2002). *Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas*. 5. ed. São Paulo: Atlas.
- Anzanello, J. M. & Fogliatto, F. S. (2005). Alocação de modelos de produtos a equipes de trabalhadores baseada em modelos de curvas de aprendizagem. *Revista Produção*, 15(2), 221-234.
- Anzanello, M. J., & Fogliatto, F. S. (2007). Curvas de aprendizado: estado da arte e perspectivas de pesquisa. *Gestão & Produção*, 14(1), 109-123.
- Boone, E. R., Elshaw, J. J., Koschnick, C. M., Ritschel, J. D., Badiru, A. B. (2021). A learning curve model accounting for the flattening effect in production cycles. In: *Handbook of Scholarly Publications from the Air Force Institute of Technology*, 28, 72–97.

- Cipolla, F. P., & Giussani, P. (2022). Crítica das teorias da financeirização das empresas não financeiras. *Brazilian Journal of Political Economy*, 42, 128-149. <https://doi.org/10.1590/0101-31572022-3160>
- Curvelo, E. F. S., & Andrade, A. R. (2022). O papel da informação nos indicadores de desempenho e nos processos organizacionais. *P2P e Inovação*, 8(2), 92-108. <https://doi.org/10.21721/p2p.2022v8n2.p92-108>.
- Di Luozzo, S., Pop, G. R., & Schiraldi, M. M. (2021). The human performance impact on OEE in the adoption of new production technologies. *Applied Sciences*, 11(18), 8620.
- Ebbinghaus, H. (1913). *Memory: A contribution to experimental psychology*. New York City: Teachers College, Columbia University.
- Ferreira, J. Â., Kreling, J. P. D., & Ozório, A. K. (2020). Learning e forgetting curve theories, aplicadas ao planejamento e programação da produção. *Brazilian Journal of Development*, 6(12), 94914-94928. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-105>.
- Gil, A. C. (1999). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 5. ed. São Paulo: Atlas.
- Gotardo, R., Zanin, A., & Kruger, S. D. (2023). Relação dos ciclos operacional e financeiro na lucratividade de uma empresa industrial. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 14(2), 1555-1569. <http://doi.org/10.7769/gesec.v14i2.1633>
- Kruger, S. D., Juttel, E., & Zanin, A. (2023). As organizações possuem recursos e capacidade para o desenvolvimento da inteligência artificial? *P2P e Inovação*, 9(2), 116–133. <https://doi.org/10.21721/p2p.2023v9n2.p116-133>.
- Mazur, J. E. & Hastie, R. (1978). Learning as Accumulation: a reexamination of the learning curve. *Psychological Bulletin*, 85(6), 1256-1274.
- Ozório, A. K., Valmorbidia, E. L., Kreling, J. P. D., Ferreira, J. Â., & Schiavon, T. F. (2022). Modelo da curva de aprendizagem para previsão da produção para processos mecanizados e automatizados. In: Anais do 42 Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR.
- Pavão, R. (2008). Aprendizagem e memória. *Revista da Biologia*, São Paulo, v. 1, p. 16-20, 2008.
- Peña, C., Romero, D., & Noguez, J. (2022). Workforce learning curves for human-Based assembly operations: A state-of-the-Art review. *Applied Sciences*, 12(19), 9608.
- Silva, L. F. S. C. (2020). Entre a posição e as práticas: classes médias nas perspectivas de Erik Olin Wright e Pierre Bourdieu. *Ciências Sociais Unisinos*, 56(1), 48-57.

Stroieke, R. E., Fogliatto, F. S., & Anzanello, M. J. (2013). Estado da arte das aplicações de curvas de aprendizado. *Gestão & Produção*, 20, 681-694. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013000300013>.

Wright, T. P. (1936). Factors affecting the cost of Airplanes. *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3(4), 122-128.