



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**AVALIAÇÃO DA CURVA DE APRENDIZAGEM EM SERVIÇOS DE
ASSENTAMENTO DE REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO: Um
estudo de caso de uma obra de alto padrão multifamiliar em Belém-PA**

Daniel Reis Gomes

**Belém - PA
Junho/2025**

DANIEL REIS GOMES

**AVALIAÇÃO DA CURVA DE APRENDIZAGEM EM SERVIÇOS DE
ASSENTAMENTO DE REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO: Um
estudo de caso de uma obra de alto padrão multifamiliar em Belém-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de
Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade
Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil
Orientador: Prof. Dr. Ricardo Bentes Kato

**Belém
2025**

DANIEL REIS GOMES

**AVALIAÇÃO DA CURVA DE APRENDIZAGEM EM SERVIÇOS DE
ASSENTAMENTO DE REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO: Um
estudo de caso de uma obra de alto padrão multifamiliar em Belém-PA**

Belém, 04 de junho de 2025

Prof. Ricardo Bentes Kato
Dr. pela UFPA
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr Frederico Guilherme Pamplona (UFPA)

Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte (UFPA)

CONCEITO FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, em seguida aos familiares que me auxiliaram durante toda a caminhada, principalmente meus pais, agradeço aos meus amigos que tornaram essa caminhada de cinco anos mais prazerosa, agradeço de forma especial a empresa e equipe de obra que possibilitou a coleta dos dados utilizados neste trabalho, ao orientador deste trabalho por sempre se mostrar disponível em minhas dúvidas e a Universidade Federal do Pará por ter sido uma das minhas várias casas durante esse período.

AValiação DO EFEITO APRENDIZAGEM EM SERVIÇOS DE ASSENTAMENTO DE REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO: Um estudo de caso de uma obra de alto padrão multifamiliar em Belém-PA

Discente: Daniel Reis Gomes¹

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Bentes Kato²

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar as curvas de aprendizagem no contexto de uma obra de múltiplos pavimentos de alto padrão em Belém-PA, para os serviços de assentamento de revestimento interno e externo. Para isso, serão avaliados a curva de aprendizado e a evolução dos índices de produtividade ao longo do desenvolvimento das atividades, os quais foram obtidos por meio de coleta in loco das horas produtivas de cada equipe. O efeito aprendizagem caracteriza-se pela diminuição dos recursos de uma atividade em função do número de repetições de execução. O fenômeno do efeito aprendizagem é um resultado típico da especialização do trabalho, na qual se tem o mesmo processo sendo executado repetidas vezes por um mesmo indivíduo ou grupo. O grande número de repetições faz com que o trabalhador tenha maior familiaridade com a tarefa, evitando dessa forma desperdícios de recursos materiais e humanos atrelados a uma falta de conhecimento acerca do processo produtivo. No contexto da construção civil, tal efeito se mostra presente em obras com uma unidade básica de repetição bem definida, como casas, em obras horizontais condominiais, pavimentos-tipo, em torres, como é o caso deste trabalho, ou em obras de infraestrutura. A metodologia foi fundamentada na coleta dos valores dos índices de produtividade ao longo dos pavimentos executados para os serviços observados e posterior avaliação da variação dos índices e montagem das curvas de aprendizado por meio de regressão estatística. Ao final, foi possível observar uma melhora significativa na produtividade das equipes de revestimento interno, com ganhos produtivos médios de 30% e 50%. Ademais, o trabalho realizou uma aplicação prática das curvas de aprendizagem em orçamentos executivos obtendo-se uma economia de 14,09% no custo. Para o revestimento externo não foi possível observar um comportamento homogêneo para o serviço com um todo.

Palavras-chave: efeito aprendizagem, curva de aprendizado, atividades repetitivas e revestimento.

1. Discente da Faculdade de Engenharia Civil

2. Prof. Dr. da Universidade Federal do Pará

ABSTRACT

This study aims to evaluate learning curves in the context of a high-end multi-story building project in Belém-PA, focusing on internal and external cladding installation services. To achieve this, the learning curve and the evolution of productivity indices throughout the development of activities will be assessed. These indices were obtained through on-site data collection of the productive hours of each team. The learning effect is characterized by the reduction of resources required for an activity as a function of the number of times it is performed. This phenomenon typically results from work specialization, in which the same process is repeatedly executed by the same individual or group. The high number of repetitions allows the worker to become more familiar with the task, thus avoiding the waste of material and human resources due to a lack of knowledge about the production process. In the context of civil construction, this effect is noticeable in projects with a well-defined basic unit of repetition, such as houses in horizontal residential developments, typical floors in towers, as in this study, or infrastructure projects. The methodology was based on collecting productivity index values throughout the executed floors for the observed services, followed by an evaluation of the variations in these indices and the construction of learning curves through statistical regression. In the end, a significant improvement was observed in the productivity of the internal cladding teams, with average productivity gains of 30% to 50%. Furthermore, the study included a practical application of learning curves in executive budgeting, resulting in a 14.09% cost reduction. For external cladding, however, it was not possible to observe homogeneous behavior across the service as a whole.

Keywords: learning effect, learning curve, repetitive activities and tiling.

1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil ao longo de sua história de desenvolvimento sempre foi caracterizada como uma indústria de baixo nível de desenvolvimento tecnológico e com grandes desperdícios de recursos materiais e humanos (Keogh; Smallwood; 2021). No entanto, principalmente a partir da década 70 do século passado com o avanço do modelo toyotista de produção essa perspectiva começou a mudar. O contexto de um mercado cada vez mais competitivo que prioriza a minimização das perdas e maximização dos ganhos, propicia um

ambiente para o surgimento de filosofias de racionalização da produção que atendam a essa demanda. Nesse sentido, a Construção Enxuta ganha destaque. Koskela (2002) a define como o conjunto de atitudes e processos que minimizam o desperdício de materiais, tempo e esforço como o intuito de gerar a maior quantidade possível de valor. Na avaliação de Koskela um dos pontos de interesse da Construção Enxuta é a redução do tempo de ciclo entre tarefas.

Diante do exposto, um dos fatores que contribuem para o encurtamento entre atividades é o efeito de aprendizagem. Esse efeito pode ser definido como a redução dos recursos necessários, seja de tempo ou de materiais, para a produção de uma unidade básica, à medida que o número de repetições de execução aumenta. Na lógica do efeito de aprendizagem, um maior número de repetições leva à especialização do trabalho, o que, por consequência, resulta em economia de recursos empregados na produção. Wright, em 1936, foi pioneiro ao abordar o tema, analisando-o na indústria aeroespacial americana. Posteriormente, outros pesquisadores desenvolveram e expandiram esse campo de estudo como Thomas et al (1986), Leite (2002), Agnolletto (2010) e Pellegrino e Constantino (2017).

Dessa forma, tendo em vista a necessidade de um gerenciamento de obra que seja o mais assertivo possível, no qual a necessidade da avaliação histograma de mão de obra é imprescindível a implementação da análise do efeito aprendizagem em obras repetitivas pode se tornar uma importante ferramenta para elaboração de cronogramas e estimativas de custos. Logo, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a variação da produtividade em função do efeito aprendizagem nos serviços de revestimento interno e externo, no que se refere as curvas ajustadas, em uma obra de alto padrão multifamiliar em Belém – PA, além de verificar a utilização desses índices em um planejamento real.

A escolha pelos serviços de revestimento se dá pela sua intrínseca complexidade na liberação de outros serviços, seu representativo valor no orçamento da obra e pela falta de trabalhos na literatura que abordem o assunto. O trabalho será baseado na coleta de dados de produtividade de diferentes equipes em variadas frentes de serviço de assentamento de revestimento. Após coleta dos dados avaliar-se-á o comportamento desses índices quanto ao efeito aprendizagem.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PRODUTIVIDADE

A literatura apresenta diversas definições para o conceito de produtividade, mas uma das mais aceitas a descreve como a razão entre entradas e saídas em uma cadeia produtiva (Dozzi; AbouRizk; 1993). Nesse contexto, entendemos "entradas" como os recursos necessários, como mão de obra, materiais, equipamentos e capital financeiro, enquanto "saídas" referem-se aos produtos e serviços gerados, incluindo capital financeiro. Assim, quanto mais eficiente for o processo de transformação dessas entradas em saídas, maior será a produtividade. No setor da construção civil, avaliar a eficiência com que as horas trabalhadas se convertem em serviços realizados no canteiro é de extrema importância.

Uma das alternativas mais eficazes para mensurar a produtividade da mão de obra é a utilização da razão unitária de produção (RUP), que representa a relação entre entradas (hora-homem) e unidades de serviço produzidas (m^2 , m^3 , kg etc.) (Souza, 2000). A quantificação das horas trabalhadas é obtida multiplicando-se as horas necessárias para a produção do serviço pela quantidade de homens na equipe. Além disso, ao mensurar as horas de produção, é importante considerar tanto as horas produtivas quanto as não produtivas.

Quanto a produtividade, essa pode ser afetada por diversos fatores como: 1) Comunicação deficiente; 2) Atraso na chegada dos materiais; 3) Falta de material e dificuldades financeiras do proprietário; 4) Falta de planejamento; 5) Baixa capacidade/incompetência dos supervisores; 6) Ausência dos supervisores, danos frequentes aos equipamentos e greves de trabalhadores; 7) Mudanças no projeto (Attar; Gupta; Desai, 2012). Outro fator que afeta a produtividade é o efeito aprendizagem.

2.2 EFEITO APRENDIZAGEM

Um dos grandes desafios da gerência de projetos é a melhoria da produtividade das equipes. A capacidade de estimar a produtividade dentro do ambiente de obra acaba se tornando um grande desafio devido aos diversos fatores que afetam a produtividade. Sendo o efeito aprendizagem um desses fatores (Ralli et al., 2020).

Esse efeito caracteriza-se pela diminuição de recursos necessários utilizados para produção de uma unidade básica em função da repetição do trabalho (Thomas et al., 1986). Segundo Pacheco (2008) a execução de atividades de forma constante e ritmada gera o efeito

aprendizagem. A avaliação e quantificação do efeito aprendido se dá principalmente pela formação das curvas de aprendizado (Pellegrino e Constantino, 2017).

Wright, em seu estudo de 1936 sobre a indústria aeroespacial americana, foi pioneiro na elaboração de um modelo de curva de aprendizado. O modelo matemático por ele proposto relacionava o custo de produção de uma unidade ao total de unidades fabricadas, demonstrando que o custo total diminuía à medida que mais unidades eram produzidas. Esse modelo ficou conhecido como linear ou modelo de Wright. O modelo desenvolvido por Wright segue a seguinte formulação da equação 1 a qual também pode ser observada na sua forma linearizada (equação 2).

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

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

Onde:

- Y é o custo da operação (HH/m², tempo, valor);
- A é o custo inicial da primeira operação;
- n é o parâmetro de caracterização curva de aprendizagem.

Segundo Mine et al (2014) n relaciona-se diretamente com a taxa S de aprendizado por meio da equação 2. O valor da taxa S representa o valor percentual relativo do custo de produção quando se dobra o lote de produção. Segundo Agnolletto (2010) esses valores para a construção civil variam entre 0,80 e 0,95. Quanto menor o valor de S maior o aprendizado.

$$S = 2^{-n} \text{ (Eq.3)}$$

Com o tempo, outros modelos de curvas de aprendizado foram desenvolvidos e incorporados à literatura, como evidenciado no trabalho de Weisheng (2023).

Ao longo dos anos, muitos foram os trabalhos que avaliaram o efeito aprendizagem na construção civil em diferentes contextos. No trabalho de Pellegrino e Constantino (2017) avalia-se o efeito aprendizagem em atividades atreladas a elaboração de estruturas em concreto armado. No trabalho de Ralli et al (2020) avalia-se a formação das curvas de aprendizado na construção de fundações submarinas. Já o trabalho de Mine et al (2014) avalia o efeito em

serviços de acabamento interior em edifício de 11 pavimentos. Enquanto o trabalho de Mállyusz e Varga (2017) aborda o efeito das curvas de aprendizado no custo de um projeto. As dissertações de Leite (2002) e Agnoletto (2010) obtiveram índices médios de produtividade para variados tipos de serviços, os resultados obtidos estão destacados na tabela a seguir.

Tabela 01: Índices da literatura

Serviço	Unidade	Índice (HH/m ²)	Taxa S
Alvenaria interna	HH/m ²	0,82	90%
Chapisco de parede	HH/m ²	0,07	87%
Reboco de parede	HH/m ²	0,48	91%
Formas	HH/m ²	0,90	92%
Escoras	HH/m ²	0,27	92%
Armaduras	HH/Kg	0,06	88%
Concretagem	HH/m ³	1,03	98%
Desforma	HH/m ²	0,63	97%

Fonte: Leite (2002) e Agnoletto (2010)

Desse modo, percebe-se na literatura trabalhos que avaliam o efeito aprendizagem por meio de diferentes abordagens metodológicas, podendo-se citar desde análises de modelos computacionais até a coleta in loco dos dados do canteiro, No entanto, apesar da grande variedade de trabalhos, nota-se que em sua grande maioria consegue-se verificar o efeito aprendizado. Portanto, fica claro, a enorme gama de trabalhos que estudam o efeito aprendizado aplicado a diferentes contextos.

3. METODOLOGIA

3.1 DEFINIÇÃO DA OBRA

A coleta dos dados ocorreu na torre de um empreendimento residencial de alto padrão no bairro da Batista Campos, centro de Belém-PA. A torre é constituída por 26 pavimentos-tipo, com dois apartamentos por andar com área de 234,72 m², dois duplexes de área de 407,15 m², além de possuir uma área condominial representada pelos seguintes pavimentos: subsolo, térreo, mezanino e cobertura de forma que o empreendimento totaliza 20.822,31 m² de área construída. A análise do efeito aprendizagem foi feita nos pavimentos-tipo, devido ao seu caráter repetitivo.

3.2 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

3.2.1 REVESTIMENTO INTERNO

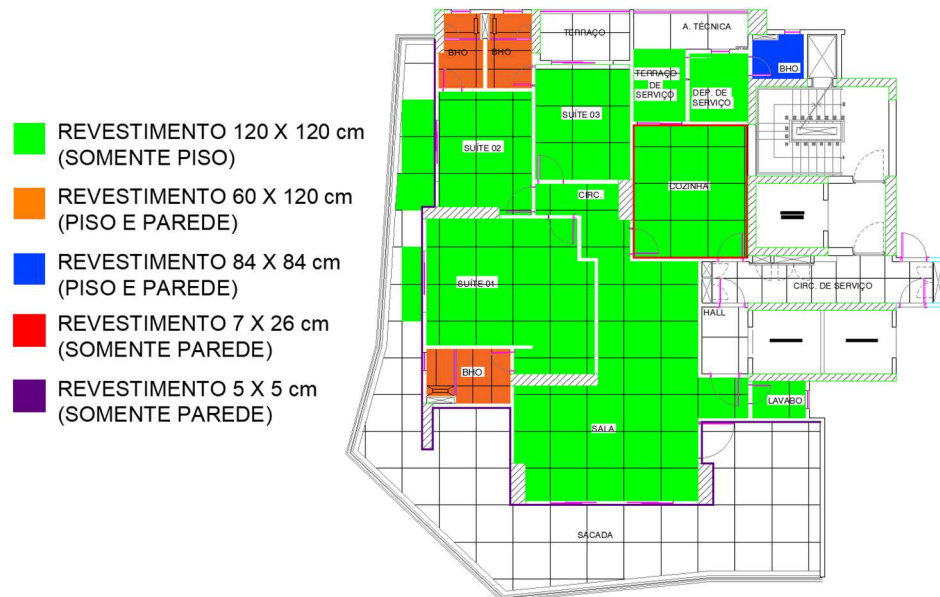
Esse serviço é constituído pelo assentamento de diferentes formatos de revestimento aplicados em piso e parede, na qual têm-se os seguintes formatos: 120 x 120 cm para piso interno, 60 x 120 cm para piso e parede de banheiros, 84 x 84 cm para piso e parede banheiro de serviço e 7 x 26 cm (placa de 26 x 29,5 cm) para parede de cozinha, ainda se nota a aplicação dos rodapés de formato 15 x 120 cm em locais de aplicação do revestimento de 120 x 120 cm. Para assentamento das peças de 120 x 120 cm, 60 x 120 cm e 84 x 84 cm utilizou-se a técnica da dupla colagem, com aplicação de argamassa de assentamento no substrato e no tardo da peça. Para a peça de 7 X 26 cm utilizou a simples colagem. Totalizando-se ao final do serviço 473,74 m² de revestimento assentado em um pavimento, a tabela a seguir destaca os quantitativos totais de cada uma das peças.

Tabela 02: Quantitativos de revestimento

Revestimento	Unidade	Quant. total/Apto	Quant. total/ Pavimento
Porcelanato 120 x 120 cm	m ²	121,71	240,58
Porcelanato 60 x 120 cm	m ²	67,25	134,50
Porcelanato 84 x 84 cm	m ²	16,20	32,40
Cerâmica 7 x 26 cm	m ²	33,13	66,26
Rodapé 0,15 x 120 cm	m	69,49	138,97
Total Revestimento (sem rodapé)			473,74

Fonte: Autor

Figura 01: Mapa de revestimento interno



Fonte: Autor

De início, para execução do serviço foram utilizadas duas equipes constituídas de 4 pedreiros oficiais e 3 serventes. Inicialmente a equipe era formada pelo mesmo número de pedreiros e 2 serventes, no entanto, visto a dificuldade encontrada pelos oficiais no assentamento do revestimento de 120 x 120 cm, pelo seu grande formato, visto que que nessa divisão sempre um pedreiro ficava sem um servente, a gestão da obra decidiu adicionar mais um servente a equipe com intuito de melhorar a sua produtividade. Ademais, com o decorrer do tempo, em uma conjectura de necessidade do avanço do serviço, a gestão da obra decidiu por contratar mão de obra terceirizada, no entanto, este trabalho focou-se em analisar a produtividade das duas equipes internas.

Para a execução do serviço no pavimento, foi definido o prazo de 22 dias úteis, dentro desse tempo, a equipe se dividia de forma que durante o ciclo inteiro 2 pedreiros ficavam responsáveis pelo assentamento do revestimento de banheiros e os outros dois ficavam responsáveis por assentar revestimentos de piso interno, parede de cozinha e rodapés. Os serventes das equipes são responsáveis pela limpeza do pavimento e abastecimento de material.

3.2.2 REVESTIMENTO DE PASTILHA INTERNA

O serviço caracteriza-se pelo assentamento de pastilha de formato 5 x 5 cm (placa 30 x 30 cm) nas áreas de sacada, totalizando 67,97 m² de área de pastilha assentada em um apartamento e 135,93 m² para o pavimento-tipo, para o assentamento utiliza-se a técnica da simples colagem. A equipe utilizada é composta por 2 pedreiros oficiais e 1 servente. Na qual os oficiais são responsáveis pelo corte e assentamento das pastilhas nos panos e o servente fica responsável por suprir a necessidade de abastecimento de material, tanto no se refere as pastilhas quanto ao preparo da argamassa de assentamento, além de atuar na limpeza do revestimento após serviço. O ciclo máximo estipulado pela obra para execução do serviço foi definido em 9 dias por pavimento. Conforme o tempo estipulado, a equipe completa leva metade do ciclo, 4,5 dias, em cada apartamento do pavimento, incluso neste período a limpeza para assentamento das pastilhas em parede previamente emboçada.

3.2.3 REVESTIMENTO DE PASTILHA EXTERNA

O serviço de revestimento de pastilha externa é caracterizado pelo assentamento do mesmo tipo de pastilha descrita no item anterior, no entanto, sua aplicação é feita nos panos principais de fachada da torre, por meio de andaimes suspensos, popularmente conhecidos como “jaús”, totalizando 1688,59 m² de área de pastilha aplicada no pano de análise que se refere a um dos panos de revestimento da torre.

As especificidades atreladas a execução desse tipo serviço, permite-o ser analisado de forma distinta da pastilha interna. Para a execução da atividade foram utilizadas 7 equipes de jaú, numeradas de 1 a 7, sendo 5 equipes compostas por 2 pedreiros oficiais e 1 servente; e duas equipes de 1 pedreiro oficial e 1 servente. Os pedreiros são responsáveis pelo assentamento e limpeza das pastilhas e pela confecção das juntas de dilatação, enquanto o servente responsabiliza-se pelo abastecimento de material, pastilha e argamassa, além de atuar no auxílio do pedreiro. Quanto ao ciclo, foi definido inicialmente 31 dias úteis, no entanto devido a dificuldades encontradas no serviço não possível segui-lo.

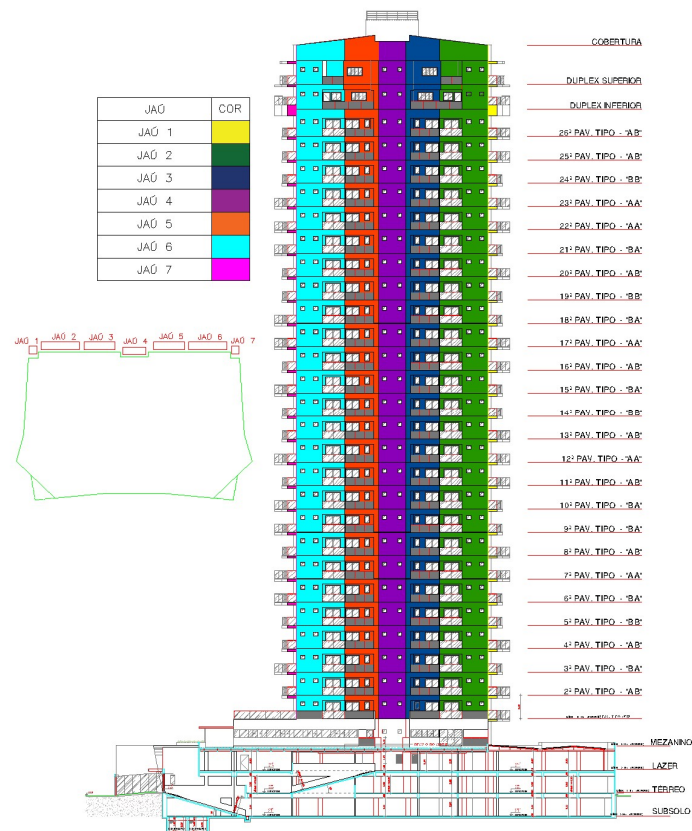
Tabela 03: Áreas de pastilha por Jaú

Jaú	Unidade	Quantidade total
Jaú 1	m ²	94,79
Jaú 2	m ²	363,14
Jaú 3	m ²	158,69
Jaú 4	m ²	457,41

Jaú 5	m ²	156,65
Jaú 6	m ²	363,14
Jaú 7	m ²	94,79
Total fachada		1688,59

Fonte: Autor

Figura 02: Mapa de revestimento externo



Fonte: Autor

3.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

A coleta dos dados ocorreu entre março e dezembro 2024 pelo período de 10 meses, registrando-se as quantidades totais em m² dos serviços executados, horas produtivas e total de homens envolvidos em cada serviço. De forma, que fosse possível estipular os índices globais de produtividade em termos HH/m², em cada unidade de repetição, permitindo a avaliação das curvas de aprendizado dos serviços. A sistematização e tratamento, bem como geração dos gráficos de índice de produtividade, foram feitas por meio do software MS Excel. Para

consideração dos índices de produtividade foi-se levado em consideração somente as horas produtivas dos oficiais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 REVESTIMENTO INTERNO

A tabela 04 indica o comportamento dos índices de produtividade ao longo dos pavimentos para ambas as equipes, além disso evidencia-se a variação percentual desses índices em relação ao primeiro pavimento executado. Para generalização e obtenção da curva de ajuste, fez-se a média dos resultados das equipes.

De forma geral, percebe-se um grande incremento de produtividade do 1º para o 2º pavimento, totalizando uma variação média de 31,29%, saindo de um índice inicial 2,72 HH/m² para 1,88 HH/m². Isso se deve em grande parte a melhor adequação da equipe ao serviço (efeito aprendizagem), bem como a utilização de estratégias adotadas pela gerência da obra. Quanto essas estratégias, pode-se citar a definição de uma política de bonificação, adição de mais um servente para auxílio dos profissionais que trabalhavam com as peças de 120 x 120 cm e por fim, a criação de uma bancada para cortes em 45°, é importante salientar que a hora dos profissionais responsáveis pela bancada de corte foram consideradas na elaboração dos índices.

Para os pavimentos 2, 3 e 4 percebe-se uma tendência próxima ao valor de 1,85 HH/m², para os pavimentos 5 e 6 esse valor aproxima-se de 1,50 HH/m². Por fim, obteve-se um índice médio de execução de 1,88 HH/m² e um variação média de 37% em relação ao 1º pavimento e uma variação de 10,02% entre pavimentos o que representa em termos reais uma mudança de 33 dias úteis de execução do primeiro pavimento para 18 dias no último pavimento.

Tabela 04: Variação dos índices (revestimento interno)

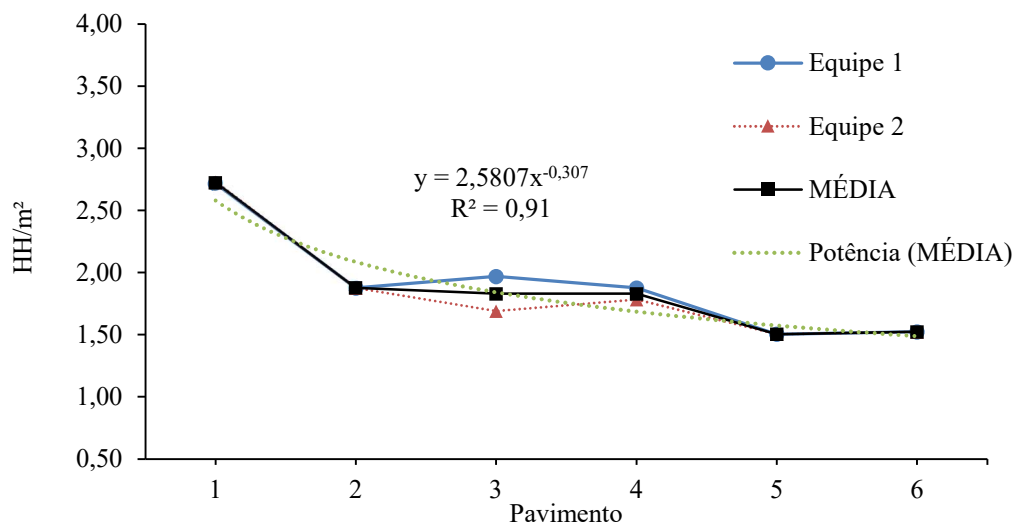
Nº Pavimento	Equipe 1			Equipe 2			Média		
	Índice médio (HH/m ²)	Δ % 1º pav.	Δ %	Índice médio (HH/m ²)	Δ % 1º pav.	Δ %	Índice médio (HH/m ²)	Δ % 1º pav.	Δ %
1	2,72	0,00%	0,00%	2,73	0,00%	0,00%	2,72	0,00%	0,00%
2	1,88	30,92%	30,92%	1,88	31,29%	31,29%	1,88	31,29%	31,10%

3	1,97	27,50%	-4,95%	1,69	38,10%	9,90%	1,83	32,99%	2,48%
4	1,88	30,92%	4,72%	1,78	34,69%	-5,49%	1,83	32,99%	0,00%
5	1,50	44,60%	19,80%	1,50	44,90%	15,63%	1,50	44,90%	17,77%
6	1,52	43,91%	-1,23%	1,52	44,22%	-1,23%	1,52	44,22%	-1,23%
Índice médio	1,69	35,57%	9,85%	1,85	38,64%	10,02%	1,88	37%	10,02%

Fonte: Autor

O gráfico 01 representa os valores descritos na tabela 04 plotados, a curva de ajuste obtida pela média dos resultados é representada pela equação $y = 2,5807x^{-0,307}$, a qual obteve um R^2 de 0,91 o que identifica que boa parte da variação da variável produtividade é explicada pela variação da variável pavimentos, o que fica evidente pelo comportamento homogêneo dos valores da curva média. Quanto ao valor da taxa S, utilizando-se a equação 02, obteve-se 81%, o que fica dentro do esperado para obras civis de edificação segundo Agnolletto (2010).

Gráfico 01: Variação dos índices (revestimento interno)



O modelo proposto foi analisado quanto a parâmetros métricos como Erro quadrático médio (EQM), Raíz do erro quadrático médio (REQM) e Erro absoluto médio (EAM), obtendo-se os respectivos valores de 0,0189; 0,1376 e 0,1164 valores baixos que indicam a precisão do modelo. Testes de hipótese como valor-p ($\alpha = 5\%$) e estatística t foram realizados para testar a significância dos coeficientes do modelo, nos quais foi possível constatar a sua expressividade. Os parâmetros de análise do modelo estão descritos na tabela 05.

Tabela 05: Parâmetros de análise do modelo

Coeficientes	Coeficientes	Stat t	valor-P	EQM	REQM	EAM
A	2,581	4,447557	0,004340501	0,01894	0,13763	0,11647
n	-0,307	-2,714642	0,034890194			

Fonte: Autor

4.2 REVESTIMENTO DE PASTILHA INTERNA

A tabela 06 indica o comportamento dos índices de produtividade ao longo dos pavimentos para ambas as equipes, além disso evidencia-se a variação percentual desses índices em relação ao primeiro pavimento executado. Para generalização e obtenção da curva de ajuste, fez-se a média dos resultados das equipes.

De forma geral, percebe-se um grande incremento de produtividade do 1º para o 2º pavimento, totalizando uma variação média de 47,37%, saindo de um índice inicial 2,46 HH/m² para 1,29 HH/m². Isso se deve em grande parte a melhor adequação da equipe ao serviço (efeito aprendizagem), bem como a utilização de estratégias adotadas pela gerência da obra. Quanto essas estratégias, pode-se citar principalmente a definição de uma política de bonificação.

Para os pavimentos seguintes percebe-se uma tendência a valores de índice próximos a 1,20 HH/m², com exceção do pavimento 4 no qual percebe-se um aumento para 1,42 HH/m², devido a questões intrínsecas da obra como falta de material, dificuldades de movimentação e retrabalhos.

Destaca-se que a equipe 2 não pode executar o seu pavimento de número 7 e 8, pois ela foi deslocada para outro serviço. Por fim, obteve-se um índice médio de execução de 1,24 HH/m² e um variação média de 50% em relação ao 1º pavimento e 10% entre pavimentos o que representa em termos reais uma mudança de um ciclo inicial de 20 dias úteis de execução do primeiro pavimento para 10 dias no último pavimento.

Tabela 06: Variação da produtividade (Pastilha interna)

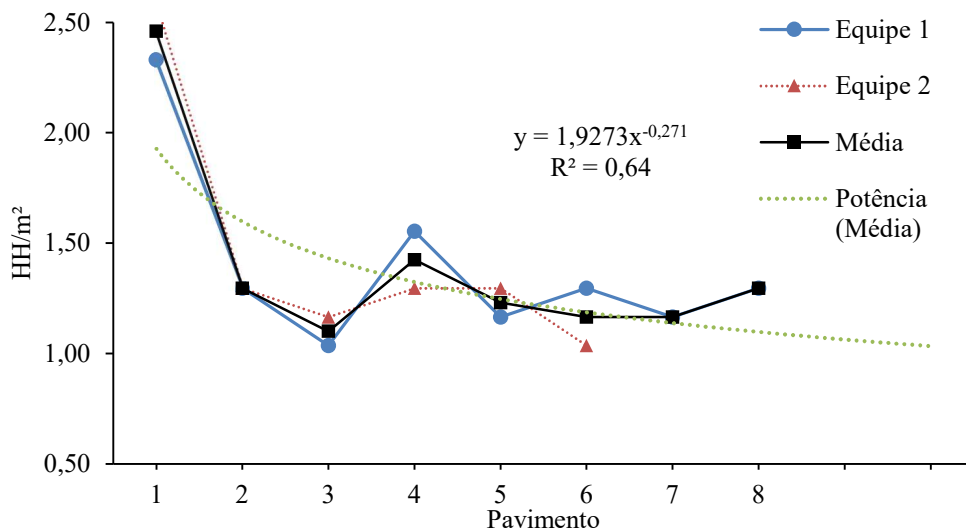
Nº Pavimento	Equipe 1			Equipe 2			Média		
	Índice médio (HH/m ²)	Δ % 1º pav	Δ %	Índice médio (HH/m ²)	Δ % 1º pav	Δ %	Índice médio (HH/m ²)	Δ % 1º pav	Δ %
1	2,33	0,00%	0,00%	2,59	0,00%	0,00%	2,46	0,00%	0,00%
2	1,29	44,44%	44,44%	1,29	50,00%	50,00%	1,29	47,37%	47,37%

3	1,04	55,56%	20,00%	1,17	55,00%	10,00%	1,10	55,26%	15,00%
4	1,55	33,33%	-50,00%	1,29	50,00%	-11,11%	1,42	42,11%	-29,41%
5	1,17	50,00%	25,00%	1,29	50,00%	0,00%	1,23	50,00%	13,64%
6	1,29	44,44%	-11,11%	1,04	60,00%	20,00%	1,17	52,63%	5,26%
7	1,17	50,00%	10,00%	-	-	-	1,17	52,63%	-
8	1,29	44,44%	-11,11%	-	-	-	1,29	47,37%	-
Índice médio	1,39	46,03%	3,89%	1,22	53,75%	13,78%	1,24	50%	10%

Fonte: Autor

O gráfico 02 representa os valores descritos na tabela 06 plotados, a curva de ajuste obtida pela média dos resultados é representada pela equação $y = 1,9273x^{-0,271}$, a qual obteve um R² de 0,64 o que identifica que uma parte razoável da variação da variável produtividade é explicada pela variação da variável pavimentos. Quanto ao valor da taxa S, utilizando-se a equação 02, obteve-se 83%, o que fica dentro do esperado para obras civis de edificação segundo Agnolletto (2010).

Gráfico 02: Variação dos índices (Pastilha interna)



O modelo proposto foi analisado quanto a parâmetros métricos como Erro quadrático médio (EQM), Raíz do erro quadrático médio (REQM) e Erro absoluto médio (EAM), obtendo-se os respectivos valores de 0,0825; 0,2873 e 0,1911, valores que não invalidam a representatividade do modelo. Testes de hipótese como valor-p ($\alpha = 5\%$) e estatística t foram realizados para testar

a significância dos coeficientes do modelo, nos quais foi possível constatar a expressividade do desses coeficientes. Os parâmetros de análise do modelo estão descritos na tabela 07.

Tabela 07: Parâmetros de análise do modelo

Coeficientes	Coeficientes	Stat t	valor-P	EQM	REQM	EAM
A	1,9273	4,447557	0,004340501	0,08255	0,28732	0,19106
n	-0,2706	-2,714642	0,034890194			

Fonte: Autor

4.3 REVESTIMENTO DE PASTILHA EXTERNA

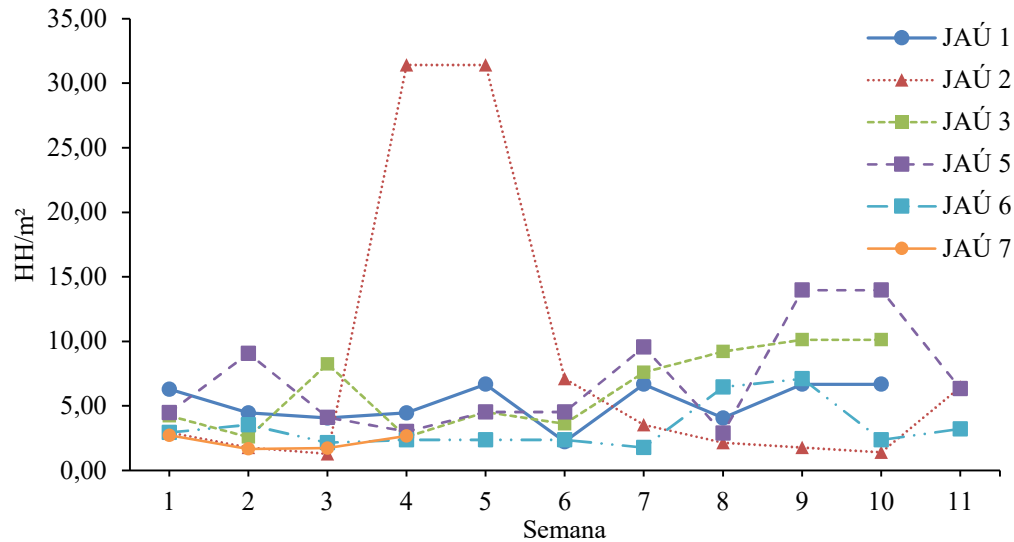
A tabela 08 indica o comportamento dos índices de produtividade ao longo das semanas para todas as equipes, além disso evidencia-se a variação percentual geral média desses índices em relação ao primeiro pavimento executado. Devido as diferentes estratégias utilizadas por cada profissional no desenvolvimento e a localização da atividade a forma adotada para acompanhamento do serviço foi por meio de medições semanais dos pavimentos executados, dessa forma buscou-se avaliar o efeito aprendizagem no desenvolver das semanas. A equipe do Jaú 4 teve sua atividade paralisada durante o acompanhamento do serviço devido a problemas na fachada, dessa forma os seus índices de produtividade não foram incorporados ao trabalho.

Tabela 08: Variação da produtividade (Pastilha externa)

Nº semana	Equipe 1	Equipe 2	Equipe 3	Equipe 5	Equipe 6	Equipe 7
	Índice (HH/m ²)	Índice (HH/m ²)	Índice (HH/m ²)	Índice (HH/m ²)	Índice (HH/m ²)	Índice (HH/m ²)
1 ^a	6,29	2,95	4,23	4,48	2,95	2,73
2 ^a	4,46	1,78	2,59	9,07	3,55	1,67
3 ^a	4,06	1,29	8,25	4,12	2,15	1,74
4 ^a	4,46	31,43	2,59	3,02	2,37	2,68
5 ^a	6,69	31,43	4,54	4,54	2,37	-
6 ^a	2,23	7,11	3,63	4,54	2,37	-
7 ^a	6,69	3,55	7,60	9,57	1,78	-
8 ^a	4,06	2,15	9,22	2,91	6,46	-
9 ^a	6,69	1,78	10,14	13,98	7,11	-
10 ^a	6,69	1,42	10,14	13,98	2,37	-
Índice médio	4,70	2,79	5,89	6,48	2,79	2,19
Δ (%) 1º PAV	18,66%	-208,69%	-54,11%	-63,19%	-15,04%	25,61%
Δ (%)	-20,09%	-228,9%	- 34,06%	-54,80%	-19,23%	-6,41%

Fonte: Autor

Gráfico 03: Variação dos índices (Pastilha externa)



A análise dos resultados presentes tanto na tabela 08 e gráfico 03, demonstra a grande variação dos índices de produtividade ao longo das semanas, de forma que foi possível observar que somente os jaús 1 e 7 tiveram ganhos produtivos ao longo do tempo, com ganhos percentuais respectivos de 18,66% e 25,61% em relação ao índice inicial, enquanto os demais jaús apresentaram resultados negativos. O jaú 2 apresentou grande variação nos seus valores de produtividade entre a semana 1 a 5, apesar disso a partir da semana 6 observa-se uma tendência na diminuição dos valores com uma leve elevação na última semana.

Essa variação do índice de produtividade se deve em grande parte a geometria da fachada, enquanto os jaús 1 e 7 executaram o serviço em panos de fachada retos com pouca necessidade de recortes, os demais jaús tiveram que executar o assentamento do revestimento em áreas que apresentavam vários recortes de pastilha para acabamento em vigas e janelas. Isso fica evidente nos saltos do índice de HH/m² do jaú 2 entre as semanas 3 e 6 e para os demais jaús nas semanas finais. Evidenciando a necessidade de adotar para esses serviços de recortes em fachada de forma específica, no entanto para este trabalho avaliou-se o serviço como um todo uma vez que o orçamento executivo da obra não previa essa diferenciação.

Devido à grande variação dos índices decidiu-se por não gerar uma curva de ajuste do serviço, pois ela não seria representativa para o serviço analisado.

4.4 APLICAÇÃO DAS CURVAS DE APRENDIZADO

A tabela 09 demonstra uma aplicação prática das curvas de aprendizagem, por meio de uma situação exemplo no qual se tem o serviço de assentamento de revestimento interno sendo executado em 10 pavimentos-tipo com valores de áreas de aplicação iguais a estudada neste trabalho. Na tabela fica exposto duas situações de planejamento. A primeira que utiliza o índice médio de 1,88 HH/m² para todos os pavimentos, situação padrão encontrada na maioria dos planejamentos, e a segunda na qual se utiliza índices de produtividade obtidos pela curva de aprendizado $y = 2,5807x^{-0,307}$.

A partir disso identifica-se o quantitativo total de hora-homem por pavimento obtido a partir de seu respectivo índice. O custo produtivo de cada pavimento é resultado direto da multiplicação da hora-homem total de cada pavimento pelo custo médio de R\$ 30,75 por hora do profissional pedreiro segundo publicação da Secretária de Obras Públicas do Pará em fevereiro de 2025.

Tabela 09: Comparação com outros índices

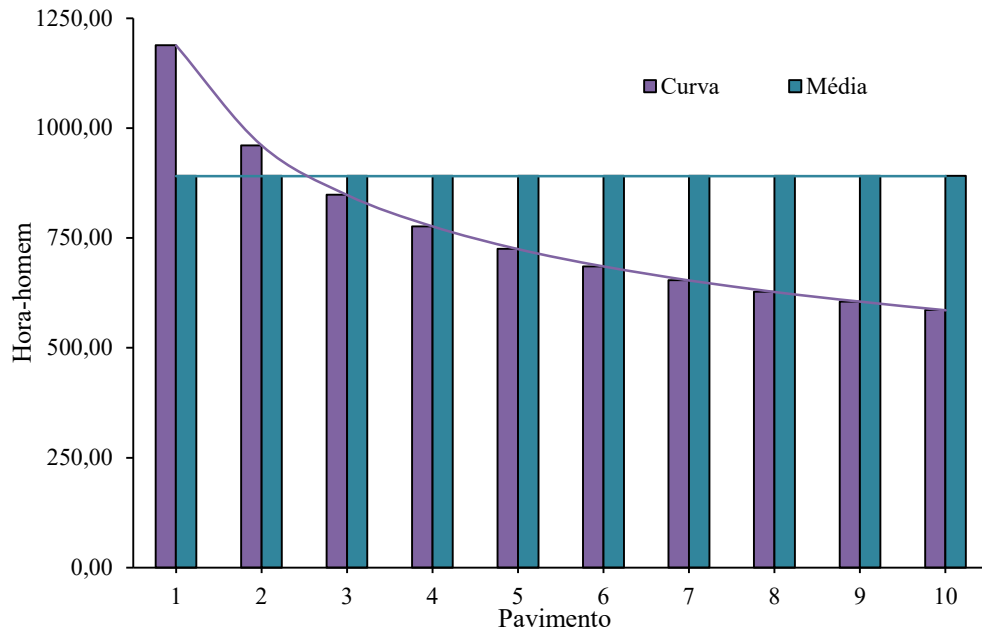
Pavimento	Média			Curva		
	Índice (HH/m ²)	HH	Custo	Índice (HH/m ²)	HH	Custo
1	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	2,51	1188,16	R\$ 36.535,94
2	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	2,03	960,41	R\$ 29.532,76
3	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	1,79	848,01	R\$ 26.076,18
4	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	1,64	776,32	R\$ 23.871,95
5	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	1,53	724,92	R\$ 22.291,35
6	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	1,45	685,46	R\$ 21.077,92
7	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	1,38	653,78	R\$ 20.103,66
8	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	1,32	627,52	R\$ 19.296,19
9	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	1,28	605,23	R\$ 18.610,92
10	1,88	891,15	R\$ 27.402,74	1,24	585,97	R\$ 18.018,57
Totais		8911,46	R\$ 274.027,44		7655,79	R\$ 235.415,44

Fonte: Autor

Ao final do processo, verifica-se que o custo estimado para o planejamento que utilizou os índices provenientes da curva de aprendizado gerou uma economia de 14,09 % em relação ao planejamento tradicional utilizando um único índice. A análise do gráfico 04 que representa o histograma de mão de obra para as duas situações permite visualizar com clareza que nos dois primeiros pavimentos o total de hora-homem para a curva de aprendizado ficou acima do total estimado pelo índice médio, no entanto a partir do 3 pavimento ocorrem decréscimos significativos nos valores de hora-homem da curva de aprendizagem, o que acaba elevando a

diferença entre as duas curvas. Por fim, no 10º pavimento chega-se aos valores de R\$ 18.018,7 para a curva de aprendizagem, que representa cerca 49% do custo inicial estimado para essa curva e R\$ 27.402,74 para curva com índice padrão

Gráfico 04: Comparação histograma de mão de obra



Fonte: autor

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo principal avaliar as curvas de aprendizagem através da análise dos índices de produtividade de 3 equipes de revestimento: revestimento interno, pastilha interna e pastilha externa utilizando o modelo de ajuste mais adequado indicado pela literatura. Sendo possível observar de forma muito clara o ganho produtivo devido ao fenômeno do efeito aprendizagem para os serviços de revestimento interno e pastilha interna, não observando-se ganhos produtivos no serviço de revestimento externo.

No serviço de assentamento de revestimento interno é visível os ganhos produtivos ao longo do serviço. Inicialmente tem-se uma produtividade muito baixa, abaixo do planejado pela obra, decorrente da falta de adaptação dos operários ao serviço. No 1º pavimento ocorreu uma série de debates sobre paginação, distribuição e montagem das equipes e estratégias de

execução que levaram a um aumento do tempo de execução, situações decorrentes em todas as obras. No entanto, a partir do 2º pavimento há um ganho produtivo expressivo e uma tendência a estabilização a partir do 5º pavimento executado. Ao fim, foi possível estabelecer um modelo de curva de aprendizagem que representa muito bem o comportamento do serviço.

Para serviço de assentamento de pastilha interna, também, também se observa com muita clareza os ganhos produtivos ao longo do serviço devido ao fenômeno do efeito aprendizagem. Inicialmente há uma dificuldade atrelada a execução do serviço, principalmente em relação a questões de paginação e recorte do revestimento, o que ocasiona uma produtividade baixa nesse pavimento, entretanto a partir do 2º pavimento, resolvidas essas pendências, há um ganho produtivo expressivo na execução. No 5º pavimento em diante nota-se uma tendência a estabilização. Por fim, foi possível obter uma curva que representa de forma satisfatória o desenvolvimento dos índices.

Para o serviço de pastilha externa não foi possível observar o efeito aprendizagem para execução global do serviço, no entanto para o caso específico do já 7 observar-se um ganho produtivo ao longo das semanas. A baixa produtividade observada nesse serviço se deve principalmente a fatores como a geometria da fachada, com muitos acabamentos de viga e recortes das janelas o que não tornava a atividade homogênea. Dessa forma, este trabalho decidiu não estabelecer um modelo de curva de aprendizado ao concluir que ela não seria representativa.

Por fim, a observação dos índices de produtividade dos serviços executados é de fundamental importância no planejamento e controle de qualquer obra. Logo, como visto neste trabalho, a implementação das curvas de aprendizagem no planejamento de obras repetitivas pode ser uma importante ferramenta para tomada de decisão. Além disso, a verificação dos índices permite observar situações não tão claras na fase de orçamentação da obra, como no caso do serviço de assentamento de pastilha em recortes de viga, que podem significar uma perda expressiva de recursos em fachadas que apresentem tais características. Para sugestão de trabalhos futuros recomenda-se uma análise dos índices de forma específica para variadas peças de revestimento e que se atendem a entender fatores que dificultem a presença do fenômeno do efeito aprendizagem.

REFERÊNCIAS

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

ATTAR, A. A.; GUPTA, A. K.; DESAI, D. B. A study of various factors affecting labour productivity and methods to improve it. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), v. 1, n. 3, p. 11-14, 2012.

KOSKELA, Lauri; HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn; TOMMELEIN, Iris. The foundations of lean construction. Design and Construction. Abingdon & New York: Routledge, 2002. p. 211-226.

LEITE, Madalena Osório. A UTILIZAÇÃO DAS CURVAS DE APRENDIZAGEM NO PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2002.

LU, Weisheng; YANG, Zhongze; KONG, Lingming. Identification of Learning Effects in Modular Construction Manufacturing. Automation In Constructon, Hong Kong, v. 1, n. 1, p. 1-12, jul. 2023.

MÁLYUSZ, Levente; VARGA, Anita. An Estimation of the Learning Effect on Project Cost Scheduling. Procedia Engineering, Budapest, v. 196, n. [N.I], p. 723-729, jun. 2016

MINE, N.; OLANREWAJU, A.; TAKEUCHI, M.. Learning Effect of Interior Finishing and Building Services Works for Multi-Dwelling Complex Projec. In: THE 31ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING, 31., 2014, [S.I]. Anais [...]. [S.I]: International Symposium On Automation And Robotics In Construction And Mining, 2014. p. 1-8.

PACHECO, Miguel T.G.; HEINECK, Luiz F. M.. REDUÇÃO DO TEMPO DE ATRAVESSAMENTO EM PROGRAMAÇÃO POR LINHA DE BALANÇO ATRAVÉS REDUÇÃO DA UNIDADE DE REPETIÇÃO SOBRE INFLUÊNCIA DO EFEITO APRENDIZADO: UMA VISÃO ENXUTA. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza/Ce. Anais [...]. [S.I]: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008. p. 2-9.

PELLEGRINO, Roberta; CONSTANTINO, Nicola. An empirical investigation of the learning effect in concrete operations. Emerald, Bari, v. 3, n. 25, p. 342-357, maio 2017.

RALLI, Panagiota et al. Investigation and Comparative Analysis of Learning Curve Models on Construction Productivity: The Case of Caisson Fabrication Process. Journal Of Engineering, Project, And Production Management. Atenas, p. 219-230. maio 2020.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de. Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 8, n. 1, 2000.

THOMAS, H. R.; MATHEWS, C. T.. Analysis of the Methods for Measuring Construction Productivity. Austin: University Of Texas, 1986..

WRIGHT, T. P.. Factors Affecting the Cost of Airplanes. Journal Of Th e Aeronautical Sciences. [S.I], p. 122-128. fev. 1936.