

Método das Curvas de Equilíbrio no Planeamento da Construção Repetitiva em Altura

J. Pedro Couto^{1,†}, J. Cardoso Teixeira²

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Azurém, P-4800-058 Guimarães, Portugal*

RESUMO

A abordagem do planeamento da construção repetitiva iniciou-se com os métodos tradicionais de programação. Porém, dadas as suas limitações no tratamento do problema desenvolveram-se métodos específicos para este tipo de construção, e mais recentemente introduziu-se o conceito de aprendizagem. Neste trabalho apresenta-se um novo método de programação dos trabalhos repetitivos, dotado dos atributos das metodologias tradicionais e das vantagens que resultam da utilização de métodos específicos na programação daquele tipo de trabalhos e que inclui a consideração do efeito da aprendizagem.

1. EVOLUÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO REPETITIVA

1.1. Programação com base nos métodos tradicionais

O planeamento é uma função de gestão de importância crescente na construção. O planeamento de projectos de construção enquadra-se na gestão da produção na actividade da construção, para o que a programação de projectos tem grande relevância. Alguns projectos de construção apresentam frequentemente características repetitivas de que interessa tirar partido na respectiva programação. Inicialmente, foram tratados com recurso às técnicas tradicionais dos diagramas de trabalho, como o Método do Caminho Crítico (Critical Path Method-CPM), mas cedo se verificou que estas apresentavam algumas dificuldades no tratamento daquele tipo de projectos (Couto, 1998). Além de obrigarem à representação fastidiosa de todas as actividades do projecto, não contemplam o seu carácter repetitivo e não salvaguardam a continuidade do trabalho para as equipas, o que constitui um elemento chave na construção repetitiva.

1.2. Métodos específicos para a construção repetitiva

O reconhecimento destas dificuldades levou a que nos últimos 30 anos diversos métodos específicos para a construção repetitiva tenham vindo a ser propostos. Têm por base o conceito da linha de equilíbrio, que deu origem ao método de programação com o mesmo

¹ Assistente do Dep.to de Engenharia Civil da Universidade do Minho

² Professor Associado do Dep.to de Engenharia Civil da Universidade do Minho

[†] Autor para quem a correspondência deverá ser enviada (jpc@civil.uminho.pt)

nome e a diversos outros como evolução deste (Figura 1).

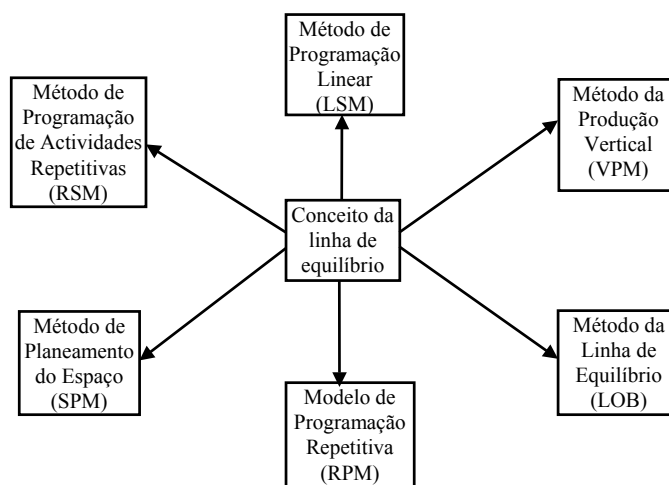


Figura 1 – Evolução dos métodos de programação a partir do conceito de Linha de Equilíbrio

O Método da Linha de Equilíbrio (Line of Balance-LOB) assenta na adopção de taxas de produção constantes para as actividades, as quais são representadas por linhas ascendentes com inclinações constantes num sistema de eixos ortogonais, unidades produzidas acumuladas vs tempo.

Na Figura 2 (O'Brien 1975) representa-se o plano de trabalhos para um edifício em altura, usando o Método de Produção Vertical (Vertical Production Method-VPM).

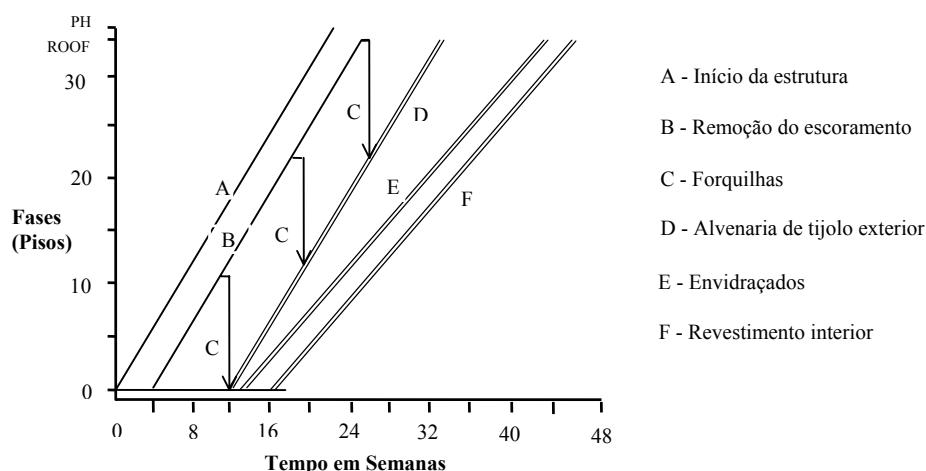


Figura 2 - Plano de trabalhos para projectos de construção em altura segundo o VPM

O estabelecimento do programa de trabalhos parte da adopção de taxas de produção para cada actividade identificada, em função das equipas de trabalho presentes e da respectiva produtividade. Nos métodos inicialmente propostos, as taxas são consideradas constantes ao longo de todo o projecto, decorrendo daí alguns inconvenientes por não se tomar em linha de conta eventuais alterações da envolvente que poderiam justificar taxas variáveis. Para além disso, a programação do projecto com taxas de produção constantes para todas as actividades poderá não conduzir à solução mais económica. Noutros métodos mais recentes porém, este aspecto já está contemplado, havendo portanto a possibilidade de fazer reflectir no programa de trabalhos as alterações da envolvente ao projecto, alterações da produtividade das equipas, modificação do número de equipas em cada actividade, etc..

O objectivo principal destes métodos centra-se em garantir trabalho contínuo para as equipas, eliminando as interrupções improdutivas e geradoras de custos suplementares em mão de obra e equipamentos. Da análise feita aos mais divulgados na literatura, ficaram evidentes as vantagens da sua utilização na programação de projectos com características repetitivas. As principais vantagens são a simplicidade gráfica, a diminuição do tempo e do esforço de programação, a facilidade de percepção da lógica do projecto, a facilidade de monitorização e utilização regular dos recursos. Apresentam porém alguns problemas que carecem de correcção tais como a dificuldade de computadorização e a necessidade de rigor na previsão da duração das actividades e no controlo da evolução do projecto. Embora os métodos referidos não apresentem diferenças substanciais entre si, verifica-se que alguns surgiram vocacionados para determinado tipo de projectos, demonstrando a preocupação em ir ao encontro das necessidades da construção e de eliminar alguns dos problemas associados aos métodos de programação tradicionais.

1.3. Introdução do conceito de aprendizagem

A evolução dos métodos de programação levou à introdução do conceito de aprendizagem no planeamento da indústria da construção. É do conhecimento geral que executando sucessivamente e nas mesmas condições determinada actividade, o tempo de execução diminui com as repetições. Este fenómeno revela-se em muitas actividades de construção e é conhecido como aprendizagem ou efeito da experiência. O aumento de produtividade deve-se principalmente ao conhecimento sucessivamente acrescido pela repetição do trabalho. A sua representação gráfica traduz-se na chamada curva de aprendizagem (Everett, 1994) que tem subjacente um decréscimo do tempo por unidade produzida, de acordo com uma taxa de aprendizagem previsível e constante. A teoria da curva de aprendizagem tem subjacente que a falta de qualificação dos trabalhadores e o efeito de aprendizagem são os factores que mais influenciam o desenvolvimento. Os métodos tradicionais e a maioria dos métodos específicos para a construção repetitiva não contemplam este fenómeno, não permitindo usufruir-se dos benefícios que decorrem da especificidade deste tipo de trabalho. No entanto, a investigação internacional recente, trouxe importantes contributos nesta área do conhecimento, através do desenvolvimento de modelos de representação gráfica da curva de aprendizagem que podem agora ser adoptados na formulação de novas e mais eficientes metodologias de programação da construção.

Hoje em dia é habitual falar-se de ambiente de competitividade e decréscimo por ciclo como elemento chave para o sucesso e sobrevivência das empresas. A identificação, desenvolvimento, competência e garantia de aprendizagem organizacional, tornaram-se estratégias imperativas. Como resultado instituíram-se programas para impulsionar a experiência e facilitar a aprendizagem organizacional. Muitos destes esforços centraram-se nos processos de desenvolvimento ou fabrico do produto das empresas industriais. Apesar desta tendência, um inquérito realizado a algumas empresas de construção portuguesas (Couto, 1998) revelou que embora reconheçam a ocorrência de aprendizagem em muitas actividades de construção, não conseguem tirar o devido proveito da repetitividade dos trabalhos. Utilizam sempre os mesmos métodos de planeamento, independentemente do tipo de obra, tornando-se por isso desajustados e incapazes de reflectir os benefícios deste tipo de construção. À semelhança do que já se passa com muitas empresas industriais, é importante que as empresas de construção percebam a importância de impulsionarem a aprendizagem na realização das actividades, incrementando rendimentos e dando resposta a uma lógica de mercado cada vez mais competitiva.

Uma parte significativa da actividade de construção nacional passa pela execução de edifícios em altura, o que normalmente envolve acentuada repetição de tarefas. Torna-se pois

importante desenvolver novas metodologias de planeamento adequadas a esta realidade e incorporar nessas metodologias o conceito da aprendizagem adjacente à repetitividade das tarefas, como elemento condicionante na contribuição para a eficiência da programação repetitiva na construção portuguesa.

O objectivo central deste trabalho prende-se com divulgação de um novo método de planeamento para a construção repetitiva em altura em Portugal baseado no Método da Produção Vertical – VPM e que contempla o efeito de aprendizagem na realização das actividades. A consideração do VPM como elemento de suporte permite usufruir das vantagens dos métodos específicos de programação da construção repetitiva enquanto que a consideração do fenómeno da aprendizagem permite obter previsões mais realistas resultando em planos de trabalho e de custos mais precisos, contribuindo para a elaboração de propostas mais competitivas e um controlo mais eficiente dos trabalhos (Couto, 1998).

2. MÉTODO DAS CURVAS DE EQUILÍBRIO (MCE)

2.1. Metodologia geral do MCE

A filosofia geral do Método das Curvas de Equilíbrio (MCE) que aqui se apresenta é idêntica à do Método de Produção Vertical (Vertical Production Method-VPM), embora este se apoie no conceito da linha de equilíbrio para definir os gráficos de produção, e o MCE tenha por base os conceitos da curva de aprendizagem na definição dos mesmos.

O planeamento da construção de um edifício em altura é dividido em 2 fases distintas. Na primeira fase, geralmente são incluídos todos os trabalhos de preparação: montagem e arranjo físico do estaleiro, acessos, instalações, armazéns, infraestruturas, etc.. Podem também ser incluídos nesta fase os trabalhos de terraplanagem geral, fundações, estrutura do primeiro piso, e outros trabalhos que eventualmente poderão estar associados ao arranque da construção. Para esta fase, propõe-se a utilização do Método do Caminho Crítico (CPM).

Contudo, quando a construção atinge o primeiro piso tipo, o projecto adquire características específicas. Cada piso é um sub-projecto individual com início e fim bem definidos e o planeamento deixa de ser determinado pelo cumprimento dos sub-projectos de cada piso, e passa a ser essencialmente condicionado pelo tempo requerido por cada uma das principais actividades em altura. Nesta fase, a superestrutura de betão, as alvenarias, os envidraçados, os revestimentos e outros trabalhos, são realizados e planeados segundo uma orientação vertical considerando o fluxo de trabalho de piso para piso. Os gráficos de produção para as actividades, traduzem-se em curvas contínuas ascendentes, cujo declive em cada ponto corresponde à taxa de produção que se verifica nesse ponto. Um acréscimo no declive significa um incremento na taxa de produção das actividades. Nenhuma poderá intersectar a anterior, mas qualquer uma das curvas pode avançar a um ritmo mais lento do que a sua antecessora.

O conjunto de actividades de cada projecto, deve ser equilibrado por forma a evitar interrupções de trabalho, congestionamentos, e conflitos entre a equipas, que resultem de taxas de produção inadequadas. Entretanto, o CPM deve ser utilizado para programar trabalhos que decorram paralelamente à construção em altura.

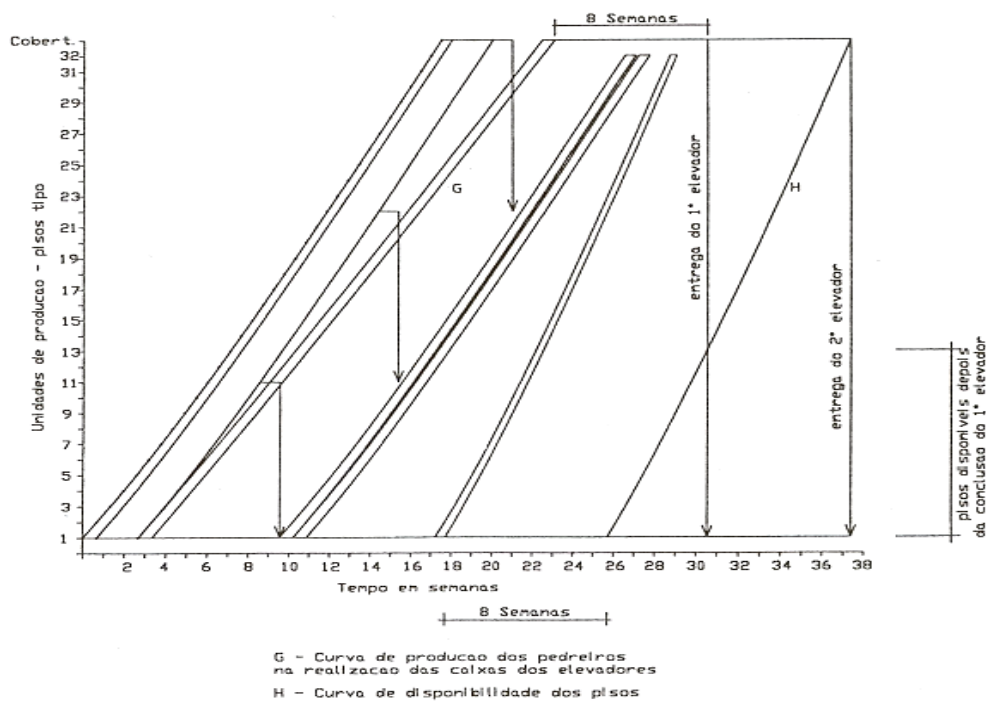


Figura 3 - Planeamento MCE para um projecto de construção em altura

2.2. Caracterização do método

2.2.1. Atributos

Procurou-se dotar o método de flexibilidade e capacidade de adaptação aos projectos e condicionalismos da construção portuguesa. Para o efeito, dotou-se o Método das Curvas de Equilíbrio - MCE, dos seguintes atributos:

- .para que a estrutura de planeamento proposta seja facilmente aceite, desenvolveram-se bases matemáticas de fácil interpretação;
- .a terminologia do CPM foi mantida;
- .é permitida a alteração das taxas de aprendizagem no decorrer dos trabalhos; por esta razão, foi prevista a variação das taxas de produção;
- .o conceito de localização do trabalho é considerado através de posições físicas, designadamente os pisos;
- .as actividades podem incluir restrições para que exista continuidade no trabalho, ordem de localização (ou posição), equipas múltiplas ou variáveis, interrupções planeadas do trabalho e taxas de produção variáveis;
- .os algoritmos permitem a alteração da ordem dos trabalhos e relações de precedência, uma vez que o desenvolvimento real dos projectos nem sempre decorre conforme o sistema de linhas de produção das actividades previamente definido;
- .a duração das actividades é obtida em função da produtividade média prevista, do tipo de trabalho e recursos utilizados, mas também tendo em conta as variáveis incertas que previsivelmente podem condicionar o desenrolar dos trabalhos.

2.2.2. Condicionalismos na duração das actividades e do projecto

A concretização de um projecto é considerada de sucesso se este for acabado no prazo planeado e de acordo com os custos estimados. Isso implica o planeamento cuidadoso das

actividades de construção que constituem o projecto. Para estimar a duração de uma actividade, são considerados os recursos utilizados, o tipo de trabalho, e a produtividade média esperada (estabelecida a partir de dados recolhidos de actividades semelhantes). No entanto, por vezes durante a execução do projecto surgem problemas que podem pôr em causa a duração prevista para as actividades. A quantificação e previsão dos seus efeitos é geralmente difícil porque se devem a variáveis incertas. Correntemente na previsão da duração dos projectos, o impacto das variáveis incertas, é considerado intuitivamente. Um conhecimento da sensibilidade das actividades a diferentes variáveis incertas, possibilita ao planeador denotar-lhes a atenção necessária.

De acordo com o inquérito realizado às empresas de construção portuguesas (Couto, 1998) as variáveis que mais incerteza causam na estimativa da duração das actividades são as seguintes:

- a) Curva de aprendizagem: é sabido que a produtividade no trabalho repetitivo aumenta com o número de repetições.
- b) Tempo (condições climatéricas): o ambiente natural influencia fortemente o progresso de uma obra. A incerteza da duração das actividades devido às condições atmosféricas, depende bastante da altura do ano em que os trabalhos decorrem.
- c) Condições de segurança na obra: se as empresas cumprirem as normas vigentes, os trabalhadores têm condições para desenvolver o seu trabalho com maior segurança.
- d) Coordenação das tarefas e equipas: é particularmente importante na fase em que as equipas utilizam o mesmo espaço físico.
- e) Actividade económica/pessoal especializado: existe uma relação entre a oferta de projectos e a produtividade do trabalho. À medida que o número de projectos aumenta, a oferta de mão de obra especializada vai ficando limitada levando as empresas a recrutar operários não qualificados para a execução dos trabalhos, o que implica perda de produtividade.

Neste inquérito ficou igualmente patente que o efeito de aprendizagem é o factor que mais influencia o progresso dos trabalhos repetitivos na construção em altura, assumindo por isso uma significativa importância no seu planeamento.

No MCE o planeador define as taxas de aprendizagem adequadas a cada actividade em função das características específicas de cada projecto repetitivo, do impacto das variáveis incertas que possam vir a interferir no desenvolvimento dos trabalhos, na experiência adquirida e no ritmo de trabalho imposto. Esta análise, pode ser feita recorrendo a modelos computacionais, ou fazendo uso da experiência adquirida na realização de projectos anteriores.

2.3. Modelação do efeito de aprendizagem

2.3.1. Previsão - Modelo Linear de coordenadas logarítmicas

No MCE utiliza-se o modelo linear de coordenadas logarítmicas (LOGX, LOGY) na modelação do efeito de aprendizagem, porque foi provado noutros estudos que é o que oferece melhor previsão sendo por isso usado frequentemente na modelação da aprendizagem. Este modelo assenta numa formulação simples e de fácil interpretação e manipulação.

$$\text{LOGY}_i = c + n\text{LOGX}_i \quad (1)$$

$$\text{ou } Y_i = aX_i^n \text{ (modelo Boeing segundo Hijazi 1989)} \quad (2)$$

onde,

$$n = \text{LOG}(L)/\text{LOG}(2) \quad (3)$$

e

- Y_i: tempo necessário para a realização da unidade i;
- X_i: índice da unidade de produção i;
- a: tempo necessário para produzir a primeira unidade;
- n: declive da curva logarítmica de aprendizagem;
- L: taxa de aprendizagem;
- c: LOG(a);
- i: numeração das unidades.

As curvas de previsão da produção para as actividades são representadas graficamente por linhas rectas quando usadas coordenadas logarítmicas.

2.3.2. Parâmetros de aprendizagem

O impacto do efeito da aprendizagem é bastante influenciado pela atribuição dos parâmetros de aprendizagem para cada actividade, designadamente as taxas de aprendizagem, o número de repetições necessário para que haja aprendizagem e os limites de aprendizagem. Geralmente, a aprendizagem na fase inicial resulta da experiência anterior e consiste num modesto aumento da produtividade, enquanto os trabalhadores se familiarizam com os trabalhos executados. À medida que os trabalhadores vão interiorizando os processos construtivos e se vão familiarizando com o ambiente envolvente, a curva de aprendizagem sofre um agravamento de declive, representando uma aceleração na produtividade. É claro que tanto na fase inicial como na seguinte, outras variáveis incertas poderão também influenciar o aumento da produtividade. Posteriormente, atingir-se-á uma fase caracterizada pela impossibilidade de realização de qualquer melhoria adicional na produtividade designando-se por isso limite de aprendizagem. A decisão relativamente aos parâmetros de aprendizagem, cabe ao planeador, fazendo uso da sua experiência ou da informação recolhida de projectos anteriores semelhantes.

2.4. Metodologia de aplicação do MCE

Em resumo, para a aplicação do Método das Curvas de Equilíbrio à construção de um edifício com características repetitivas propõe-se a adopção da seguinte metodologia:

- 1º recolher e analisar a informação existente sobre as actividades que constituem o projecto;
- 2º definir as actividades da 1ª fase do edifício;
- 3º definir a data de início para a fase do trabalho em altura;
- 4º aplicar o diagrama da rede de trabalhos para as actividades da 1ª fase;
- 5º analisar os condicionalismos da fase de construção em altura;
- 6º definir os parâmetros de aprendizagem para as várias actividades tendo em conta os condicionalismos do projecto e a procura de um sistema de actividades equilibrado;
- 7º calcular os tempos/piso para as diversas actividades recorrendo ao modelo linear de coordenadas logarítmicas;
- 8º analisar os resultados obtidos;
- 9º efectuar o processamento dos resultados.

3. ESTUDO DE UM CASO

Por forma a aquilatar a eficiência do método proposto procedeu-se à aplicação do MCE a um exemplo prático da estrutura de um edifício de habitação com 32 pisos. Com este exemplo pode-se verificar a facilidade de aplicação do MCE a uma construção deste tipo, pôr em prática a metodologia de aplicação definida para o método e estabelecer uma análise comparativa com o planeamento efectuado com o VPM para o mesmo projecto, obtendo-se uma significativa redução nos tempos totais para as diversas actividades e projecto total.

Foram consideradas três fases de aprendizagem. Nos primeiros pisos o aumento de produtividade é modesto e deve-se apenas à experiência anterior dos trabalhadores. Porém, à medida que os trabalhadores se vão familiarizando com os processos construtivos, materiais e envolvente, a curva de aprendizagem sofre um agravamento de declive, representando desta forma uma melhoria da produtividade. A esta fase segue-se um patamar que traduz a impossibilidade de qualquer melhoria adicional. Uma vez atingida esta fase, a melhoria da produtividade só se conseguiria com processos produtivos mais eficientes (Cunningham 1980) (Lutz, 1994).

Assim, para a *primeira fase* do 1º ao 3º piso temos:

$$.a = 2/3 = Y1 \text{ (duração em semanas prevista para o 1º piso)}$$

$$.X1 = 1 \text{ (índice atribuído ao 1º piso)}$$

$$.LOG(2/3) = c + nLOG(1), \text{ ver eq. (1)}$$

$$.c = -0.17609126$$

$$.L1 = 0.98 \text{ (taxa de aprendizagem adoptada para os 3 primeiros pisos)}$$

$$.n1 = LOG(0.98)/LOG(2) = -2.91463 \times 10^{-2} \text{ (declive da curva logarítmica para a primeira fase)}$$

$$.LOG(Y_i) = -0.17609126 - 2.91463 \times 10^{-2} LOG(X_i) \text{ (eq. do modelo linear para a primeira fase, ver eq. (1))}$$

ou

$$.Y_i = 2/3 X_i^{-2.91463 \times 10^{-2}} \text{ (eq. do modelo Boeing segundo Hijazi 1989, ver eq. (2))}$$

Definidas as equações, poderão obter-se os tempos por piso para a primeira fase.

Para o 2º piso temos:

$$.X2 = 2; LOG(Y2) = -0.17609126 - 2.91463 \times 10^{-2} LOG(2); LOG(Y2) = -0.184865037; Y2 = 10^{-0.184865037} = 0.653333354 \text{ (semanas)}$$

Para o 3º piso temos:

$$.X3 = 3; LOG(Y3) = -0.18999744; Y3 = 10^{-0.18999744} = 0.645657829 \text{ (semanas)}$$

Para a *segunda fase* do 4º ao 25º piso temos:

$$.L2 = 0.95 \text{ (taxa de aprendizagem adoptada do 4º ao 25º piso)}$$

$$.n2 = LOG(0.95)/LOG(2) = -7.40058 \times 10^{-2}$$

$$.LOG(0.645657829) = c + nLOG(1)$$

$$.c = -0.189997578$$

$$.LOG(Y_i) = -0.189997578 - 7.40058 \times 10^{-2} LOG(X_i)$$

Para o 4º piso temos:

$$.X4 = 2; LOG(Y4) = -0.189997578 - 7.40058 \times 10^{-2} LOG(2); LOG(Y4) = -0.21227554; Y4 = 10^{-0.21227554} = 0.613372881 \text{ (semanas)}$$

Para o 5º piso temos:

$$.X5 = 3; LOG(Y5) = -0.225307318; Y5 = 10^{-0.225307318}; Y5 = 0.59524093 \text{ (semanas)}$$

.

Para o 25º piso temos:

$$.X_{25} = 23; \text{LOG}(Y_{25}) = -0.290773336; Y_{25} = 10^{-0.290773336}; Y_{25} = 0.511949094$$

(semanas)

Para a *terceira fase* do 26º ao 32º piso temos:

$$.L_3 = 1.00 \text{ (taxa de aprendizagem adoptada do 26º ao 32º piso)}$$

$$.n_3 = \text{LOG}(1.00)/\text{LOG}(2) = 0.0$$

$$.\text{LOG}(0.511949094) = c + n\text{LOG}(1)$$

$$.c = -0.290773336$$

$$.\text{LOG}(Y_i) = -0.290773336 - 0.0\text{LOG}(X_i)$$

Para o 26º piso temos:

$$.X_{26} = 2; \text{LOG}(Y_{26}) = -0.290773336; Y_{26} = 10^{-0.290773336};$$

$$Y_{26} = 0.511949094 \text{ (semanas)}$$

.

Para o 32º piso temos:

$$.X_{32} = 8; \text{LOG}(Y_{32}) = -0.290773336; Y_{32} = 10^{-0.290773336};$$

$$.Y_{32} = 0.511949094 \text{ (semanas)}$$

Se for garantida a continuidade de trabalho para as equipas, à soma dos tempos por piso corresponde a duração total para a realização da estrutura. Na Tabela 1, sistematiza-se o processo de cálculo com vista à obtenção da curva de construção e da curva de aprendizagem. A primeira coluna (A) refere-se à numeração dos pisos, (B) aos índices atribuídos aos pisos, (C) aos tempos por piso em semanas, (D) à acumulação dos tempos por piso, (E) à transformação dos índices dos pisos para a forma logarítmica, (F) à acumulação dos índices dos pisos logaritmizados – LOGX e (G) à transformação dos tempos por piso para a forma logarítmica – LOGY.

Tabela 1 - Aplicação do MCE

| A | B | C | D | E | F | G |
|----|----|--------|---------|--------|--------|---------|
| 1 | 1 | 0,6667 | 0,6667 | 0,0000 | 0,0000 | -0,1761 |
| 2 | 2 | 0,6533 | 1,3200 | 0,3010 | 0,3010 | -0,1849 |
| 3 | 3 | 0,6457 | 1,9657 | 0,4771 | 0,4771 | -0,1900 |
| 4 | 2 | 0,6134 | 2,5790 | 0,3010 | 0,7782 | -0,2123 |
| 5 | 3 | 0,5952 | 3,1743 | 0,4771 | 0,9542 | -0,2253 |
| 6 | 4 | 0,5827 | 3,7570 | 0,6021 | 1,0792 | -0,2346 |
| 7 | 5 | 0,5732 | 4,3301 | 0,6990 | 1,1761 | -0,2417 |
| 8 | 6 | 0,5655 | 4,8956 | 0,7782 | 1,2553 | -0,2476 |
| 9 | 7 | 0,5591 | 5,4547 | 0,8451 | 1,3222 | -0,2525 |
| 10 | 8 | 0,5536 | 6,0082 | 0,9031 | 1,3802 | -0,2568 |
| 11 | 9 | 0,5488 | 6,5570 | 0,9542 | 1,4314 | -0,2606 |
| 12 | 10 | 0,5445 | 7,1015 | 1,0000 | 1,4771 | -0,2640 |
| 13 | 11 | 0,5407 | 7,6422 | 1,0414 | 1,5185 | -0,2671 |
| 14 | 12 | 0,5372 | 8,1794 | 1,0792 | 1,5563 | -0,2699 |
| 15 | 13 | 0,5340 | 8,7134 | 1,1139 | 1,5911 | -0,2724 |
| 16 | 14 | 0,5311 | 9,2445 | 1,1461 | 1,6232 | -0,2748 |
| 17 | 15 | 0,5284 | 9,7729 | 1,1761 | 1,6532 | -0,2770 |
| 18 | 16 | 0,5259 | 10,2988 | 1,2041 | 1,6812 | -0,2791 |
| 19 | 17 | 0,5235 | 10,8223 | 1,2304 | 1,7076 | -0,2811 |
| 20 | 18 | 0,5213 | 11,3436 | 1,2553 | 1,7324 | -0,2829 |
| 21 | 19 | 0,5192 | 11,8629 | 1,2788 | 1,7559 | -0,2846 |

| | | | | | | |
|----|----|--------|---------|--------|--------|---------|
| 22 | 20 | 0,5173 | 12,3802 | 1,3010 | 1,7782 | -0,2863 |
| 23 | 21 | 0,5154 | 12,8956 | 1,3222 | 1,7993 | -0,2878 |
| 24 | 22 | 0,5136 | 13,4092 | 1,3424 | 1,8195 | -0,2893 |
| 25 | 23 | 0,5119 | 13,9211 | 1,3617 | 1,8388 | -0,2908 |
| 26 | 2 | 0,5119 | 14,4331 | 0,3010 | 2,1399 | -0,2908 |
| 27 | 3 | 0,5119 | 14,9450 | 0,4771 | 2,3160 | -0,2908 |
| 28 | 4 | 0,5119 | 15,4570 | 0,6021 | 2,4409 | -0,2908 |
| 29 | 5 | 0,5119 | 15,9689 | 0,6990 | 2,5378 | -0,2908 |
| 30 | 6 | 0,5119 | 16,4809 | 0,7782 | 2,6170 | -0,2908 |
| 31 | 7 | 0,5119 | 16,9928 | 0,8451 | 2,6839 | -0,2908 |
| 32 | 8 | 0,5119 | 17,5048 | 0,9031 | 2,7419 | -0,2908 |

A Figura 4 representa a curva de construção da estrutura onde estão perceptíveis as três fases de produção consideradas. A um modesto acréscimo de declive da curva de construção sucede-se uma fase de acréscimo mais acentuado, terminando com uma fase de declive constante.

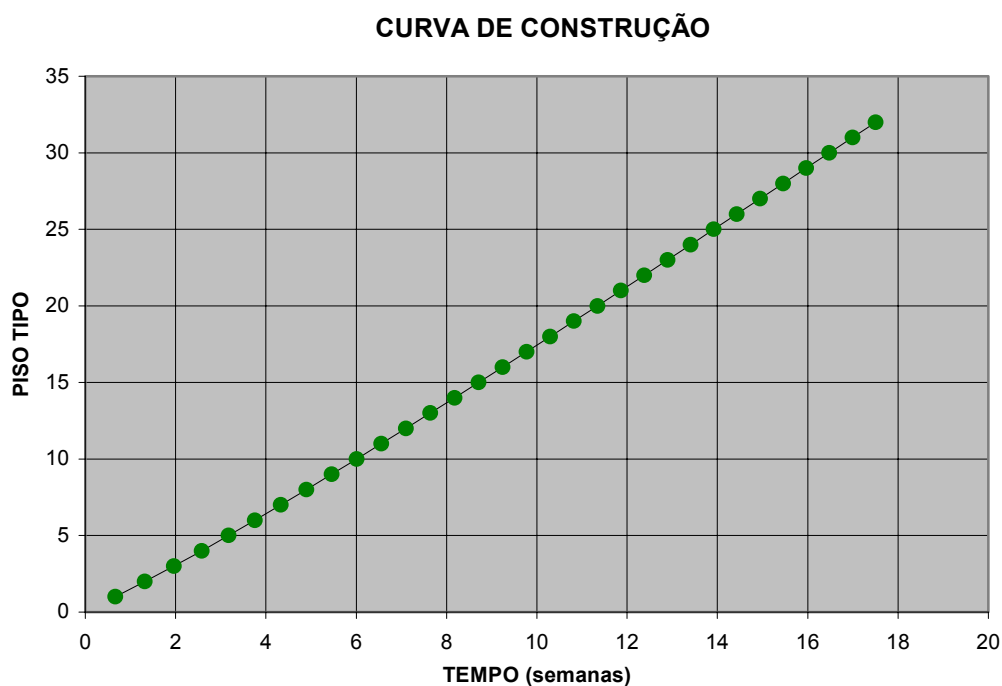


Figura 4 – Curva de construção da estrutura

O faseamento da produção descrito também está patente na curva de aprendizagem apresentada na Figura 5, traduzido por uma fraca aprendizagem no início da construção e assumindo posteriormente maior significado. Na parte final, a curva tem um declive nulo reflectindo a ausência de aprendizagem.

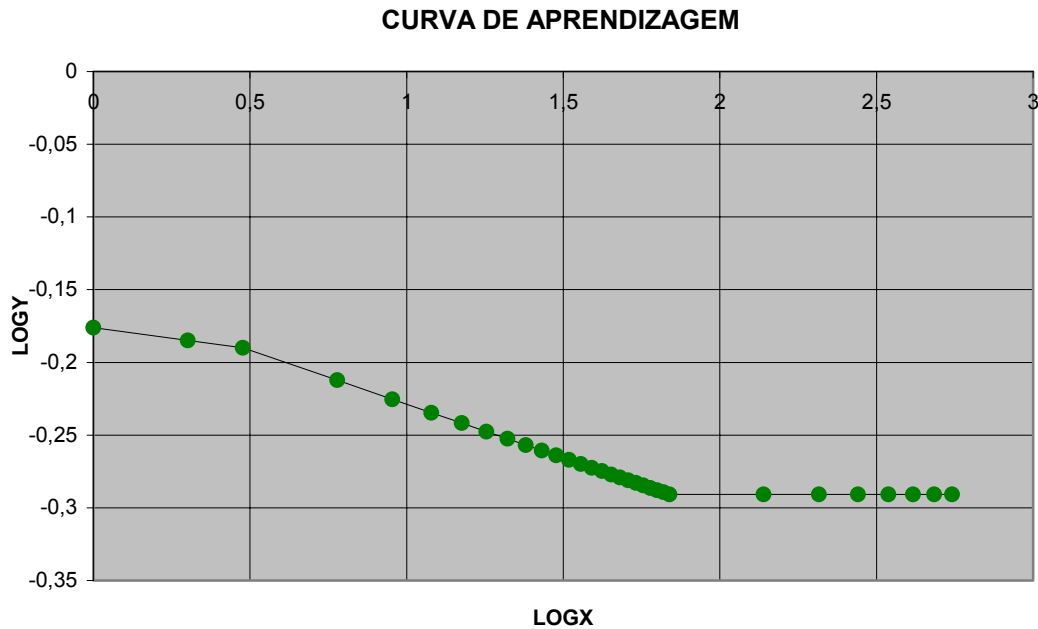


Figura 5 – Curva de aprendizagem para a estrutura

O tempo total necessário para a realização da estrutura do edifício é de 17.50 semanas o que representa sensivelmente 88 dias de construção contínua, enquanto que pelo método VPM seriam necessários 107 dias. Ou seja, com a introdução do efeito de aprendizagem na estimativa da duração da estrutura obteve-se uma redução de cerca de 18% relativamente ao estimado pela linha de equilíbrio, o que significa que as especialidades subsequentes poderão avançar mais rapidamente.

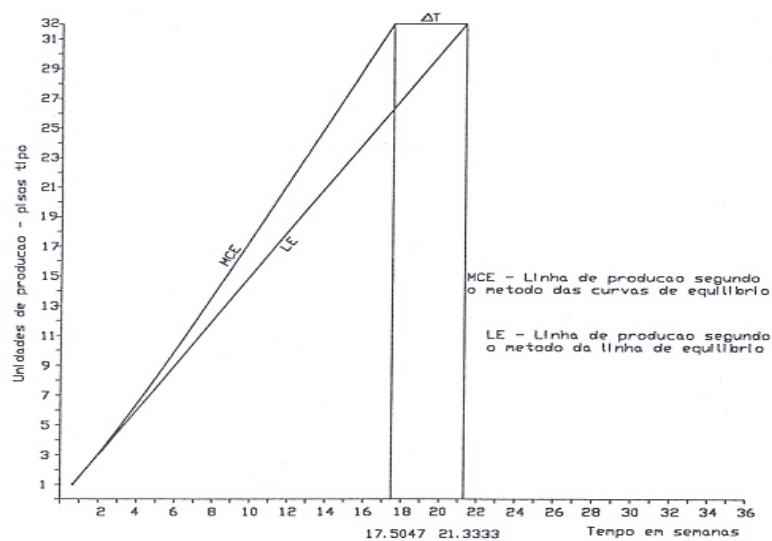


Figura 6 - Amortização no tempo de conclusão da estrutura

4. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento e apresentação do Método das Curvas de Equilíbrio (MCE), concluiu-se que é possível criar metodologias de planeamento onde estejam presentes os atributos das metodologias tradicionais e aqueles que resultam da aplicação de métodos específicos na programação de trabalhos de carácter repetitivo. Além disso, é possível incorporar nessas metodologias o efeito da aprendizagem, permitindo obter melhores previsões e contribuindo para a elaboração de planos de trabalho e cronogramas financeiros mais próximos da realidade.

5. REFERÊNCIAS

Carlson, J., "Cubic Learning Curves: Precision Tool for Labor Estimating", *Manufacturing Engrg. And Mgmt.*, Nov., pp. 22-25 (1973).

Couto, João Pedro P. M. e Teixeira, José M. C., "Planeamento na construção Repetitiva", comunicação apresentada na conferência especializada sobre a GESTÃO DA CONSTRUÇÃO, IST, Lisboa, Maio (1999).

Couto, João Pedro P. M., "*Métodos de planeamento para a construção repetitiva em altura em Portugal - Método das Curvas de equilíbrio*," Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Julho (1998).

Cunningham, J., "Using the Learning Curve as a Management Tool" (1980).

Duarte, Deborah, e Snyder, Nancy, "*From Experience, Facilitating Global Organizational Learning in Product Development at Whirlpool Corporation*," *The Journal of Product Innovation Management*, Vol. 14, nº1, Janeiro (1997).

Everett, John G., e Farghal, Sherif, "*Learning Curve Predictors for Construction Field Operations*," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 120, Setembro, pp. 603-616 (1994).

Lutz, James David, Halpin, Daniel W., e Wilson, James R., "*Simulation of Learning Development in Repetitive Construction*," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 120, Dezembro, pp. 753-773 (1994).

Tanner, J., "The Learning Curve", *Production Engrg.*, May, pp. 72-78 (1985).

Thomas, H. Randolph, Mathews, Cody T., e Ward, James G., "*Learning Curve Models of Construction Productivity*," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 112, Junho, pp. 245-257 (1986).