

ROTEIRO PARA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO COM LINHA DE BALANÇO EM EDIFÍCIOS ALTOS

Ricardo Mendes Junior, M. Eng.

Professor Assistente do Dep. Construção Civil/UFPR. Doutorando em Eng. Produção, EPS/UFSC.
Rua Cap. Romualdo de Barros, 997 B2/302 CEP 88040-600 Florianópolis. e-mail:mendesjr@cesec.ufpr.br

Luiz Fernando M. Heineck, Ph.D.

Prof. Titular do Dep. de Engenharia de Produção e Sistemas
UFSC/CTC Cx. P. 476 CEP 88.010-970. Florianópolis - SC -

Abstract

This paper presents a practical guide for planning linear operations in building construction using the Line of Balance (LOB) concept. The peculiar characteristics of the application of LOB in tall buildings are discussed. A six-steps guide is presented with some useful information taken from surveying in real cases. The first step is the selection of the operational activities to schedule. Three methodologies are briefly presented for using with this proposed guide: sequential scheduling; CPM/LOB integration; and construction stages scheduling. The next two steps consist of work information: Quantities measurements of work; Activities durations and related information on expected productivity and composition of staffs. Next we can schedule the activities after stating the project duration. The last step which may be done together with the preceding one is changing the schedule in order to achieve the goals, either the project duration or the available resources. Some features of LOB scheduling are discussed. This guide is an initial effort of a surveying aiming to obtain a practical model for scheduling operations and decision support in building construction.

key-words: scheduling, building, Line of Balance

1. Introdução

A programação de atividades na construção de edifícios altos é bastante simplificada com o uso da técnica de Linha de Balanço (LOB). Esta técnica faz uso da repetitividade das atividades ao longo do projeto, no caso do edifícios, ao longo dos pavimentos, parte destes ou das fachadas (SARRAJ, 1990). O seu uso permite a simulação de várias alternativas de estratégia de obra e ritmos de produção dos diversos serviços. O objetivo principal destas simulações geralmente será o atendimento ao prazo da obra ou ao cronograma financeiro estabelecido. O problema da programação da construção de edifícios com a LOB consiste primordialmente na alocação das equipes para uma determinada atividade nos sucessivos pavimentos resolvendo qualquer conflito de precedências com as atividades já programadas.

Vários modelos para solução da LOB com otimização matemática e simulação (LUTZ, 1993) já foram propostos ao longo das últimas décadas, e mais recentemente soluções integrando LOB com PERT/CPM (SUHAIL e NEALE, 1994) e com sistema especialistas (OLIVEIRA, 1994). Por outro lado a LOB é facilmente programada em procedimento manual ou com o apoio de planilhas eletrônicas, e justamente está neste

ponto uma de suas maiores vantagens. Isto é, simplificar um problema que de início é complexo pela grande quantidade de atividades. A outra grande vantagem do uso da LOB é a visualização gráfica muito rápida. Um gráfico de LOB parece-se muito com o conhecido gráfico de barras (Gantt), porém trocando no eixo vertical as atividades pelos pavimentos - no caso de edifícios. Desta forma o que era uma barra horizontal transforma-se numa barra inclinada.

Seja qual for o modelo utilizado para solução da programação alguns passos devem ser seguidos para a aplicação da LOB. No caso de edifícios altos o seu uso tem algumas características diferenciadas em relação à forma geral da técnica. Este trabalho apresenta um roteiro de aplicação da LOB próprio para edifícios altos, desenvolvido ao longo dos últimos dois anos e confrontado com programações de edifícios realizadas por mestrandos do cursos de Engenharia de Produção e Engenharia Civil da UFSC nos anos de 1995 e 1996. O roteiro vem sendo aplicado em obras atualmente em fase de investigação pelos autores, na continuidade da pesquisa, procurando aprimorá-lo e com o objetivo de propor um modelo prático de aplicação da LOB em edifícios altos.

2. Resumo do roteiro

O roteiro elaborado para aplicação da LOB apresenta 6 passos:

1. Definir as atividades a serem programadas e suas precedências;
2. Obter as quantidades de serviços a executar;
3. Definir o tamanho das equipes, a produtividade esperada e as durações das atividades no pavimento tipo;
4. Definir o prazo da obra e datas (marcos) importantes;
5. Programar as atividades, considerando uma equipe por atividade;
6. Modificar a programação para atender aos objetivos. Esta etapa pode ser realizando em conjunto com a 5.

3. Atividades a serem programadas e precedências

Três metodologias diferentes podem ser utilizadas com este roteiro:

Metodologia A. Programar todas as atividades seqüencialmente, com o objetivo de simplificar a programação, tendo as seguintes características:

1. Máximo em torno de 40 atividades (agrupadas);
2. Rede de precedências quase linear, isto é, a maioria das atividades são programadas no mesmo pavimento seqüencialmente. Algumas podem ser executadas em paralelo no mesmo pavimento, como é o caso das Tubulações, Forro de Gesso e Forro de Madeira, Portas de Madeira e Esquadrias de Alumínio, etc.
3. O balanceamento será realizado sucessivamente para todas as atividades;
4. As atividades nas fachadas do edifício serão programadas separadamente, respeitando as datas de suas precedentes já programadas.

Metodologia B. Elaborar uma rede de precedências mais complexa para as atividades no pavimento tipo, tendo as seguintes características:

1. A rede de precedências pode ser mais detalhada (até 120 atividades);
2. A rede do pavimento tipo deve ser calculada pelo método do caminho crítico (CPM). As atividades que tem folga (fora do caminho crítico) serão programadas consumindo a folga.
3. O balanceamento será realizado sucessivamente para todas as atividades. Pode-se aqui adotar uma modificação que simplifica um pouco o problema: Programar primeiramente as atividades do caminho crítico; Neste caso as atividade fora do caminho crítico terão que respeitar as datas já programadas.
4. As atividades nas fachadas do edifício serão programadas separadamente, respeitando as datas de suas precedentes já programadas.

Metodologia C. Agrupar as atividades em fases construtivas, com o objetivo de facilitar a simulação de diversas situações entre as fases subsequentes, tendo as seguintes características:

1. Definir de 3 a 10 fases construtivas;
2. Agrupar as atividades em fases de acordo com o momento de execução na obra. Por exemplo, Tubulações deve ser agrupada com Alvenaria.
3. O balanceamento será realizado duas vezes: 1) entre as fases construtivas; 2) entre as atividades que compõem cada fase construtiva. O procedimento é iterativo, pode-se iniciar definindo datas para algumas fases, em seguida programar as atividades, retornar às fases para ajustar o balanceamento, e se necessário modificar a programação das atividades em alguma fase, até se chegar ao ponto desejado (prazo ou desembolso financeiro).

Do que foi exposto acima a principal diferença entre as metodologias está na forma como as atividades são encadeadas, a rede de precedências. Na A rede é praticamente linear não requerendo nenhum cálculo de datas (CPM), que já é necessário na B. E na C cada fase construtiva pode ser uma rede de precedência (sub-projeto) visto que são poucas atividades e que o balanceamento dará mais ênfase nas fases construtivas.

Das programações investigadas nesta pesquisa a metodologia B é a mais usada, e a mais simples, alcançando os resultados esperados. A metodologia B seria recomendada para o uso com maior número de atividades, quando a programação seqüencial torna-se inviável. E a metodologia C seria recomendada quando há a necessidade de mais simulações na programação. Das programações já investigadas pode-se concluir que estas duas últimas metodologias requerem o uso de programas de computador, sejam planilhas eletrônicas ou gerenciadores de projeto.

4. Quantidades dos serviços a executar

Para uso na simulação das Linha de Balanço deve-se determinar as quantidades dos serviços no pavimento tipo. Pode-se usar o apartamento em edifícios 2 apartamentos por andar, ou edifícios com muitos apartamentos por andar (mais de 6). Podem haver três alternativas :

1. Levantamentos das quantidades a partir dos projetos arquitetônico (ou executivo), estrutural e de instalações;
2. Projeção das quantidades de serviços baseados em índices que as relacionam com dados geométricos, tais como, área construída do tipo, comprimentos laterais da torre, número de banheiros, volume de concreto da laje tipo, etc. E também com o uso de áreas aproximadas, tais como, área de cozinha, banheiros, sacadas, etc.

A primeira alternativa é a mais exata, porém a outra pode ser usada pela rapidez - ou quando ainda não se tem o projeto final -, e por que a variação no resultado final, traduzido em ritmo de produção, não é muito crítica, não afetando muito a programação de toda a obra. E ainda, na fase de acompanhamento da obra, os valores podem ser corrigidos, e muito provavelmente serão modificados levando em conta a produtividade real da equipe que geralmente é pobremente estimada pelos índices usualmente utilizados. Em resumo, um esmero demasiado na quantidade pode ser invalidado pela imprecisão da produtividade da equipe.

5. Tamanho da equipe, produtividade e duração

Estes três valores estão relacionados, pois temos:

$$Du = \frac{Qu \times Pr}{E \times J},$$

onde, Du - Duração da atividade no pavimento tipo (dias)

Qu - Quantidade de serviço no pavimento tipo

Pr - Produtividade em hh/unidade de produção da atividade

E - Tamanho da equipe (operários)

J - jornada de trabalho (8,8 horas por dia)

Pode-se então fixar o tamanho da equipe (E) ou a duração da atividade no pavimento tipo (Du). A escolha de qual dos dois valores será fixado inicialmente depende muito da prática do gerente da obra e da área construída do pavimento. Isto é, em pavimentos com mais apartamentos por andar tende-se a colocar equipes maiores. Lembremos que por enquanto não estamos pensando no prazo de execução da obra, e sim numa equipe viável para executar a atividade no pavimento tipo num prazo razoável. A observação da prática corrente nas obras nos sugere que (MENDES JR e HEINECK, 1997):

- 50% das atividades são executadas com até 3 profissionais numa equipe, sendo que 70% delas podem ser executadas com 1 profissional apenas;
- 60% das atividade tem duração de até 5 dias no pavimento tipo, sendo que 50% delas podem ser executadas em apenas 1 dia.

A definição da produtividade pode seguir três alternativas:

1. valores indicados pela empresa;
2. valores médios obtidos em pesquisas de obras;

3. valores apresentados em tabelas tipo TCPO (PINI).

As duas primeiras alternativas são mais próximas da realidade dos canteiros, principalmente em obras com muitos empreiteiros.

6. Ritmo de conclusão

Uma vez definido o Prazo da Obra (Dt) deve-se estimar o tempo que será gasto com atividades não repetitivas (Tn): implantação do canteiro de obras (Tm), locação e execução das fundações, estrutura do subsolo, estrutura e alvenaria do pavimento térreo e sobrelojas, estrutura da casa de máquinas e cobertura, serviços externos à torre, e acabamentos finais (térreo e subsolo). O tempo que resta será o tempo para a execução dos pavimentos tipo, que chamaremos de Tempo para os Pavimentos (Tp).

Pode-se incluir na programação da LOB os serviços do pavimento térreo, sobrelojas e cobertura, usando um fator de proporcionalidade. Isto é, se a área de piso no térreo for 50% da área do pavimento tipo considera-se a duração pela metade e aumenta-se o número de pavimentos em 0,5. Porém este fator será diferente para cada tipo de serviço o que torna a programação um pouco complexa. Para simplificar pode-se calcular o fator de proporcionalidade usando a área construída fechada (em compartimentos), incluindo-se as demais áreas (garagens, por exemplo) nas atividades não repetitivas.

O primeiro passo para a programação das atividades com a LOB é a determinação do Ritmo (R). O Ritmo pode ser definido como o número de unidades (pavimentos) que se deve concluir num dado período (semana ou mês) para que o prazo final de conclusão seja atendido. Inversamente o Ritmo também pode ser apresentado como o tempo (dias ou semanas) para conclusão de cada unidade. O Ritmo está relacionado com o Tempo de Base (Tb) e o Tempo de Ritmo (Tr). Tempo de Base é a duração das atividades na primeira unidade atacada, supondo-se que estas sejam executadas todas sem interrupção ou defasagens. Se por hipótese todas as atividades forem executadas de forma ordenada em seqüência, o Tempo de Base será a soma das durações de cada atividade na primeira unidade.

O Tempo de Ritmo é o prazo que se dispõe para encerrar as unidades repetitivas (pavimentos) após concluída a primeira unidade. É calculado partindo-se do Prazo para os Pavimentos definido acima o Tempo de Base (relativo à primeira unidade já executada). Assim o Ritmo será obtido dividindo-se o Tempo de Ritmo pelo número de unidades menos uma, ou seja

$$R = \frac{Tr}{(N - 1)} = \frac{Dt - Tn}{(N - 1)}$$

O objetivo da técnica LOB é balancear todas as atividades, isto é, se todas forem executadas com o mesmo Ritmo teremos uma programação paralela que não resultará em tempos desperdiçados entre uma atividade e outra ou entre na passagem de uma unidade para outra. Assim sempre que uma equipe passar para a unidade seguinte a programação garante que estará livre para o serviço ser iniciado.

Para obtermos o Ritmo desejado numa atividade (Ra) basta colocar um número de equipes (Ne) igual à duração da atividade (em dias) na primeira unidade (Du) dividido pelo Ritmo (em dias por unidade), ou seja

$$N_e = \text{Inteiro} \left(\frac{D_u}{R} \right)$$

Acontece que o resultado desta divisão raramente será inteiro, porém o número de equipes deve ser inteiro. Mesmo podendo-se modificar o tamanho da equipe - o que mudará sua duração - isto resultará num Ritmo para esta atividade diferente do desejado, o que implicará num posicionamento não paralelo em relação às atividades anteriores e posteriores no momento da programação. Em edifícios altos esta situação é praticamente levada ao extremo.

Em função da composição usual de equipes adotada na construção de edifícios, tem-se que o número de equipes calculado como indicado acima na maioria das vezes será menor que 1. Isto é, a atividade deve ser programada com uma única equipe, o que implica que o seu Ritmo será igual à sua duração no pavimento tipo, o que é conhecido como Ritmo Natural. E com grandes probabilidades uma atividade terá um Ritmo Natural diferente da suas anteriores e das suas posteriores. Como resultado teremos atividades sendo executadas em todos os pavimentos e somente próximo do término da obra os pavimentos vão sendo concluídos. Em termos práticos isto não vem a ser um problema, pois os prazos de execução dos edifícios permitem que se desenvolvam as atividades desta forma e é assim que se vem fazendo a muito tempo. Porém considerando os aspectos conceituais da LOB em relação à qualidade e produtividade na construção (HEINECK, 1996) esta solução deveria ser discutida.

7. Programação das atividades

Pelo exposto no item acima concluímos que no caso de edifícios altos a programação das atividades pode inicialmente ser realizada com uma única equipe. Assim teremos o Ritmo (R) igual a Duração (Du), e o tempo necessário para executar a atividade em todos os pavimentos tipo será igual a $D_u \times N$. Então uma vez definida a data de início da atividade, a data de término será obtida somando $D_u \times N$.

A única questão a ser verificada aqui é se em algum pavimento esta atividade não intercepta outra linha de uma atividade antecedente, como indica a Figura 1 (a). Neste caso temos duas soluções: 1) Retardar o início da atividade, como indica a Figura 1 (b); 2) mudar o Ritmo colocando mais uma equipe, como indica a Figura 1 (c).

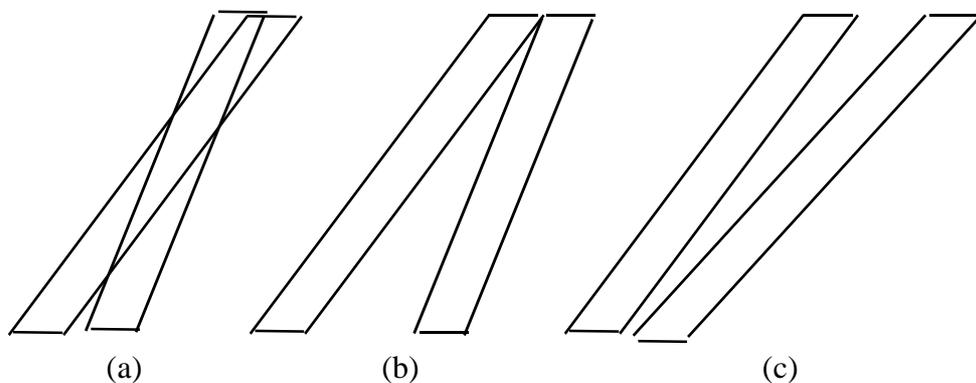


Figura A - Mudança na programação por conflito entre atividades

A data de início da atividade será determinada em função do tipo de relação de precedência com a atividade anterior, como indica a Figura 2

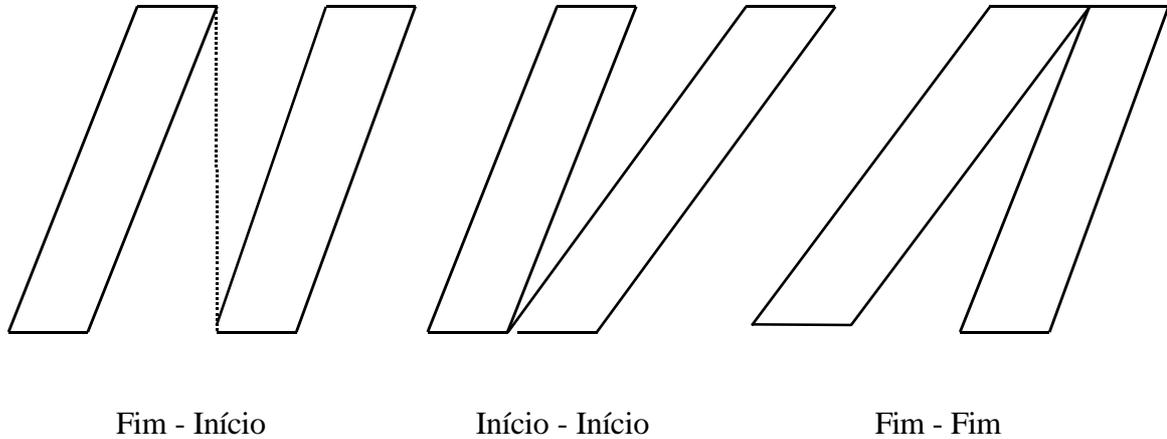


Figura B - Tipos de precedências entre atividades repetitivas

8. Modificar a programação

Pode ser necessário modificar a programação para atender ao prazo da obra, a algum marco intermediário ou ao cronograma financeiro. Como indicado no início do trabalho este problema pode exigir o uso de alguma ferramenta computacional. Porém na maioria dos casos práticos em edifícios altos não é uma tarefa muito difícil. Para reprogramação das atividades pode ser retardada ou antecipada a data de início no primeiro pavimento. E podem ser modificados o Número de Equipes, o causa mudança no Ritmo e na data de término, se não houver conflito com outra atividade (ver Figura 1).

Neste caso pode ser interessante observar dados investigados em programações de edifícios em execução (MENDES JR e HEINECK, 1997) que:

- 90% das atividades podem ser executadas com uma única equipe. Em obras com prazo curto apenas 50% das atividades são executadas com uma única equipe.
- 70% das atividades tem ritmo de até 5 dias por pavimento. Em obras com prazo curto os ritmos de todas as atividades não passam de 7 dias por pavimento. Já em obras de prazo longo apenas 50% das atividades estão com ritmo abaixo de 7 dias por pavimento.

As atividades que podem criar problemas para atendimento do prazo da obra são as que tem relação de precedência do tipo Início-Início com a anterior e seu Ritmo é maior, isto é, mais semanas por pavimento, causando uma abertura no último pavimento como pode ser visto na Figura 2. Também podem ser as atividades críticas que estão com o início definido pela atividade anterior (Início-Início) e com o final definido pela atividade posterior (Fim-Fim).

9. Conclusões

Apresentamos um roteiro para programação de atividades em edifícios altos com a técnica de Linha de Balanço. Este roteiro destaca as características específicas da LOB para o caso de edifícios altos, tendo sido desenvolvido a partir de investigação e estudo de várias programações de obras em execução. O roteiro propõe seis passos para elaboração da LOB e três metodologias diferentes para a decisão do nível de detalhamento das atividades a programar e suas precedências.

Da sua aplicação conclui-se que a diferença mais importante da LOB aplicada a edifícios altos em relação ao procedimento normal é no cálculo do Ritmo. Em edifícios a maior parte das atividades são executadas com uma única equipe, facilitando a programação. Também pode-se verificar que a técnica LOB apresenta maior transparência das decisões operacionais a serem consideradas na programação das atividades, sendo uma de suas vantagens.

Este trabalho é um dos primeiros passos de pesquisa em desenvolvimento no Curso de Pós-graduação da Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, que tem por objetivo produzir informações visando um modelo prático de programação de operações usando os conceitos da Linha de Balanço e apoio à tomada de decisões na construção de edifícios.. O roteiro aqui apresentado está sendo aplicado e verificado em várias obras em execução.

10. Bibliografia

HEINECK, Luiz Fernando M. (1996). **Estratégias de produção na construção de edifícios**. *Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil*. Florianópolis, SC. Anais, v. 2, pp. 93-100.

LUTZ, James D.; HIJAZI, Adib (1993). **Planning repetitive construction - current practice**. *Construction Management and Economics*, N. 11, pp.99-110.

MENDES JR, R. e HEINECK, L. F. (1997). *Análise de dados básicos para a programação de edifícios altos por Linha de Balanço- Estudos de Casos*. Publicação interna. EPS/UFSC. Maio/1997. Florianópolis/SC. Na internet: <http://www.cesec.ufpr.br/rmj/>

OLIVEIRA, Leonardo R. (1994) *Modelagem do conhecimento para desenvolvimento de sistema especialista aplicado ao planejamento da produção de edifícios de vários pavimentos*. Diss. de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SARRAJ, Zohair M. Al. (1990) **Formal development of Line of Balance Technique**. *J. of Construction Engineering and Management*, Vol. 116 (4) pp.689-704.

SUHAIL, Saad A. e NEALE, Richard H. (1994), **CPM/LOB: New methodology to integrate CPM and line of balance**. *J. of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 120(3), 667-684.