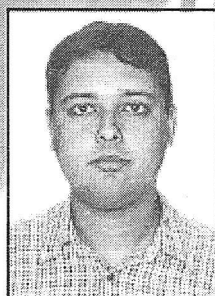


PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS LINEARES DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM MÉTODO PARA A UTILIZAÇÃO DO VPM AUXILIADO PELA PLANILHA EXCEL



(1)

Rony Helder Nogueira Cordeiro(1)

Mestre em Engenharia Civil – UFPA/CT/PPGEC/CMEC

e-mail: *held@bol.com.br*

José Alberto Silva de Sá

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFPA/CT/PPGEC/CMEC

e-mail: *jose@ufpa.br*

Jorge de Araújo Ichihara

M.Eng., D. Eng., Professor do DCC/CT/UFPA

e-mail: *icbihara@amazon.com.br*

PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS LINEARES DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM MÉTODO PARA A UTILIZAÇÃO DO VPM AUXILIADO PELA PLANILHA EXCEL

RESUMO:

O artigo apresenta uma metodologia orientada à programação de projetos lineares do setor da construção de edifícios baseada no *Vertical Production Method* – VPM, assistida pela planilha eletrônica *Microsoft Excel*®. Este programa foi escolhido em função do seu baixo custo; grande utilização no ambiente interno das empresas do setor; possuir uma interface amigável com o usuário e por possibilitar a criação e modificação dos dados programados.

1 INTRODUÇÃO

Uma característica marcante nos empreendimentos do setor da construção civil racionalizada, mais especificamente do subsetor edificações, é o grande número de atividades repetitivas que os compõem. Entretanto, observa-se, na maioria das empresas construtoras, uma carência de ferramentas apropriadas que auxiliem no processo de programação dos seus projetos lineares.

Neste contexto, muitas decisões são tomadas intuitivamente, baseadas na convicção ou preferência pessoal do empreendedor. Porém, é sabido que outra forma, a *racional*, fundamentada no raciocínio e no desenvolvimento do cálculo proporciona um maior respaldo decisório. Segundo Ichihara (1998), a pesquisa acerca de modelos e métodos racionais, orientados para a solu-

ção de problemas importantes e complexos sob algum ponto de vista, contribui para aumentar a consistência das decisões, e consequentemente para a sobrevivência da empresa.

O autor considera que as desvantagens da utilização do tradicional gráfico de Gantt e das técnicas de rede nos projetos de construção lineares, conduziram ao desenvolvimento de um conjunto de métodos e técnicas de planejamento de projetos lineares, que permitiu a administração efetiva e a sincronização dos recursos necessários para essas atividades. A origem deste conjunto não é bem definida, entretanto segundo Arditi e Albulak (1986), ele pode ter surgido simultaneamente em vários países, com o intuito de resolver problemas de produção industrial.

Pode-se afirmar que ele vem sendo desenvolvido desde a década de 50 (Suhail e Neale, 1994), sob os mesmos princípios orientados para

os recursos (Kleinfeld, 1976; Birrel, 1980). Dentre os métodos mais importantes, destacam-se: o Método da Linha de Balanço - *Line of Balance Method* (Lumsden, 1968; Oxley e Poskitt, 1971; Carr e Meyer, 1974; Levine et al., 1976; Harris e McCafferr, 1977; Arditi e Albulak, 1979; Arditi e Albulak, 1986; Al Sarraj, 1990) e os Métodos de Linha de Fluxo dentre os quais pode-se citar o VPM - *Vertical Production Method* (O'Brien, 1975, 1984, 1985).

2 AS ATIVIDADES REPETITIVAS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

As atividades inerentes à indústria da construção civil subsector edificações podem ser divididas em dois grupos: aquelas que se repetem ao longo da execução do empreendimento, denominadas repetitivas, e as executadas uma única vez, denominadas não repetitivas. Ambas as atividades podem estar dispostas em série ou em paralelo e suas durações podem variar segundo o incremento ou decréscimo do número de equipes de trabalho. Uma característica fundamental para consideração é que existem muitos benefícios, inclusive de motivação, produtividade e balanceamento de recursos, quando as atividades repetitivas são executadas sem interrupção (mudança temporária para outra atividade).

A produção de edificações dotadas de múltiplas unidades repetitivas vem tendo uma maior atenção dos empreendedores e pesquisadores nos últimos anos, devido ao seu grande potencial de racionalização, pelo fato de se poder tirar partido da repetitividade de grande parte de suas atividades. Assim, a produção da edificação se assemelha a uma linha de produção seriada.

Para a aplicação dos métodos lineares no subsector edificações torna-se necessário que o empreendimento seja dividido em sistemas, para a identificação e programação das atividades repetitivas. Ichihara (1998) considera que no caso de um edifício de múltiplos pavimentos-tipo, o mesmo pode ser dividido em cinco sistemas físicos (fig. 1 – lógica vertical): as fundações, o subsolo (garagens, maquinarias, central de instalações, etc.), o térreo ou pavimentos não típicos (garagens, *play-grounds*, salões para eventos sociais, etc.), os pavimentos típicos (escritórios ou unidades residenciais) e as obras de cobertura (caixa d'água, cobertura, elevador, etc.). Acrescenta-se mais as obras externas (cisternas, piscinas, ajardinamento, etc.) para compor um sexto sistema. Além do tipo de construção vertical mencionado anteriormente, outros casos de empreendimentos de natureza horizontal (fig. 1 – lógica horizontal) como: conjuntos habitacionais, escolas, hospitais, também possuem atividades repetitivas que podem ser programadas mediante um método de programação linear.

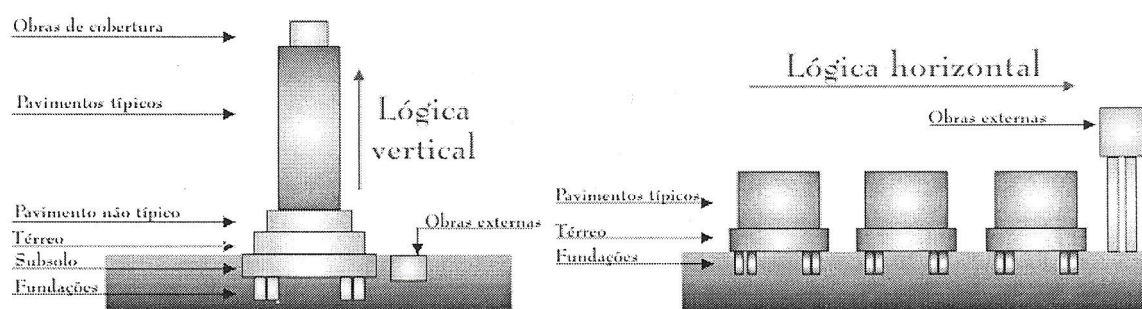


Fig. 1 - Unidades repetitivas em empreendimentos verticais e horizontais

3 MÉTODOS DA LINHA DE FLUXO – VPM (*Vertical Production Method*)

O VPM foi introduzido por O'Brien em 1975. É um método gráfico de programação linear utilizado para o planejamento das atividades repetitivas de um processo produtivo. Consiste em segmentos de reta com inclinações próprias que respeitam as precedências das atividades e suas durações. O eixo das abscissas, do plano cartesiano, representa as durações das atividades enquanto o eixo das ordenadas representa as unidades produzidas. As atividades podem apresentar-se: ritmadas ou não ritmadas e sincronizadas ou não sincronizadas. a figura 1.3 mostra alguns grupos de atividades.

Observa-se que uma atividade ritmada possui uma única velocidade no decorrer de sua execução, enquanto um grupo de atividades sincronizadas possui todas as atividades com a mesma produtividade.

4 O MÉTODO DESENVOLVIDO

O método desenvolvido visa a difundir a utilização do VPM auxiliado por computador no planejamento das atividades repetitivas da construção civil. As equações que compõem a programação são substancialmente divulgadas no intuito de integrar esforços junto a outros pesquisadores que desenvolvem trabalhos para a melhoria da programação de projetos.

O método aborda quatro tipos de restrições de programação: (1) datas condicionantes para iniciar uma atividade; (2) precedências entre atividades na mesma unidade, tradicionalmente conhecidas mediante as técnicas de rede CPM (*Critical Path Method*) e PDM (*Precedence Diagram Method*); (3) *buffers* (intervalos de tempo) impostos entre duas atividades e (4) precedências entre atividades em unidades diferentes, que é uma lógica própria das técnicas de programação de atividades repetitivas.

4.1 OBJETIVO DO MÉTODO

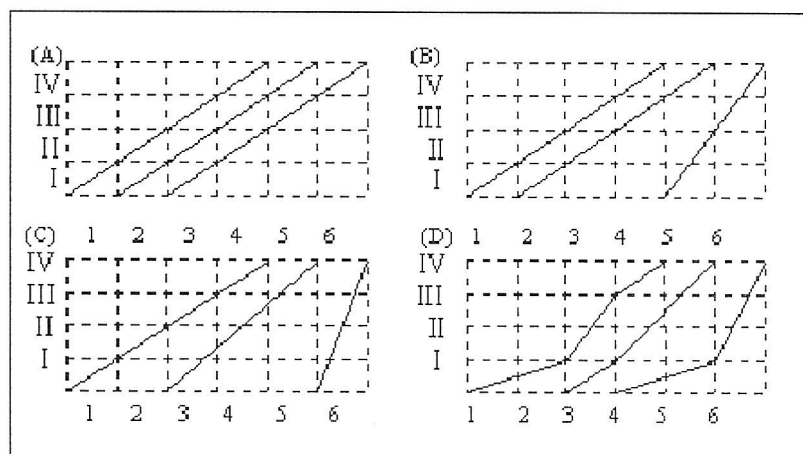


Fig. 2 - Método da linha de fluxo: a) fluxos ritmados e sincronizados; b) fluxos ritmados e não sincronizados, pois possui uma atividade não sincronizada; c) fluxos ritmados e não sincronizados; d) fluxos não ritmados e não sincronizados.

Introduzir um método de solução simples e viável para a programação linear das empresas construtoras baseado no VPM auxiliado por um aplicativo computacional altamente consolidado no mercado, a planilha eletrônica Microsoft Excel®, capaz de programar segundo uma filosofia orientada à otimização de sistemas. O método permite:

- interligar atividades em série e em paralelo;

- integrar atividades repetitivas em um mesmo procedimento;
- pesquisar modos de execução para as atividades, mediante o incremento de equipes de trabalho;
- admitir atividades repetitivas com dois sentidos de execução, o ascendente e o descendente;
- programar as atividades repetitivas segundo um ritmo predeterminado de trabalho;
- corrigir, com facilidade e rapidez, eventuais atrasos no planejamento das atividades.

4.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações são basicamente:

- a abordagem é de cunho determinístico; não são incluídas análises probabilísticas;
- o método proposto é aplicado à programação de um único projeto de cada vez; não está prevista a análise simultânea de vários projetos;
- a produtividade de uma equipe de trabalho é considerada constante ao longo do tempo e ao longo da execução das atividades repetitivas (atividade ritmada);
- o processo de alocação dos recursos utilizados não considera a interrupção das atividades, mesmo que temporariamente;
- o método não aborda a restrição de limitação da quantidade de equipes destinadas a uma atividade; e a restrição de recursos monetários previstos por período de tempo.

Torna-se importante salientar que tais restrições não invalidam a aplicação prática do método desenvolvido. Os autores do presente ensaio estão desenvolvendo outros trabalhos com o intuito de reduzir tais limitações.

4.3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

No intuito de facilitar o entendimento do método desenvolvido, sete passos são apresentados a seguir:

Passo 01 – Listagem das atividades com suas durações e precedências

O exemplo inicia com a listagem das atividades necessárias para a produção de uma unidade repetitiva, tendo como variáveis: o tempo normal, em dias, para a realização de cada atividade (duração) e as precedências das atividades (Quadro 1). Neste exemplo, nomeou-se as atividades com letras, porém é possível identificar as atividades pelo número de seu registro ou pelos seus próprios nomes, como: alvenaria, reboco, pintura, entre outros.

A determinação das durações de cada atividade foram calculadas utilizando-se a fórmula a seguir.

$$D = \frac{Q \times P}{\text{NOFEq} \times \text{NOEq} \times \text{JDIARIA}}$$

Onde:

D = Duração da atividade;
Q = Quantidade produzida;
P = Índice de produtividade;
NOFEq = N° de oficiais na equipe;
NOEq = N° de Equipes;

Atividade s	Duração(dia s)	Precedênci a
A	10	-
B	3	A
C	3	A
D	6	A
E	2	B, C e D
F	4	E
G	2	F
H	4	G
I	4	H
J	4	H

Quadro 1 – durações e precedências das atividades

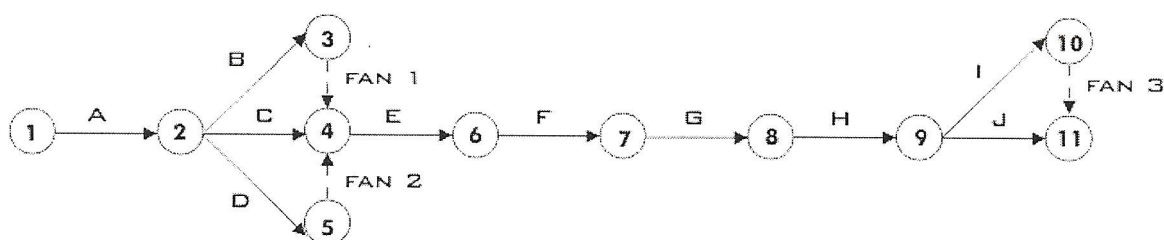


Fig. 3 - Rede CPM de uma unidade repetitiva

Passo 02 – Desenho da rede

O desenho da rede é apresentado na figura 3, que permite ao leitor visualizar as atividades precedentes e sucessoras de cada atividade em particular. A representação utiliza *setas* para as atividades e *nós* para os eventos de início e fim das atividades. Observa-se que algumas atividades estão em paralelo (execução simultânea) enquanto outras estão em seqüência, necessitando do término da(s) atividade(s) precedente(s) para iniciarem.

Passo 03 – Organizando as informações na planilha

As informações de cada atividade estão representadas na figura 4.

Os eventos (início e fim) de cada atividade, foram respectivamente inseridos nas linhas 3 e 4 da planilha;

As durações de cada atividade, foram inseridas na linha 6 da planilha;

=ARREDONDAR.PARA.CIMA(B27;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	atividades	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	fan1	fan2	fan3		
2																
3	Eventos	1	2	2	2	4	6	7	8	9	9	3	5	10	Início	
4		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	4	4	11	Fim	
5																
6	Tempo	10	3	3	6	2	4	2	4	4	4	0	0	0	atual	
7																
8	caminhos	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	29	
9		1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	29	
10		1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	32	
11		1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	29	
12		1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	29	
13		1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	32	
14															32	máximo
15		A	B			E	F	G	H	I		fan1		fan3	não crítico	
16		A		C		E	F	G	H	I				fan3	não crítico	
17		A			D	E	F	G	H	I			fan2	fan3	crítico	
18		A	B			E	F	G	H		J	fan1			não crítico	
19		A		C		E	F	G	H		J				não crítico	
20		A			D	E	F	G	H		J		fan2		crítico	
21																
22	Duração	300	310	310	350	100	160	100	160	160	160	0	0	0	quant.	
23		0,5	0,2	0,2	0,4	0,3	0,8	0,3	0,8	0,8	0,8	0	0	0	ind. Produtiv.	
24		2	3	3	3	2	5	2	5	5	5	0	0	0	n° homens	
25		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	n° equipes	
26		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	jornada	
27		9,38	2,58	2,58	5,83	1,88	3,2	1,88	3,2	3,2	3,2	0	0	0	dias	
28		10	3	3	6	2	4	2	4	4	4	0	0	0	arredondar	

Fig. 4 – Estrutura dos dados na planilha Excel

No cálculo das durações de cada atividade adotou-se o critério de arredondamento para o inteiro maior e mais próximo. Como exemplo, para a atividade "A" tem-se na célula B28:

Passo 04 – Encontrando os caminhos

Percebe-se que o exemplo possui seis caminhos. São eles: caminho 1 = A, B, E, F, G, H e I; caminho 2 = A, C, E, F, G, H e I; caminho 3 = A, D, E, F, G, H e I; caminho 4 = A, B, E, F, G, H e J; caminho 5 = A, C, E, F, G, H e J e caminho 6 = A, D, E, F, G, H e J.

A representação dos caminhos foi feita na forma de uma matriz binária (B8:N13). Quando uma atividade pertence a um caminho em evidência a mesma recebe valor igual a 1 (verdadeiro), caso contrário recebe valor igual a 0 (falso).

Como exemplo, para o caminho 1 tem-se:

1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Para encontrar as durações de cada caminho utiliza-se a soma do produto da linha de tempo com cada linha de caminho. Como exemplo, para caminho 1 tem-se na célula O8:

=SOMAR PRODUTO(\$B\$6:\$N\$6;B8:N8)

Para a determinação de qual caminho pos-

sui a maior duração, ou seja, o *caminho crítico*, escreve-se na célula O14:

= MÁXIMO (O8:O13)

Passo 05 – Identificando o caminho crítico

O caminho crítico é todo aquele que possui a maior duração. Neste exemplo dois caminhos são críticos. Porém para melhor entendimento da configuração do projeto e seus caminhos faz-se necessário uma segunda matriz com os nomes de cada atividade. Assim, temos para a célula B15 a seguinte fórmula:

= SE (B8 = 1;B\$1;"")

Para identificar se o caminho é crítico ou não, utiliza-se a mesma fórmula. Como exemplo para o caminho 1 tem-se na célula O15:

= SE (O8 = O\$14; "crítico"; " não crítico")

Passo 06 – Análise de recursos pelo Solver

Utilizando-se as ferramentas de análise do Solver - Excel, é possível identificar, entre as inúmeras possibilidades de tempos e recursos, uma solução viável de otimização do projeto com o menor custo e tempo reduzido. Para o exemplo temos (Quadro 2):

Tempos									
10	3	3	6	2	4	2	4	4	4
8	2	2	4	1	3	1	3	3	2
Recurso									
600	400	400	500	400	1600	400	1200	800	750
720	530	530	510	530	1800	530	1500	1000	1040
Resposta – Solver									
8	3	3	4	1	3	1	3	3	3
720	400	400	510	530	1800	530	1500	1000	895

Quadro 2 – Resumo das atividades (durações e recursos) e resolução do Solver.

Passo 07 – Elaboração do VPM

O cálculo para as durações de uma unidade é simples (figura 5), porém com múltiplas unidades repetitivas torna-se necessário a observância de algumas condições: o número de unidades repetitivas e as limitações impostas pelos ritmos de produção das atividades ($q1, q2, \dots, qn$).

No exemplo temos 1 unidade com 10 atividades que se repetem 3 vezes ao longo da execução do empreendimento. Desta forma, uma nova variável (número de repetições) é determinada na fig. 6, célula T15, podendo ser alterada de acordo com as exigências da situação.

Quanto às limitações dos ritmos de produção, torna-se necessário observar a diferença entre os valores dos ângulos da atividade em evidência q' e sua precedente q'' . Caso $q' < q''$ utiliza-se a primeira condição da função SE, caso contrário $q' \geq q''$ utiliza-se a segunda condição. Como exemplo para a atividade "E" tem-se:

$$Início = SE(T5 > T6; (T5 * \$T\$15 + T6) - (T6 * \$T\$15) + S19; (S19 + T5))$$

Para determinar a duração final:

$$Fim = (T6 * \$T\$15) + S20$$

Em seguida, o gráfico VPM é criado, figura 7, utilizando-se o assistente de gráfico do Microsoft

	R	S	T	U
1	Ativ./dias	início	duração	fim
2	A	1	10	10
3	B	11	3	13
4	C	11	3	13
5	D	11	6	16
6	E	17	2	18
7	F	19	4	22
8	G	23	2	24
9	H	25	4	28
10	I	29	4	32
11	J	29	4	32

Fig. 5 - Durações para 1 Unidade.

	R	S	T
14	VPM	início	fim
15	Y	0	3
16	A	0	30
17	B	24	33
18	C	24	33
19	D	18	36
20	E	32	38
21	F	34	46
22	G	42	48
23	H	44	56
24	I	48	60
25	J	48	60

Fig. 6 - Durações para 3 Unidades

Excel®, mediante a comparação dos valores apresentados na figura 6. Observa-se que as atividades B e C estão iniciando e terminando no mesmo dia como também as atividades I e J.

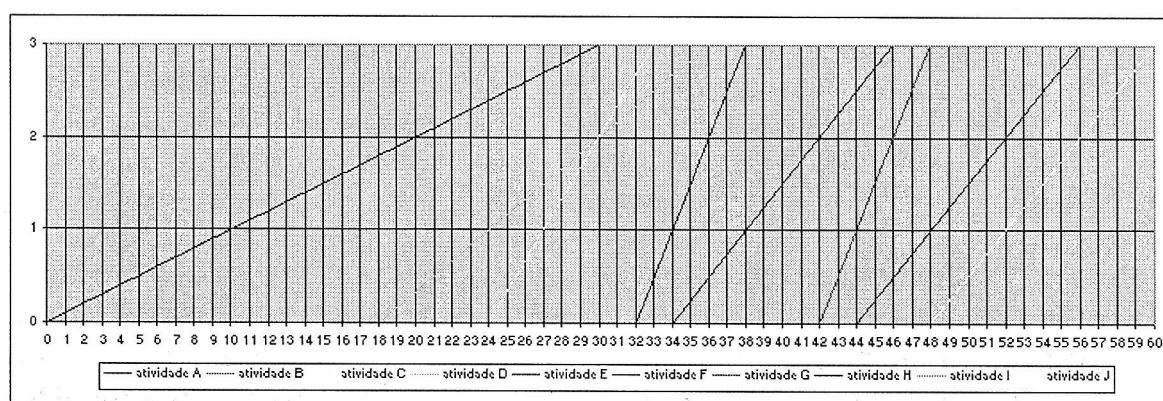


Fig. 7 - gráfico VPM

5 CONCLUSÃO

O método desenvolvido tem o intuito de servir como elemento norteador para o planejamento e controle dos processos produtivos que possuam características de programação linear, sendo vinculado, no presente trabalho, o enfoque dos empreendimentos com atividades repetitivas da construção civil, subsetor edificações. O método concebido evidencia uma capacidade potencial de utilização do VPM – “*Vertical Production Method*” auxiliado pela planilha eletrônica Microsoft Excel®.

Entretanto, devido às características do problema mais geral da programação de projetos, que envolve limitações de recursos, pode-se recomendar outros desenvolvimentos posteriores dentre eles: múltiplos objetivos de otimização; uso de informações ou dados probabilísticos; possibilidade de interrupção das atividades; abordagem de outros tipos de recursos; avaliação simultânea de um número maior de recursos; e a programação simultânea de múltiplos projetos. Finalmente, o desenvolvimento de pacotes comerciais adequados para serem utilizados por empresas construtoras, associados a uma filosofia de produção, constitui-se em outro campo vasto de pesquisa a ser desenvolvido.

6 REFERÊNCIAS

- AL SARRAJ, Z. M., *Formal Development of Line-of-Balance Technique*. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, v. 116, n. 4, p. 689-704: 1990.
- ARDITI, D., ALBULAK, M. Z. *Comparison of Network Analysis with Line of Balance in a Linear Repetitive Construction Project*. *Proceedings of the Sixth INTERNET Congress*, v. 2, Garmisch-Partenkirchen, W. Germany, Sept., p. 13-25: 1979.
- ARDITI, D., ALBULAK, M. Z. *Line of Balance Scheduling in Pavement Construction*, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, v. 112, n. 3, p. 411-424: 1986.
- BIRREL, G. S., *Construction Planning - Beyond the Critical Path*, *Journal of the Construction Division*, ASCE, v. 106, n. CO3, p. 389-407: 1980.
- CARR, R. I., MEYER, W. L., *Planning Construction of Repetitive Building Units*, *Journal of Construction Division*, ASCE, v. 100, n. CO3, p. 403-412: 1974.
- HARRIS, F., McCAFFER, R., *Modern Construction Management*, Crosby Lockwood Staples, London, U.K.: 1977.
- ICHIHARA, J. A. *Um método de solução heurístico para a programação de edifícios dotados de múltiplos pavimentos-tipo*. Florianópolis, 1998. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.
- KLEINFELD, I. H. *Manpower use in High-Rise Residential Construction*, *Journal of Construction Division*, ASCE, v. 102, n. CO2, p. 379-383: 1976.
- LEVINE, H. A., ALIBERTI, E. M., FORD, B. P., *The Application of Line of Balance on an International Project*, *Proceedings of the Fifth Internet Congress*, v. Thursday, Birmingham, U.K., p. 251-258: 1976.
- LUMSDEN, P., *The Line of Balance Method*, Pergamon Press, London, U.K.: 1968.
- O'BRIEN, J. J., *Network Scheduling Variations for Repetitive Work*, Paper Apresentado no ASCE Spring Convention, Atlanta, Ga: 1984.
- O'BRIEN, J. J., KREITZBERG, F. C., MIKES, W. F., *Network Scheduling Variations for Repetitive Work*, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, v. 111, n. 2, p. 105-116: 1985.
- O'BRIEN, J. J., *VPM Scheduling for High Rise Buildings*, *Journal of the Construction Division*, ASCE, v. 101, n. CO4, p. 895-905: 1975.
- OXLEY, R., POSKITT, J., *Management Techniques Applied to the Construction Industry*, 2ª. ed, Crosby Lockwood, U.K.: 1971.
- SUHAIL, S. A., NEALE, R. H., *CPM/LOB: New Methodology to Integrate CPM and Line of Balance*. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 120(3), p. 667-684: 1994.