



A APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA TEORIA DAS RESTRICOES PARA ORIENTAR NO PROCESSO DE NIVELAMENTO DE RECURSOS NO GERENCIAMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Abla Maria Proência Akkari (1); Sergio Alfredo Rosa e Silva (2); Ubiraci Espinelli Lemes de Souza (3)

- (1) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: abla.akkari@poli.usp.br
(2) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: sergio.alfredo@attglobal.net
(3) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: ubiraci.souza@poli.usp.br

RESUMO

Proposta: A indústria da construção tem mudado seus processos gerenciais para melhoria da competitividade, existindo forte demanda para o uso de novos métodos de planejamento. O principal objetivo dessa pesquisa é propor uma abordagem para o nivelamento de recursos que utilize conceitos da Teoria das Restrições (TOC), adotado-a na elaboração de planos. **Método de pesquisa/Abordagens:** A pesquisa conduziu uma revisão bibliográfica, estabelecendo a aplicação dos conceitos da TOC. Um estudo de caso, em uma empresa de construção no Brasil, focando no mercado do Real Estate, comparou a quantidade de mão-de-obra e fluxo de caixa após a aplicação das técnicas: CPM (Critical Path Metod), LOB (Line of Balance) e TOC. **Resultados:** Uma análise crítica foi conduzida sobre os benefícios da aplicação dos conceitos da TOC e apresentou uma redução no número de mão-de-obra, uma melhora no fluxo de caixa, apesar do prazo total de execução não ser menor em relação às outras técnicas. **Contribuições/Originalidade** Os autores sugerem os passos para o nivelamento de recursos a partir dos conceitos da TOC e constataram que a estrutura proposta por esse trabalho irá permitir uma maior eficiência no processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP).

Palavras-chave: Teoria das restrições; nivelamento de recursos; planejamento.

ABSTRACT

Purpose: The construction industry has been changing its managerial process to improve the competitiveness and there are strong demands for the use of new planning methods. The main objective of this paper is to propose an approach of resource levelling process was used the theory of constraints (TOC) concepts in the planning elaboration. **Methods:** The researchers conducted a bibliographical review to establish the application of the TOC concepts. A case study, in a Brazilian Construction Company, focused the Real Estate market, compared the resource work and flow cost after that CPM technique, line of balance and constraints theory application. **Findings:** A critical analysis was conducted about the benefits of the TOC concepts application and it showed one reduced of the amount of man power, one improved of the cost flow, although that they don't reduce the project duration comparing other techniques. **Originality/value:** The authors suggest the steps to resource leveling from the TOC concepts and evidenced that the framework proposes in this paper will permit an improvement in the efficiencies of the production planning and control process (PCP).

Keywords: Theory of constraints; resource levelling; planning

1 INTRODUÇÃO

Quando se pensa em elaborar um planejamento a primeira pergunta que nos vem à mente é: Por onde começar? Pelas atividades de maior valor? Pelas atividades mais urgentes? Pelas atividades que dependem de determinados recursos já disponíveis? Pelas atividades que abrem frente para outras atividades? Ou, por todas as atividades ao mesmo tempo?

Existem muitas possibilidades, mas nenhuma parece, logicamente, a mais adequada, pois as decisões são tomadas com base em experiências anteriores, sem testar qual a melhor opção estatística. Quando se decide o sequenciamento das atividades com restrição técnica, a decisão é mais clara, fácil e objetiva, por exemplo, fundação-> estrutura -> alvenaria. Mas, quando se aborda atividades que podem ser feitas em paralelo, ao abrir frentes de serviço, às decisões se baseiam muito mais em lições aprendidas anteriormente e no sentimento, do que em dados científicos.

Ao elaborar planos para execução e controle dos serviços deve-se seguir alguns critérios como: ser realista; ser possível de executar; levar em consideração as limitações (material, mão-de-obra, liberação de área, e dúvidas sobre os projetos). Ou seja, qualquer planejamento realista deve levar em consideração as restrições.

Goldratt (1988) define restrição como sendo qualquer coisa que limite um sistema em atingir o seu maior desempenho em relação a sua meta, esse autor defende que existem vários tipos de restrições, e estas podem ser:

- Não físicas - são políticas que continuam atuando quando já deviam ter sido substituídas, ou seja, são regras que permanecem em vigor após suas causas terem sido extintas (Goldratt, 1998);
- Físicas – também chamadas gargalos, são recursos que não têm capacidade suficiente para atender a demanda.

Todo sistema deve ter, pelo menos, uma restrição, por outro lado, cada sistema, na realidade, deve ter um número muito limitado de restrições. Assim, Ronen & Star (1990) sugere um processo iterativo passando pelos passos de: a) Identificar os gargalos do sistema; b) Explorar os gargalos; c) Subordinar tudo à decisão anterior; d) Elevar os gargalos do sistema; e, e) Se em um passo anterior o gargalo for superado, voltar ao passo (a). Ao encontrar uma restrição adicional, deve-se verificar minuciosamente se existem conflitos entre as restrições identificadas.

Nesse trabalho os autores aplicarão os conceitos da TOC para o nivelamento de recursos no processo de elaboração do planejamento, fazendo um comparativo com as técnicas CPM (Critical Path Method) e LOB (Linha de Balanço).

A técnica CPM é uma técnica de rede que surgiu desde a década de 70, propondo modelos de planejamento, os quais observam principalmente restrições tecnológicas e, somente, de uma maneira mais tímida, a existência de interferências entre as tarefas e a incerteza na disponibilização de recursos e sua espera (Laufer e Tucker, 1987). As tarefas podem ser realizadas em série ou em paralelo, que ao se inter-relacionar formam uma rede.

A técnica LOB, também chamada de tempo-caminho, linha de fluxo, ou linha de balanceamento, é utilizada em empreendimentos onde ocorrem atividades que vão se repetir ao longo da sua execução. A construção do diagrama é feita com a representação em escala no eixo Y, das seções ou trechos onde são desenvolvidas as atividades, enquanto que no eixo X são indicadas as durações das atividades.

Essa técnica utiliza como input: unidade base (unidade de referência da programação, por exemplo, pavimento tipo, casa ou apartamento); equipe especializada (grupo de operários que realiza determinada tarefa e que a repete em todas as unidades base); e, ritmo das tarefas (número de dias que cada equipe especializada permanece numa unidade base). Como output obtém-se: datas de início e término das atividades; esperas; a velocidade das atividades e a tendência de gargalos.

2 OBJETIVO

De acordo com as idéias propostas, anteriormente, o objetivo deste trabalho é considerar, no nivelamento de recursos, ao se elaborar os planos do PCP (Planejamento e Controle da Produção), os conceitos da TOC, fazendo um comparativo com as técnicas CPM e LOB, e analisando também o fluxo de caixa do empreendimento.

3 METODOLOGIA

O método utilizado foi um estudo de caso, inicialmente, foi elaborado o planejamento da fundação de uma residência com dez sapatas, situada na região de São Paulo. Para cada sapata foram listadas as tarefas necessárias à sua execução, calculadas suas quantidades, definidos os índices de produtividade, calculado as durações e recursos, definido o sequenciamento e os custo referente a cada tarefa. Os planos foram elaborados e nivelados aplicando: a técnica CPM; a técnica LOB e os princípios da TOC. Após a elaboração foram avaliados os resultados e analisados criticamente os dados obtidos.

4 APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES NA ELABORAÇÃO DOS PLANOS

Ao analisar os conceitos da TOC, verifica-se que para elaboração dos planos dois itens são de fundamental aplicação, um se refere ao balanceamento de fluxo e não de capacidade, e o outro, aplicação do conceito mais importante dessa Teoria que é, como o processo de planejamento pode proporcionar o maior ganho para a empresa.

A aplicação desses conceitos à construção civil faz com que exista uma reflexão sobre, de que modo os serviços podem ser executados, utilizando os recursos necessários, de maneira que não exista inventário de produto acabado, semi-acabado ou de insumos? Como o produto final (casa) pode ser colocado no mercado de maneira que proporcione a empresa um maior ganho, ou seja, venda rápida com investimento postergado?

Entretanto, no que se refere à mão-de-obra, a situação é diferente, pois a construção civil apresenta processos dependentes da mesma mão-de-obra enquanto que a manufatura não. Esta particularidade faz com que as equipes se tornem um dos principais fatores a serem estudados e acabam restringindo o uso de máquinas e equipamentos.

4.1 Balanceamento de capacidade – Análise das situações

Dentro desse item devem ser verificadas três situações: a primeira (eq. 1) acontece quando a atividade predecessora possui velocidade maior que a sucessora, ou seja, a atividade anterior vai abrir várias frentes de trabalho fazendo com que apareça um intervalo entre o que foi produzido e a próxima atividade a ser realizada. Isso implica na redução do ganho, pois recursos foram investidos para realização da atividade predecessora, além do que o produto semi-acabado fica exposto a danos e como não pode ser processado para entrega não existe entrada de dinheiro.

$$V_{ap} > V_{as} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

V_{ap} = velocidade da atividade predecessora;

V_{as} = velocidade da atividade sucessora.

A segunda situação (eq. 2) acontece quando a atividade predecessora é mais lenta que a sucessora, ou seja, caso a atividade posterior inicie logo após a conclusão da anterior, essa equipe ficará parada durante um período aguardando frente de trabalho para dar sequência à atividade. Isso também implica na redução dos ganhos, pois o tempo de espera é considerado como tempo improdutivo.

$$V_{ap} < V_{as} \quad (\text{eq. 2})$$

A terceira situação (eq. 3) é quando a atividade predecessora possui a mesma velocidade da atividade sucessora. Nesse caso só será necessário abrir uma frente de serviço da atividade anterior para início do próximo serviço. Em alguns casos recomenda-se manter uma folga entre as atividades, pois caso ocorra algum imprevisto não haverá paralisações.

$$V_{ap} = V_{as} \quad (\text{eq. 3})$$

Para aplicar o primeiro conceito “*balanceamento de capacidade*” é necessário, inicialmente, verificar: o tamanho do lote; restrições do sistema (mão-de-obra, local, produtividade máxima, restrição técnica e equipe máxima); e tipo de dependência entre as atividades e as tarefas.

Nesse contexto, todas as restrições deverão ser identificadas antes do balanceamento do fluxo, vale ressaltar, que uma atividade pode ter uma ou mais restrições, e uma das restrições podem sofrer interferência de outra restrição, por exemplo, o local pode ser limitante do tamanho e da equipe (Silva, 1999). A seguir serão detalhados alguns exemplos a serem considerados (Kähkönen, 1993):

- Equipe máxima e mínima – deve-se definir a equipe máxima que poderá realizar essa atividade, considera-se aqui a produtividade máxima e a limitação de espaço. Quanto à definição da equipe mínima, deve-se também levar em conta a produtividade e analisar o número mínimo de pessoas necessário para desenvolver a atividade;
- Local – a limitação de espaço acaba restringindo o tamanho da equipe, e a sequência das atividades e das tarefas, pois em um mesmo local duas equipes não podem trabalhar ao mesmo tempo;
- Produtividade máxima – deve-se definir qual a produtividade máxima a ser considerada na elaboração dos planos, sem que haja esforços sobrenaturais para realização das tarefas;
- Sequenciamento – pode ser definido pela restrição de equipe ou por um sequenciamento técnico, por exemplo, a desforma não pode ser realizada logo após a concretagem necessitando de uma folga.

4.1.1 Definindo atividades

De acordo com o PMBOK (2000), a atividade é um elemento do trabalho executado durante o decorrer do empreendimento. Uma atividade, normalmente tem: duração, custo previsto, e material necessário a sua execução. As atividades podem ser divididas em tarefas, termo genérico do trabalho não incluso no WBS, mas que deve ser comprometida a um responsável durante o decorrer do empreendimento.

O termo tarefa é definido segundo Ballard e Howell (1998) com o mesmo significado da palavra inglesa *assignment*. Neste trabalho as tarefas representam os pacotes de trabalho que podem ser executadas por uma determinada equipe dentro do planejamento de curto prazo, ou seja, os pacotes de trabalho passam a ser denominado de tarefas no momento que são atribuídos às equipes (Koskela et al., 1997).

No planejamento para definir uma atividade é necessário analisar o fluxo da produção na direção inversa (do produto final até o início dos serviços). No caso das edificações as vendas acontecem por apartamento, às alterações são realizadas por apartamento, mas as equipes são locadas por apartamento ou pavimento a depender do estágio da construção. Então qual o tamanho do lote a ser adotado?

Em todos os casos deve-se ter a visão do fluxo de trabalho a partir da menor quantidade do produto acabado, isso é fundamental para visualizar as folgas ou as esperas que acontecem neste fluxo. Nesse trabalho será definido: o serviço -> fundação; as atividades -> Sapata de 1 a 10; e as tarefas -> escavação, concreto magro, colocação de forma, colocação de aço, concreto estrutural e desforma.

4.1.2 Como balancear os fluxos por tentativas

4.1.3.1 Aplicação da técnica CPM

Para montar uma rede é necessário definir: as atividades por etapas construtivas, ou unidade de produção; as quantidades relativas a essa unidade; a equipe necessária para realizar cada tarefa; e sequência executiva (predecessora e sucessora).

Assim, foi montado o planejamento inicial aplicando a técnica CPM (Figura 1). Como consequência percebe-se que algumas tarefas são mais rápidas ou mais lentas que a tarefa predecessora. Verifica-se ao montar a rede que a escavação é a tarefa que possui a maior duração (4,1 horas) e ao serem interligadas com as atividades sucessoras (concreto magro e escavação da próxima sapata) apresenta-se como gargalo, formando assim o caminho crítico.

COD	ATIVIDADE	DUR	INICIO	FIM	EQUIPE	4 Out 04	11 O
						S T Q Q S S D	S T
4	SAPATA 01	9,68 hrs	7/10/04 08:00	8/10/04 10:41			
5	Escavação	4,1 hrs	7/10/04 08:00	7/10/04 13:06	SERV		
6	Concreto magro	0,72 hrs	7/10/04 13:06	7/10/04 13:49	SERV		
7	Colocação de forma	2,4 hrs	7/10/04 13:49	7/10/04 16:13	SERV;CARP		
8	Colocação de aço	2,97 hrs	7/10/04 16:13	8/10/04 09:11	SERV;ARM		
9	Concreto estrutural	0,53 hrs	8/10/04 09:11	8/10/04 09:43	SERV[8];PED		
10	Desforma	0,96 hrs	8/10/04 09:43	8/10/04 10:41	SERV;CARP		
11	SAPATA 02	9,78 hrs	7/10/04 13:06	8/10/04 15:47			
12	Escavação	4,1 hrs	7/10/04 13:06	7/10/04 17:12	SERV		
13	Concreto magro	0,72 hrs	7/10/04 17:12	7/10/04 17:55	SERV		
14	Colocação de forma	2,4 hrs	7/10/04 17:55	8/10/04 10:19	SERV;CARP		
15	Colocação de aço	2,97 hrs	8/10/04 10:19	8/10/04 14:17	SERV;ARM		
16	Concreto estrutural	0,53 hrs	8/10/04 14:17	8/10/04 14:49	SERV[8];PED		
17	Desforma	0,96 hrs	8/10/04 14:49	8/10/04 15:47	SERV;CARP		
18	SAPATA 03	8,8 hrs	7/10/04 17:12	9/10/04 09:53			
19	Escavação	4,1 hrs	7/10/04 17:12	8/10/04 11:18	SERV		
20	Concreto magro	0,72 hrs	8/10/04 11:18	8/10/04 13:01	SERV		
21	Colocação de forma	2,4 hrs	8/10/04 13:01	8/10/04 15:25	SERV;CARP		
22	Colocação de aço	2,97 hrs	8/10/04 15:25	9/10/04 08:23	SERV;ARM		
23	Concreto estrutural	0,53 hrs	9/10/04 08:23	9/10/04 08:55	SERV[8];PED		
24	Desforma	0,96 hrs	9/10/04 08:55	9/10/04 09:53	SERV;CARP		
25	SAPATA 04	5,7 hrs	8/10/04 11:18	9/10/04 14:59			
26	Escavação	4,1 hrs	8/10/04 11:18	8/10/04 16:24	SERV		
27	Concreto magro	0,72 hrs	8/10/04 16:24	8/10/04 17:07	SERV		
28	Colocação de forma	2,4 hrs	8/10/04 17:07	9/10/04 09:31	SERV;CARP		
29	Colocação de aço	2,97 hrs	9/10/04 09:31	9/10/04 13:29	SERV;ARM		
30	Concreto estrutural	0,53 hrs	9/10/04 13:29	9/10/04 14:01	SERV[8];PED		
31	Desforma	0,96 hrs	9/10/04 14:01	9/10/04 14:59	SERV;CARP		

Figura 1 - Planejamento elaborado aplicando a técnica CPM

E verificado no histograma de mão-de-obra obtido a partir do planejamento elaborado com a técnica de rede CPM (Tabela 1), que o número máximo de mão-de-obra direta por dia seria 14 pessoas. Uma outra observação é que se o fluxo de caixa fosse efetuado após a conclusão das atividades, 50% dos recebimentos e dos desembolsos seriam efetivados até o 5º dia, ou seja, quando o empreendimento estaria na metade do período de execução, sendo que o tempo total de execução das atividades seria de 08 dias. Ao montar uma rede CPM não se preocupa com esperas das equipes, ficando difícil visualizar o fluxo da produção, a grande preocupação é com as restrições técnicas.

Tabela 1: Histograma de mão-de-obra e prazo final utilizando a técnica CPM

HISTOGRAMA INICIAL - PRAZO 7/10 A 14/10															
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a	15a
Date	7/oct	8/oct	9/oct	10/oct	11/oct	12/oct	13/oct	14/oct	15/oct	16/oct	17/oct	18/oct	19/oct	20/oct	21/oct
Ajudante	3	10	10	10	10	10	10	9							
Carpinteiro	1	2	2	2	2	2	2	2							
Armador	1	1	1	1	1	1	1	1							
Pedreiro	1	1	1	1	1	1	1	1							
Max/dia	6	14	14	14	14	14	14	13							
Valor (R\$)	107	548	687	522,9	537,5	547,8	530,6	401,5							
Valor acumulado	107	655	1342	1865	2402	2950	3481	3882	3882	3882	3882	3882	3882	3882	3882
%	3%	17%	35%	48%	62%	76%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

4.1.3.2 Aplicação da técnica LOB

Nesse caso é necessário analisar e definir: a velocidade das tarefas e as restrições de área. A velocidade pode ser:

[1] Se $V_{ap} < V_{as}$ - escavação e concreto magro

Restrição – não se pode aumentar a equipe da escavação devido à limitação de espaço, e duas equipes diferentes (exemplo: magro e forma) não podem estar no mesmo espaço, também por possuir uma restrição de área e técnica (em uma mesma sapata a tarefa de forma não pode ser realizada antes da conclusão do concreto magro).

Para cálculo da folga necessária para o início da atividade sucessora sem que haja esperas utilizam-se as equações 4, 5 e 6

$$\text{Duração total da atividade} = \text{quantidade de sapatas} \times \text{duração de cada sapata} \quad (\text{eq. 4})$$

Duração total predecessora (Dur p total)- escavação – 15 (unidades) x 4,1 (horas) = 61,5 horas,

Duração total sucessora (Dur s total) -magro – 15 (unidades) x 0,72 (horas) = 10,8 horas,

$$R = (\text{Dur p total} / \text{Dur s total}) \quad (\text{eq. 5})$$

R = relação entre as durações das atividades predecessora e sucessora

$$R = 61,5 / 10,8 = 5,7$$

Isso implica que a cada escavação de uma sapata executa-se 5,7 concretos magros, portanto, caso as equipes iniciem ao mesmo tempo a equipe de magro irá aguardar a escavação, havendo espera. Para evitar paralisações, aplicando os conceitos da LOB, utiliza-se a equação (6), adicionando uma folga após o início da escavação.

$$FL = [\text{Dur(p total)} - \text{Dur(s total)}] + \text{Durs} \quad (\text{eq.6})$$

FL= Folga para início da sucessora sem que ocorra paralisação;

Dur s = duração da sucessora

$$FL = 61,5 - 10,8 + 0,72 = 51,42 \text{ horas}$$

[2] Se $V_{ap} > V_{as}$ – concreto magro e forma

Nesse caso foi considerado que ao concluir a tarefa anterior, concreto magro, a equipe de forma poderia iniciar o serviço nessa sapata, pois nunca existirá espera, o mesmo ocorre quando as durações são iguais.

A Figura 2 apresenta o gráfico de Gantt do planejamento montado após a aplicação da técnica LOB, verifica-se a folga necessária para o início do concreto magro, evitando assim que esta equipe espere abrir frentes de serviços, ou seja, anulando paralisações entre a execução do magro e a escavação.

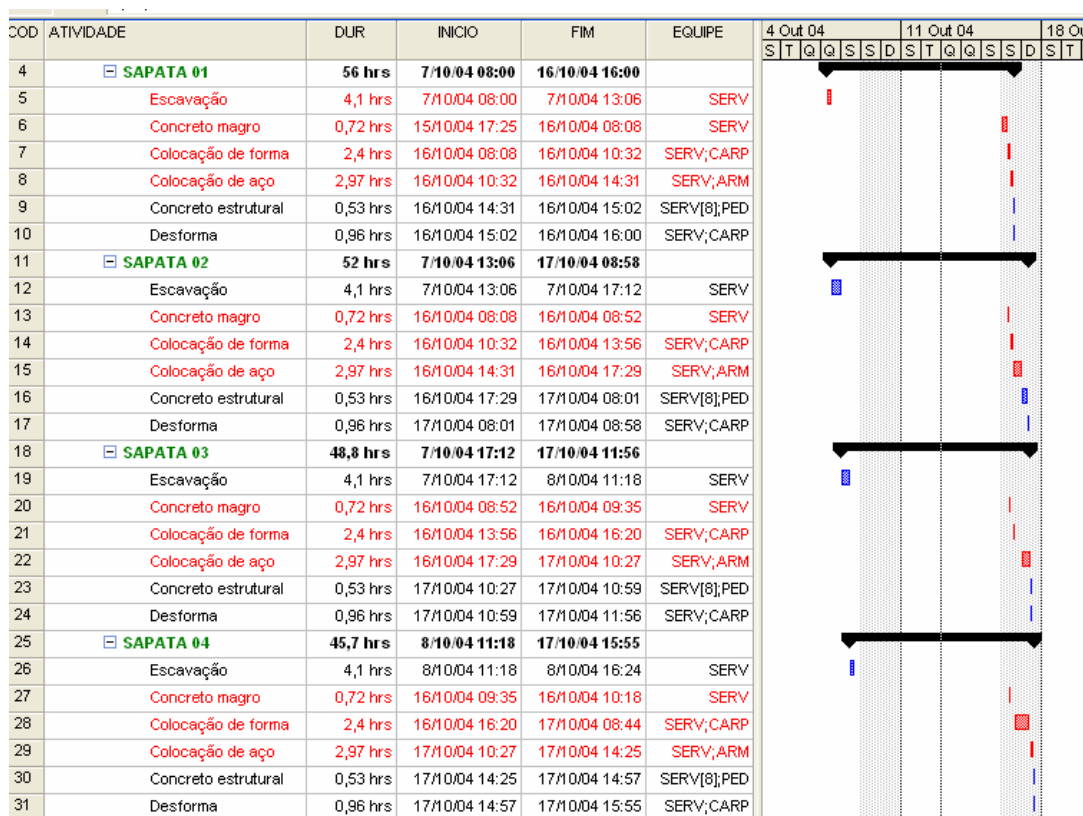


Figura 2 - Planejamento elaborado aplicando a técnica de linha de balanço (LOB)

Pode-se verificar, analisando o histograma obtido a partir da aplicação da técnica LOB (Tabela 2), que o número máximo de mão-de-obra direta por dia é de 14 pessoas. Uma outra observação é que 50% dos recebimentos e dos desembolsos seriam efetivados até a 12ª semana, ou seja, quando o empreendimento atingiu 80% do tempo de execução. Para realizar as atividades serão necessários 15 dias, quase o dobro da previsto anteriormente (8 dias). Como existe uma restrição de local não é possível aumentar a equipe de escavação, portanto, essa duração não poderá ser reduzida.

Tabela 2: Histograma de mão-de-obra e prazo final utilizando a técnica LOB

HISTOGRAMA BALANCEADO(LINHA DE BALANÇO) - PRAZO 7/10 A 21/10															
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a	15a
Date	7/oct	8/oct	9/oct	10/oct	11/oct	12/oct	13/oct	14/oct	15/oct	16/oct	17/oct	18/oct	19/oct	20/oct	21/oct
Ajudante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	10	10	9	8
Carpinteiro										2	2	2	2	2	1
Armador										1	1	1	1	1	1
Pedreiro										1	1	1	1	1	1
Max/dia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	14	14	14	13	11
Valor (R\$)	30,3	36,8	26,8	26,82	26,82	29,85	23,79	0	9,09	664,1	678,8	747,4	722,4	659,7	199,3
Valor acumulado	30,3	67,1	93,9	120,7	147,5	177,4	201,2	201,2	210,2	874,4	1553	2301	3023	3683	3882
%	1%	2%	2%	3%	4%	5%	5%	5%	5%	23%	40%	59%	78%	95%	100%

4.1.3.3 Aplicação da TOC

Segundo os conceitos da TOC a aplicação das duas técnicas (item 4.1.3.1 e 4.1.3.2) não aumentam o ganho do empreendimento. A técnica CPM apresenta: esperas de equipes, um pico de mão-de-obra igual ao da LOB, mas um prazo para desembolso e recebimento menor, pois a LOB a tarefa sucessora (concreto magro) necessita aguardar 51,42 horas para ser iniciada, com essa folga o fluxo apresenta um recebimento mais tardio, o prazo final se apresenta maior e a quantidade de recursos no dia de pico é igual a apresentada pela técnica CPM.

Esse trabalho se propõe a balancear o fluxo da produção a partir dos conceitos da TOC, aplicando os seguintes passos: a) definem-se as tarefas; b) definem-se as restrições; c) define-se a produtividade desejada para cada tarefa, mediana (Souza, 1996); d) define-se a equipe máxima; e) calculam-se as

durações; f) define-se o sequenciamento (fluxo de trabalho); g) adota-se para cada tarefa a maior duração do fluxo, no caso exposto a maior duração é a da escavação; e, h) redefini-se o tamanho das equipes, mantendo a relação com os índices de produtividade. Pode-se verificar o resultado ao analisar a Figura 3.

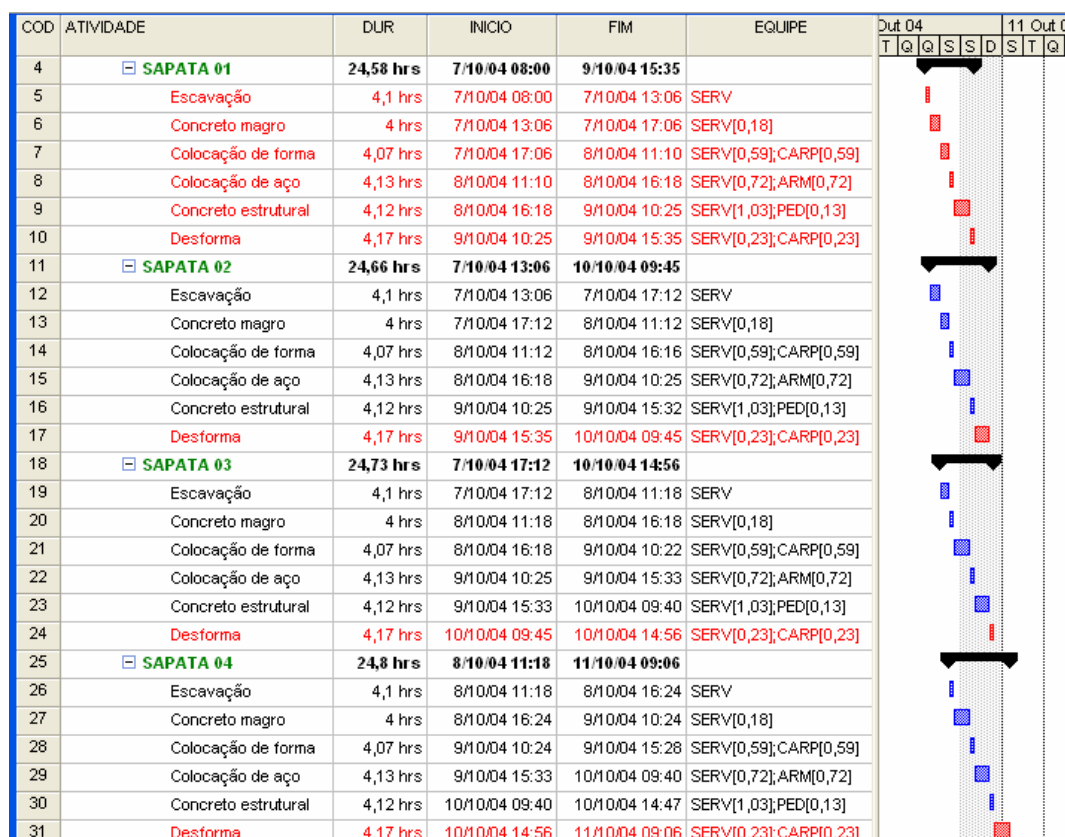


Figura 3 - Fluxo balanceado após aplicação dos conceitos da TOC

Pode-se verificar ao analisar o histograma obtido a partir dos princípios da TOC (Tabela 3) que o número máximo de mão-de-obra por dia é de 5,42, 62% menor que os encontrados a partir das outras técnicas. Outra observação é que 50% dos recebimentos e dos desembolsos acontecem até o 5º dia, ou seja, na metade do período de realização do empreendimento. O tempo de execução das atividades é de 10 dias, ou seja, 25% maior que o apresentado no primeiro caso, e 44% menor do que o do segundo caso.

Tabela 3: Histograma de mão-de-obra e prazo final utilizando os conceitos da TOC

HISTOGRAMA BALANCEADO(PROPOSTA TEORIA DAS RESTRIÇÕES) - PRAZO 7/10 A 16/10															
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a	15a
Date	7/oct	8/oct	9/oct	10/oct	11/oct	12/oct	13/oct	14/oct	15/oct	16/oct	17/oct	18/oct	19/oct	20/oct	21/oct
Ajudante	1,77	3,52	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	2,75	1,98	0,23					
Carpinteiro	0,59	0,59	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,23	0,23					
Armador		0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72						
Pedreiro		0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13						
Max/dia	2,36	4,96	5,42	5,42	5,42	5,42	5,42	4,42	3,06	0,46					
Valor (R\$)	44,1	220	562	565,2	565,1	564,6	560,3	511,4	286,6	2,57					
Valor acumulado	44,1	264	826	1392	1957	2521	3081	3593	3879	3882	3882	3882	3882	3882	3882
%	1%	7%	21%	36%	50%	65%	79%	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

5 CONCLUSÃO

Antes de apresentar as conclusões, vale ressaltar, que Goldratt, autor da TOC, não é um acadêmico e sim um empreendedor, seus livros (tipo romance) e ensinamentos, são lançados no mercado e recebe

grande rejeição de boa parte da academia. Entretanto, não podemos negar algumas idéias brilhantes que ainda tentam influenciar o ensino e a pesquisa acadêmica na área da gerência da produção e das operações (Trietsch, 2005).

Nesse contexto, este trabalho apresentou como aplicar TOC no nivelamento de recursos fazendo uma análise do fluxo de caixa de um empreendimento no momento de elaboração dos planos do PCP, comparando com a aplicação das técnicas CPM e LOB.

Em todas as aplicações pode-se verificar que as restrições devem ser analisadas antes do nivelamento de recursos, e a aplicação de folgas (FL) é necessária e importante para impedir que muitas tarefas sejam realizadas ao mesmo tempo sem que ocorram esperas das equipes.

Sobre o recurso obtido após o nivelamento, Tabela 3, os números fracionários de mão-de-obra apresentados, mesmo sendo arredondados, induzindo a uma produtividade menor, ainda assim, apresenta-se uma boa solução.

Com isso não existe problema em arredondar o tamanho da equipe (Tabela 4), pois mesmo havendo ociosidade, ainda existe vantagem em relação aos casos precedentes (Tabela 1 e 2), constatando a não existência de esperas, produto semi-acabado, e perdas no fluxo de caixa.

Tabela 4: Histograma de mão-de-obra (arredondados) e prazo final utilizando a TOC

HISTOGRAMA BALANCEADO(PROPOSTA TEORIA DAS RESTRIÇÕES) - PRAZO 7/10 A 16/10															
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a	15a
Date	7/oct	8/oct	9/oct	10/oct	11/oct	12/oct	13/oct	14/oct	15/oct	16/oct	17/oct	18/oct	19/oct	20/oct	21/oct
Ajudante	2	4	4	4	4	4	4	4	2	1					
Carpinteiro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
Armador		1	1	1	1	1	1	1	1						
Pedreiro		1	1	1	1	1	1	1	1						
Max/dia	3	7	7	7	7	7	7	7	5	2					
Valor (R\$)	44,1	220	562	565,2	565,1	564,6	560,3	511,4	286,6	2,57					
Valor acumulado	44,1	264	826	1392	1957	2521	3081	3593	3879	3882	3882	3882	3882	3882	3882
%	1%	7%	21%	36%	50%	65%	79%	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Segundo Goldratt (2002) nem sempre se deve otimizar todo o recurso do sistema, assim sempre existirá recursos trabalhando sem utilizar sua capacidade máxima visando à otimização do fluxo de trabalho. Essa regra implica em analisar um sistema onde todas as atividades estão trabalhando de forma otimizada, de maneira alguma é um sistema ótimo, a não ser que todos os ritmos sejam iguais. Verificou-se neste trabalho que, aplicando esta teoria, a quantidade de mão-de-obra por dia, apresenta uma redução de aproximadamente 50%, analisando os dias de pico. Ao avaliar o fluxo de caixa verifica-se 50% desembolso e recebimentos acontecem na metade do período de execução das atividades (TOC); 80% após o início do projeto (LOB) e 63% após o início do projeto (CPM). Evidenciou-se também, que o tempo de execução das atividades, foi de 8 dias (CPM); 15 dias (LOB) e 10 dias (TOC) .

O método para o nivelamento deverá seguir os seguintes passos: a) definem-se as tarefas; b) definem-se as restrições; c) define-se a produtividade desejada para cada tarefa, mediana (Souza, 1996); d) define-se a equipe máxima; e) calculam-se as durações; f) define-se o sequenciamento (fluxo de trabalho); g) adota-se para cada tarefa a maior duração do fluxo, no caso exposto a maior duração é a da escavação; e, h) redefini-se o tamanho das equipes, mantendo a relação com os índices de produtividade.

Assim, concluímos que a aplicação da teoria das restrições, no nivelamento de recursos desta obra (10 sapatas), apresentou uma redução no número de mão-de-obra, uma melhora no fluxo de caixa, antecipação dos recebimentos, apesar do prazo total de execução não ser menor em relação às outras técnicas. Mas, vale destacar que este é um projeto pequeno em relação ao planejamento de uma edificação, onde o número de atividades envolvidas é bem maior, estudo esse que esta sendo feito na tese de doutorado da primeira autora.

6 REFERÊNCIAS

- BALLARD, G.; HOWELL G. Shielding Production: essential step in production control. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, v. 124, n.1, p. 11-17, Jan./Feb. 1998.
- GOLDRATT, E.M (1988) Computerized shop floor scheduling. International journal of production research.
- GOLDRATT, E.M (1998) Corrente critica, São Paulo, Nobel omputerized shop floor scheduling. International journal of production research.
- GOLDRATT, E.M (2000) A meta. Great Barrington, MA north river press.
- KÄHKÖNEN, K. AND ATKIN,B. (1993) Modelling activity dependencies for building construction project scheduling, Espoo 1993, Technical Research Centre of Finlandia, VTT Publications 153, 137p.
- KOSKELA, L; BALLARD, G.; TANHUANPÄÄ, V. **Towards Lean design Management**. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 5., 1997, Gold Coast. **Proceedings...** Gold Coast: Griffith University, 1997. p. 1-12.
- LAUFER, A.; TUCKER, R. Is Construction Planning Really Doing Its Job? A Critical Examination of Focus, Role and Process. **Construction Management and Economics**, London, v. 5, n.3, p. 243-266, May 1987.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2000). **A guide to the project management body of Knowledge**. Pennsylvania
- RONEN, B. & STARR, M.K.(1990) Synchronized manufacturing in OPT: From pratice to theory. Computers and industrial Engineering,.
- SILVA, S.A.R (1996). **O Desenvolvimento de um Método de Nivelamento e Alocação Com Números Nebulosos para o Setor da Construção Civil**. 271p, Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SOUZA, U.E.L. de **Metodologia para o estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de fôrmas para estruturas de concreto armado**. São Paulo, 1996 280p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- TRIETSCH, D (2005). Why a critical path by any other name would smel less sweet? Towards a holistic Approach to PERT/CPM, march, **Project Management Institute**, vol 36.