

# **UM MODELO PARA A PROGRAMAÇÃO HEURÍSTICA DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO CONSIDERANDO O VALOR DO DINHEIRO NO TEMPO**

**ICHIHARA, Jorge de Araújo (1)**

(1) Eng. Civil, Doutor em Engenharia, Docente do NUHAM - DCC/CT/UFGA  
C. Postal 8.612 - CEP 66.075-970 Belém - PA. E-mail ichihara@amazon.com.br

## **RESUMO**

Este artigo apresenta um modelo para a programação de projetos de Construção Civil, o qual é apropriado para ser usado em métodos de solução heurísticos baseados no conceito de Busca em Vizinhança. A função de Avaliação aplicada nos programas gerados a cada iteração destes algoritmos consideram o valor do dinheiro no tempo.

## **ABSTRACT**

This paper presents a model for programming civil construction projects, which is appropriate to be used in heuristics solution methods based on neighborhood search concept. The evaluation function to be applied on programs generated at each iteration of these algorithms, accounts money value on time.

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente trabalho apresenta um modelo para a programação de projetos de Construção Civil, cujo critério de otimização fundamenta-se na consideração do valor do dinheiro no tempo, em condições determinísticas. As atividades pertinentes e suas relações de precedência, são representadas por um grafo dirigido do tipo atividade-no-nó e cada uma destas atividades está associada a uma demanda de recurso monetário. O Método do Benefício Líquido Anual Uniforme foi adotado para implementar o objetivo.

Os fluxos incorridos pela empresa no período de tempo de realização do projeto não são considerados, porque não são atribuídos ao projeto. Na análise de investimentos não são considerados os conceitos contábeis de renda e custo, mas o fluxo de caixa líquido em cada período. Em outras palavras, o interesse é sobre os desembolsos requeridos e recebimentos efetivados, assim como sua distribuição ao longo do horizonte de planejamento. Portanto, a consideração do montante do investimento no projeto no instante zero não se aplica, e sim a maneira como este custo se distribui no tempo (Cronograma de Desembolso do Projeto).

Sob este desígnio, o procedimento de programação apresentado consiste na manipulação das atividades para obter vantagem financeira. No caso dos projetos de Construção Civil, o tempo de realização é longo, assim como existe um elevado número de atividades e utilização complexa dos recursos. Por estes motivos, um bom caminho de solução tem

sido os métodos heurísticos, particularmente as heurísticas de busca local (STORER, WU E VACCARI, 1992).

## 2. A ÊNFASE NOS FLUXOS DE CAIXA DO PROJETO

Na área da programação, os grandes projetos de Construção Civil tem sido constituídos por atividades interdependentes, representados pelas redes CPM e PDM, que em sua formação original programam somente com orientação temporal, isto é, os recursos são considerados abundantes. Nos primórdios da utilização destes métodos (final da década de 50), as considerações de custo surgiram apenas no contexto da compressão tempo-custo, na qual o custo total do projeto interage com a duração das atividades. Um tempo depois, os custos foram introduzidos somente com o propósito de controlar os custos totais do projeto, a fim de monitorar o progresso do projeto em termos financeiros. Assim, até os anos setenta, quando RUSSEL (1970) introduziu a idéia de maximizar o valor presente líquido dos fluxos monetários do projeto, a ótica era a do custo total do projeto, sem envolver o valor do dinheiro no tempo (KAZAZ E SEPIL, 1996).

Embora o objetivo habitual seja o de minimizar a duração do projeto ou nivelar os recursos, na presença de altas taxas de juros e alto custo de capital, a maximização do Valor Presente Líquido (RUSSEL, 1986) ou a maximização do Benefício Líquido Anual Uniforme podem ser objetivos mais apropriados. Objetivos como a minimização da duração do projeto, não são afortunados quando o envolvimento em um projeto é o seu potencial de trazer lucros (YANG, TALBOT e PATTERSON, 1992).

Na literatura técnica, sob o ponto de vista da consideração do valor do dinheiro no tempo, os problemas clássicos são o Problema de Programação de Pagamentos (PSP: *Payment Scheduling Problem*) e o Programação de Projetos com Restrição de Recursos e Desconto de Fluxo de Caixa (RCPSPDC: *Resource-Constrained Project Scheduling With Discounted Cash Flow*) (ICMELI E ERENGUC, 1994). O RCPSPDC é a associação do PSP com o RCPSP (*Resource-Constrained Project Scheduling Problem*).

## 3. PROCEDIMENTOS HEURÍSTICOS

Em Pesquisa Operacional, o termo Heurística é usualmente entendido como sendo um algoritmo iterativo que não converge em direção à ótima solução, mas à uma solução possível do problema (STREIM, 1975; MÜLLER-MERBACH, 1981).

Os procedimentos heurísticos podem ser divididos em duas classes (STORER, WU E VACCARI, 1992): as heurísticas específicas, que são desenvolvidas para um problema em particular, a partir de suas especificações (ex.: Sistemas Especialistas), e as heurísticas de busca local (*Local Search* ou *Neighbourhood Search*), as quais consistem de busca no espaço de soluções, fundamentadas no conceito de vizinhança.

Os métodos de busca em vizinhança, são comumente utilizados como uma base para algoritmos e soluções heurísticas nos problemas de otimização combinatorial, ou para melhorar uma solução que tenha sido gerada por uma outra heurística (PAPADIMITRIOU E STEIGLITZ, 1982). Uma das correntes mais promissoras e recentes tem sido as meta-heurísticas como os Algoritmos Genéticos (MITCHELL, 1996), o *Simulated Annealing* (GLOVER E GREENBERG, 1989) e o Tabu Search (VAN LAARHOVEN e AARTS, 1987). Diferentemente dos métodos de busca direta,

estes métodos trabalham por uma via não sequencial e possuem inúmeras qualidades como: amplas possibilidades de contornar os mínimos locais, robusteza, eficiência e capacidade para solucionar problemas complexos e de grande porte.

#### 4. O MODELAMENTO DO PROJETO E A DEFINIÇÃO DO PROGRAMA

Considerando-se um projeto complexo que consiste de  $n$  atividades, algumas das quais executadas em série e outras em paralelo, tal que este projeto seja representado por um grafo dirigido  $G_n(p,a)$ . Os arcos  $a=\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  denotam os inter-relacionamentos entre atividades e os nós  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  representam as atividades, com  $p_1$  e  $p_n$  caracterizados como fantasmas (*dummies*); sob tal designação, estas duas atividades possuem apenas finalidade lógica, simbolizando o início e o final do projeto.  $A_i$  é o conjunto das atividades precedentes de  $p_i$ , com  $i=\{1, \dots, n\}$ ; analogamente,  $\xi$  é o conjunto formado pelos  $A_i$  existentes, ou  $\xi=\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , com  $A_1=\phi$ . Ambos os conjuntos  $A_i$  e  $\xi$ , são importantes para estabelecer o seqüenciamento das atividades; isto é, cada atividade só pode iniciar após o término da execução de todas as suas precedentes contidas em  $A_i$ . Em conseqüência,  $\xi$  governa o andamento do projeto.

■ **Definição:** Seja  $G_n(p,a)$  um grafo dirigido representando as atividades de um projeto complexo, onde  $p=\{p_1, \dots, p_n\}$  contém as atividades e  $a=\{a_1, \dots, a_m\}$  denota o conjunto das interligações existentes. O programa (*schedule*)  $S=(G_n, T_n)$  das atividades consiste do grafo  $G_n$  e do conjunto  $T=\{T_1, \dots, T_n\}$  das datas de início das atividades  $p_1, \dots, p_n$ , respectivamente.

De uma forma geral, cada atividade pode ser executada de vários modos de produção. Cada modo pode ser caracterizado por duas formas distintas: (1) o uso de uma determinada tecnologia de construção, a qual resulta em um contexto particular de duração e despesa total da atividade, e (2) a intensidade da aplicação dos recursos necessários (mão-de-obra, materiais, equipamentos e recursos monetários), implicando em um contexto particular de duração e relação da despesa total da atividade por unidade de tempo. As datas de início devem satisfazer às relações de precedências, bem como devem satisfazer às restrições de disponibilidade dos recursos por período e/ou unidade de tempo.

À série dos encaixes e desencaixes de um período de tempo constitui o Fluxo de Caixa do Projeto, o qual identifica os efeitos do investimento em cada período considerado, e no caso deste modelo, é traduzido em termos de recursos monetários. No problema abordado, a restrição do recurso monetário por período de tempo, impede que as atividades sejam programadas em um horizonte de tempo irreal, devido à consideração do valor do dinheiro no tempo.

#### 5. A TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

Denomina-se Taxa Mínima de Atratividade, à taxa de juros que corresponde ao custo do capital, ou à rentabilidade mínima aceitável para qualquer aplicação. Sua utilização é a base de raciocínio para a aceitação ou rejeição de um programa: o investimento no projeto só é interessante, se a expectativa de ganhos, já deduzido o valor do investimento, for superior ao custo do capital.

A determinação desta taxa não é tarefa simples para as empresas, devido a dificuldade existente na implementação dos modelos teóricos existentes para tal finalidade. Para empresas que não possuem ainda uma mínima Taxa Interna de Retorno requerida, sugere-se a taxa real de retorno de uma aplicação bancária.

## **6. DIRETRIZES E PRINCÍPIOS PARA A CONSTRUÇÃO DO FLUXO DE CAIXA**

No modelo apresentado são definidas algumas diretrizes e princípios (ABREU E STEPHAN, 1982; OLIVEIRA, 1982) para a construção do Fluxo de Caixa do projeto, no nível de abstração necessário ao processo de programação de projetos. Algumas grandezas são de mensuração muito difícil ou não são possíveis de serem obtidas em uma determinada empresa, e neste caso, deve-se citar este fato no relatório de apresentação do método de implementação. As diretrizes são evidenciadas a seguir:

### **6.1. Convenção de Início de Período para os investimentos**

Toda unidade de tempo na qual ocorre a entrada de uma parcela do investimento no projeto, caracteriza o início de um período de tempo. Esta convenção tem origem no mecanismo dos depósitos bancários à prazo fixo.

### **6.2. Convenção de Final de Período para as Receitas e Despesas**

Todas as receitas e despesas que ocorrem em um período de tempo, são consideradas somente no final deste período.

### **6.3. Consideração dos Custos de Oportunidade**

Em muitas situações, o projeto pode requerer o uso de recursos para os quais não existem desenhos, devido já serem disponíveis pela empresa. Como exemplo, pode-se citar o terreno da construção, alguns equipamentos e materiais ou instalações provisórias de canteiro, que já foram utilizados por outros projetos. O custo de oportunidade, é uma medida do quanto a empresa está perdendo ao deixar de aplicar tais recursos em outras alternativas mais rentáveis para a empresa, que não seja o projeto em evidência.

### **6.4. Consideração dos Benefícios**

Os Benefícios dizem respeito aos desembolsos evitados em virtude da seleção de uma determinada alternativa. Por exemplo, a aceitação de uma determinada tecnologia de construção, pode representar a não necessidade de utilizar depósitos ou mão-de-obra mais onerosa.

### **6.5. A Inclusão do Capital de Giro**

O capital de giro consiste no capital disponível (banco, caixa), somado ao realizável à curto prazo (aplicações de curto prazo, estoque, contas a receber, *etc.*), menos o exigível à curto prazo (contas a pagar). O resultado líquido das variações de caixa, estoques, contas a receber ou a pagar, deve ser incluído nos fluxos de caixa do projeto.

### **6.6. A Não Inclusão dos Fluxos de Pagamentos dos Juros**

Os fluxos de pagamentos de juros não são incluídos nos fluxos de caixa do projeto, devido já estarem implicitamente incluídos nos métodos do fluxo de caixa descontado. Pressupõe-se nesta análise, que a empresa sempre utiliza os recursos próprios ou de terceiros, da maneira mais apropriada.

### **6.7. Consideração da Inflação no Fluxo de Caixa do Projeto**

A inflação deve ser sempre levada em conta na avaliação de projetos longos. O investimento pode se expressado em valores monetários constantes ao longo do tempo, mas trazendo embutida a inflação, obtida através de estimativas prévias; ou o investimento pode possuir os encaixes e descaixes reajustados à taxa de inflação em tempo real. Os fluxos geralmente são reajustáveis quando a incerteza sobre o comportamento da inflação é muito grande.

### **6.8. Número Mínimo de Programas para Serem Analisados**

Mesmo na presença de apenas um programa para a avaliação, sempre existirá a alternativa de não realizar o projeto.

## **7. MÉTODOS DE SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE INVESTIMENTO**

Dentre os métodos equivalentes utilizados pela Engenharia Econômica para avaliar as alternativas possíveis de investimento, sobressaem o Método do Valor Presente Líquido (MVPL) e o Método do Benefício Líquido Anual Uniforme (MBLAU).

O Método do Valor Presente Líquido caracteriza-se especialmente pela transferência para o instante presente ou data zero, de todas as variações de caixa esperadas, descontadas à taxa de juros considerada e determinado horizonte de planejamento do programa. A comparação das alternativas de investimento exige que os horizontes temporais dos programas comparados sejam iguais, e embora existam artifícios para suprir este problema, a maneira que exige menor esforço é a utilização do MBLAU, o qual é uma derivação do MVPL.

O Método do Benefício Líquido Anual Uniforme caracteriza-se especialmente pela transformação de todos os fluxos de caixa do projeto analisados, em uma série uniforme de pagamentos equivalente, à taxa mínima de atratividade (TMA), indicando portanto o valor do benefício líquido por período. O termo “anual” utilizado na denominação, é uma convenção adotada devido ao fato de que a maioria dos projetos da Engenharia Econômica possuem magnitude anual. O programa mais atrativo será aquele que apresentar o maior Benefício Líquido Anual Uniforme positivo.

Considerando-se que a variável  $U$  representa o valor de uma série uniforme de pagamentos, e que  $P$  representa o Valor Presente Líquido de uma Série  $X_j$  de recebimentos e desembolsos, com horizonte de planejamento  $n$  e Taxa Mínima de Atratividade  $i$ , o Benefício Líquido Anual Uniforme pode ser expressado como:

$$U = \frac{P \cdot i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1},$$

Onde a expressão  $i \cdot (1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$  é denominada Fator de Recuperação de Capital de Uma Série Uniforme de Pagamentos.

## **8. CARACTERÍSTICAS DOS PROGRAMAS GERADOS**

Os projetos de Construção civil caracterizam-se pelo perfil irregular da utilização dos recursos monetários utilizados, e em um grande número de casos pelo perfil de disponibilidade também irregular.

O processo de escolha da melhor solução nos Algoritmos de vizinhança baseia-se na comparação de soluções ou programas vizinhos. Em se tratando dos projetos de Construção Civil, os programas variam segundo o modo de programação de cada atividade e segundo a disponibilidade dos recursos para o período de tempo em que ela pode ser programada. Sob esta circunstância, cada programa gerado pode possuir diferentes datas de início para cada atividade, resultando em durações de projeto também distintas. Portanto, as características dos programas gerados são as seguintes:

### **8.1. Fluxos de Caixa Irregulares**

Quando acontece de os fluxos de caixa, período a período, não seguirem um padrão regular (fluxos de caixa seguindo uma série uniforme ou um gradiente uniforme, crescente ou decrescente), sua conversão em uma série anual uniforme equivalente pode ser realizada somando-se inicialmente seus valores presentes equivalentes, e a seguir multiplicando-se o total pelo fator de recuperação de capital apropriado. Se o procedimento escolhido fosse o MVP, seria preciso calcular cada um dos fluxos individualmente e, então, somar os resultados.

### **8.2. Diferentes Durações de Projeto**

As soluções de vizinhança geralmente apresentam durações diferentes para o mesmo projeto. No processo de escolha, prevalece àquela solução que possui o maior BLAU, calculado à taxa mínima de atratividade requerida.

### **8.3. Mais de uma Inversão de Sinal**

Alternativas de investimento mais simples são constituídas por um investimento que resulta em benefícios posteriores, caracterizando o caso de uma inversão de sinal dos Fluxos de Caixa. Quando recebimentos e desembolsos apresentam mais de uma inversão de sinal entre suas variações de caixa, o procedimento consiste em adotar um fluxo de caixa transformado, que represente as condições econômicas reais do projeto e uma única inversão de sinal.

## **9. A FUNÇÃO DE AVALIAÇÃO RESULTANTE**

O procedimento adotado neste estudo, o qual é voltado para atender às características dos projetos gerados, consiste em inicialmente tornar o Fluxo de Caixa totalmente positivo, a fim de possibilitar o segundo passo, que consiste em uniformizar o Fluxo de Caixa. Finalmente, julgar os programas pelo método do valor Uniforme Anual.

Para cada período de tempo, têm-se um valor de Fluxo de Caixa, positivo, negativo ou nulo, correspondente à soma algébrica do recurso financeiro disponível (+), com a despesa (-) do projeto nos dias correspondentes.

Em resumo, Cada fluxo de caixa é transformado para seu Valor Presente. A seguir, a soma algébrica de todos os valores presentes correspondentes à todos os períodos de tempo, é transformada no Benefício Líquido Anual Uniforme. Dentre todos os programas gerados e analisados, o melhor é aquele que possuir o maior BLAU. Os valores negativos de  $P$  e conseqüentemente os de  $U$ , serão descartados por não atenderem aos objetivos.

$$U = \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} * \sum_{j=0}^n \frac{X_j}{(1+i)^j}$$

Onde:

- $U$  = Benefício Líquido Anual Uniforme;
- $i$  = Taxa Mínima de Atratividade;
- $n$  = Número de Dias do programa;
- $X_j$  = Fluxo de Caixa no dia  $j$ .

## 10. CONCLUSÃO

O modelo apresentado adequa-se perfeitamente aos métodos heurísticos de busca em vizinhança, porque possui: (1) uma estruturação para as relações de interdependência entre as atividades, (2) princípios e diretrizes para a construção do fluxo de caixa do projeto e (3) uma função de avaliação capaz de ser aplicada aos programas com fluxos e durações distintos, gerados pelo algoritmo de solução à cada iteração.

As iterações dos algoritmos de busca de vizinhança, constróem novos programas à partir da perturbação de um ou mais programas ou soluções iniciais. Estes programas variam segundo as restrições de recursos e o modo de produção das atividades, dando origem à horizontes diferentes, assim como a inversões de sinal e irregularidade dos fluxos. Neste aspecto, a definição da função de avaliação é um dos passos mais importantes do procedimento.

A consideração do valor do dinheiro no tempo, além da função de maximização do benefício líquido anual uniforme, possui também a vantagem de mostrar à administração do projeto o impacto financeiro dos atrasos. Por sua vez, a orientação ao fluxo de caixa induz ao cumprimento das datas especificadas.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P. F. S., STEPHAN, C. *Análise de Investimentos*. Campus, Rio de Janeiro:1982.
- GLOVER, F., GREENBERG, H. J., *New Approaches for Heuristic Search: a Bilateral Linkage With Artificial Intelligence*. European Journal of Operational Research, 39, p. 119-130: 1989.
- ICMELI, O., ERENGUC, S. S. *A Branch and Bound Procedure for the Resource Constrained Project Scheduling Problem with Discounted Cash Flows*. Management Science, v. 42, n. 10, p. 1395-1408: 1996.
- KAZAZ, B., SEPIL, C. *Project Scheduling with Discounted Cash Flows and Progress Payments*. Journal of the Operational Research Society. N. 47. P. 1262-1272: 1996.
- MITCHELL, M., *An Introduction to Genetic Algorithms*. MIT, Cambridge: 1996.
- MÜLLER-MERBACH, H., *Heuristics and their Design: a Survey*. European Journal of Operational Research, n. 8, p. 1-23: 1981.
- OLIVEIRA, J. A., *Engenharia Econômica: Uma Abordagem às Decisões de Investimento*. McGraw-Hill, São Paulo:1982.
- PAPADIMITRIOU, C. H., STEIGLITZ, K. *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NY: 1982.
- RUSSEL, A. H. *Cash Flows in Networks*. Management Science. N. 16. P. 357-373: 1970.
- RUSSEL, A. H. *A comparison of Heuristics for Scheduling Projects with Cash Flows and Resource Restrictions*. Management Science. N. 32. P. 1291-1300: 1986.
- STORER, H. R., WU, S. W., VACCARI, R. *New Search Spaces for Sequencing Problems With Application to Job Shop Scheduling*. Management Science, v. 38. n. 10, p. 1495-1509: 1992.
- STREIM, H., *Heuristische Lösungsverfahren - Versuch einer Begriffsklärung*, Z. Operations Research., n. 19, p. 143-162: 1975.
- VAN LAARHOVEN, P. J. M., AARTS, E. H. L., *Simulated Annealing: Theory and Applications*, D. Reidel, Dordrecht: 1987.
- YANG, K. K., TALBOT, F. B., PATTERSON, J. *Scheduling a Project to Maximize its Present Value: an Integer Programming Approach*. European Journal of Operational Research. N. 64. P. 188-198: 1993.