

UM MODELO ESTIMATIVO DO RETRABALHO UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS PARA GERENCIAMENTO DE PROJETOS.

Lino Guimarães Marujo

linomarujo@cefet-rj.br

Key-words: superposição de atividades, dinâmica de sistemas, retrabalho, gerenciamento de projetos.

Resumo:

Este trabalho aborda os conceitos de gerenciamento de projetos e técnicas para a redução do tempo de projetos, mais especificamente a estratégia de superposição de atividades e, com base na metodologia de dinâmica de sistemas, propõe, a partir de um sistema de equações, um modelo para avaliação da fração de retrabalho necessária e proporcional ao grau de superposição das atividades. Retrabalho que é inerente a atividades onde a informação necessária ainda não está disponível, além de propor algumas trilhas base para pesquisas futuras neste âmbito.

Introdução

Motivação

A área de gerenciamento de projetos é uma das áreas principais da Gestão em Engenharia, onde se concentram inúmeros esforços para uma boa entrega de encomendas que são de certa forma peculiares, pois encerra em si um grau de complexidade considerável. Assim sendo, tem uma grande possibilidade de

desenvolver bons trabalhos, pelo uso intensivo do “estado-da-arte” de pacotes de software em gerenciamento de projetos.

Contudo, um dos parâmetros de input mais difíceis de ser estimado em um modelo de otimização tempo-custo de aceleração de projetos com atividades superpostas, é o *'extended design time'*. Dessa necessidade nasce a motivação para o desenvolvimento deste trabalho, utilizando técnicas de Dinâmica de Sistemas, para que de uma forma sistêmica, abrangente, as proposições tenham uma aderência maior aos desafios complexos enfrentados pelas empresas.

Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo generalista utilizando a abordagem de dinâmica de sistemas, para estimar o *'extended design time'*, diretamente relacionado à fração de retrabalho necessária, em um ambiente de gerenciamento de projetos, levando-se em consideração estratégias de sequenciamento superposto, ou *'overlapped'*, analisando fatores interdependentes, tal qual um ambiente de construção naval e off-shore.

Isto só é possível pela análise dos artigos e referências disponíveis em fontes nacionais e internacionais no que tange:

- a) Dinâmica de sistemas e sua aplicação a gerenciamento de projetos;
- b) Avanços recentes em gerenciamento de projetos, tais quais *'activity crashing'* e *'overlapping'* de tarefas.

Principais Conceitos em Gerenciamento de Projetos

O gerenciamento de um projeto envolve uma gama bastante grande de atividades, dispostas em forma de uma rede, onde o planejamento de prazos e datas de vários

recursos, tais como equipamentos e pessoal, realizarão as atividades requeridas necessárias para completá-lo, atingido um objetivo previamente estabelecido. Essa programação integra o fluxo de informações em diversos aspectos do projeto, incluindo a duração estimada das atividades, a relação de precedência entre as diversas atividades, as restrições impostas pela disponibilidade de recursos e orçamento e o estabelecimento de datas e prazos, e são baseados em uma *Estrutura de Divisão de Trabalho (WBS, Work Breakdown Structure)* (MEREDITH e MANTEL, 2003). Estas informações são processadas numa programação aceitável e por modelos apropriados, muito freqüentemente do tipo “rede”.

1.1. Relação de Troca Tempo-Custo (*Time-Cost Trade-Off*)

O custo de uma atividade é calculado como a soma dos custos dos recursos envolvidos na atividade com seus custos indiretos (custos de supervisão, controle, etc...).

Existem duas formas de se atribuir custos a um recurso: o custo por empreitada e o custo variável por hora de trabalho. O custo por empreitada é utilizado para recursos que irão cobrar por um determinado trabalho, independente do tempo que se gaste para fazê-lo. Também é utilizado para materiais que serão consumidos pelo projeto. O custo variável por hora de trabalho é atribuído a recursos que irão ser remunerados por hora trabalhada, podendo, inclusive, incluir os custos decorrentes de horas-extras.

Portanto a relação de troca existente entre tempo e custo é a correspondência entre o tempo de redução de uma atividade e o custo total que se dispõe de recursos para obter a redução, conforme afirmam Roemer, Ahmadi e Wang:

“A diminuição o ciclo de vida dos produtos impele as firmas a criar e planejar, desenvolver e vender mais produtos em menos tempo do que

nunca antes. A superposição do design e do desenvolvimento é freqüentemente citada como uma das estratégias mais eficazes para se reduzir o tempo de criação e desenvolvimento de novos produtos. Entretanto, a superposição geralmente requer recursos adicionais e que podem ser custosos” (ROEMER et al, 2000).

1.2. A Redução da Duração de Projetos por Superposição de Atividades (Overlapping)

A importância crescente da flexibilidade e agilidade das empresas requerida pelos mercados se reflete em maior rapidez no desenvolvimento de novos produtos ou de alterações em produtos existentes, e no lançamento cada vez mais rápido de produtos encomendados, ou ditos “sob projeto” (*ETO – engineer-to-order*), onde o mecanismo disparador da ordem para início de fabricação ou execução, não é um ponto de reposição de estoque, ou uma necessidade de materiais para a linha de produção, e sim um contrato de execução, como na indústria aeronáutica, naval e/ou de construção civil.

Como Imai et al. (1985) e Clark e Fujimoto (1989) observaram (*Apud ROEMER et al, 2000*), ciclos mais rápidos de desenvolvimento de produtos são freqüentemente caracterizados por atividades superpostas (*overlapping*), e têm crescido o número de publicações a esse respeito. Smith e Reinertsen (1995) (*Apud Ibid.*) consideram a superposição de atividades como uma “técnica imprescindível para economizar tempo de desenvolvimento”. Por exemplo, como a concepção normalmente está terminada antes de a construção começar, a superposição até um certo grau, das duas atividades resultará no encurtamento da duração do projeto. Contudo, começar a execução antes da concepção estar concluída pode também, resultar em um número aumentado de mudanças de comandos, perda subsequente da

produtividade, aumentando os custos e perdendo tempo. Entretanto, estudos de projetos de construção revelaram, que, quando havia mais mudanças do projeto em projetos com atividades superpostas, o número total de mudança de comandos não era significativamente diferente do que em projetos similares que não possuíam superposição de atividades, contudo com a redução do tempo total de execução do projeto (IBBS, LEE e LI, 1998).

Tradicionalmente, dentro do desenvolvimento de um projeto as atividades se desenrolam em uma seqüência, onde o progresso e a informação são acumulados gradativamente ao longo de estágios consecutivos.

2. Dinâmica de Sistemas em Gerenciamento de Projetos

2.1. Conceitos Básicos de Dinâmica de Sistemas

A Dinâmica de Sistemas (DS) foi criada por J. W. Forrester em 1961 (STERMAN, 2000). Forrester desenvolveu uma teoria para simular sistemas complexos, não-lineares, e que contenham vários *feedback loops*. Ele primeiro utilizou esta teoria para modelar e analisar problemas industriais, como flutuações dos estoques, instabilidade da força de trabalho e queda na participação de mercado. Contudo, desde então o seu uso tem se estendido a vários problemas de sistemas ecológicos e sócio-econômicos (Op. Cit.).

O foco principal da DS consiste na análise das tendências dinâmicas do sistema. O objetivo é saber se o sistema em geral é estável ou instável, se ele tende a oscilar, a crescer, a declinar, ou se tende ao equilíbrio. O pressuposto central dessa teoria é que o comportamento dinâmico que se observa em sistemas complexos é gerado pela sua estrutura causal.

O conceito central dessa metodologia é o *feedback*. Onde as decisões ou os padrões de comportamento das funções, são derivadas de informações do sistema. Essas decisões resultam em ações que têm como objetivo mudar o sistema. Quando nova informação chega sobre as condições instantâneas do sistema pode-se, então, verificar se o próprio sistema mudou ou não, isto é, se a ação foi ou não eficaz, causou acréscimo ou decréscimo às funções em questão.

Essa nova informação gera outras decisões/ações que podem produzir mais mudanças no sistema. Isso é uma seqüência circular de causas e efeitos, o que a DS chama de *feedback loop*. Os modelos da DS são formados por vários *feedback loops* inter-relacionadas.

O *feedback* acontece quando a variável x afeta a variável y e y , por sua vez, afeta x , portanto, não se pode apenas observar o efeito que uma variável irá causar em outra variável. Apenas observando todo o sistema de *feedback* é que se pode entender o comportamento dinâmico do sistema. Uma premissa aqui é que o comportamento dinâmico é uma consequência da estrutura do sistema (STERMAN, 2002).

A DS exige que cada elemento e cada relação do modelo tenha uma contrapartida na realidade. Isso difere de muitas outras metodologias que usam variáveis nos seus modelos que não têm contrapartida no mundo real. Entre outros motivos, o uso destas variáveis é comum, pois elas podem tornar mais fácil a solução analítica do modelo, ou para que as variáveis geradas pelo modelo se ajustem melhor aos dados históricos.

Por ter esse objetivo de criar modelos realísticos, os modelos da DS possuem muitas relações não-lineares. A metodologia acredita que não-linearidades são importantes para explicar o comportamento de sistemas complexos. Uma relação não-linear faz com que o *feedback loop* varie de força. Por isso, quando se tem

feedback loops não-lineares inter-relacionadas, em certas condições, uma parte do sistema será dominante, e sob outras condições dominará outra parte do sistema. Cada vez que a predominância passar de um *feedback loop* para outro o comportamento do sistema mudará (SENGUPTA & ABDEL-HAMID, 1993). Portanto, um modelo composto de vários *feedback loops* não-lineares pode produzir uma gama enorme de comportamentos complexos.

Quando o sistema é linear a importância relativa dos vários *feedback loops* não poderá nunca mudar. Isso quer dizer que sistemas lineares podem ser analisados pela redução dos seus componentes individuais (solução analítica) e que os mesmos não podem gerar comportamentos complexos. Como os comportamentos que se observam mais freqüentemente na realidade são complexos, pode-se concluir que existem diversas não-linearidades na realidade.

Para se ter modelos realísticos que sejam capazes de gerar o comportamento dinâmico do mundo real, a DS também utiliza conceitos de outras áreas do conhecimento. Dependendo do que está sendo modelado, a DS vai buscar os conceitos necessários nas áreas em questão. Os modelos utilizam conceitos das ciências exatas (matemática, física, biologia, etc) e das ciências sociais (psicologia, sociologia, etc). A estrutura de qualquer modelo consiste em basicamente duas partes: pressupostos sobre o ambiente físico e pressupostos sobre o processo de tomada de decisão dos agentes que operam nas estruturas físicas.

Como os modelos da DS são compostos de *feedback loops*, a grande maioria das variáveis é endógenas. Um dos objetivos da DS é ter um modelo que consiga simular o comportamento do sistema real endogenamente, isto é, considera-se que a fonte dos problemas em um sistema faz parte da estrutura do sistema (STERMAN, 2000). A DS não encara os problemas em um sistema como causados por variáveis exógenas. Quando um modelo não gera o comportamento de

interesse endogenamente é necessário aumentar as fronteiras do mesmo em relação ao sistema em estudo para que as causas do comportamento sejam incluídas.

2.2. A Dinâmica do Gerenciamento de Projetos

Sendo o gerenciamento de projetos uma das áreas mais importantes e mais pobremente estudadas na gestão das empresas (STERMAN, 1992), atrasos e custos extras são a regra, muito mais do que a exceção, o que nos remete a necessidade de ferramentas e ambientes gerenciais que auxiliem os tomadores de decisão a tomarem decisões sob um alto grau de incerteza e complexidade, muitas vezes motivadas por mudanças freqüentes no projeto ou em seu escopo, decorrente de informações de retorno do que está sendo executado (*feedback*), o que gera um efeito de aumento dos custos e cria possíveis atrasos e interrupção do projeto ao longo de toda a organização.

Resolver tais problemas com base na modelagem e análise de sistemas dinâmicos e desenvolver um ambiente de aprendizado contínuo irá criar e agregar valor aos projetos, explorando a fundo a relação interdependente existente entre abordagens *hard* e *soft* dos sistemas dinâmicos (FORRESTER, 2000). Alguns desses desafios são encontrados na relação entre diferentes níveis de serviço e modelos de prevenção e tratamento das causas dos problemas.

A abordagem de análise de sistemas dinâmicos é uma parte de um *toolset* gerencial para qualquer um que lide com situações operacionais complexas, o que cria um ambiente livre de riscos para simulação de situações gerenciais de alta complexidade, pois lida com uma questão fundamental: a dificuldade de extensão dos métodos experimentais utilizados para estudar decisões individuais agregadas, com características dinâmicas, ou seja, a interação de decisões

individuais com a estrutura da organização, produz um efeito dinâmico agregado, o qual sistematicamente diverge do comportamento ótimo.

Alguns fatores chave da modelagem de sistemas dinâmicos são: múltiplos atores, processos de *feedback*, não-linearidades, e em alguns casos atrasos de fluxo de informações e físicos.

A modelagem de sistemas dinâmicos tem se mostrado uma ferramenta analítica efetiva para uma variedade de situações, tanto acadêmica como prática, e tem sido utilizada por um grande número de organizações ao redor do mundo.

Estes modelos têm sido utilizados largamente em gerenciamento de projetos, incluindo projetos de larga escala em construção naval (COOPER, 1980 apud STERMAN, 1992), aeroespacial, software, e hidrelétricas.

Existe uma vantagem crucial entre os modelos formais e os modelos mentais, a saber:

- Os modelos formais são de mais fácil compreensão, dado que são de fonte aberta, fácil acesso ao entendimento e tem uma lógica de desenvolvimento;
- Os modelos mentais não são tão explícitos, podem ter interpretações particulares e com isso produzirem visões antagônicas.

As características dos modelos formais freqüentemente os tornam mais fáceis de serem entendidos e interpretados e validados quanto a sua qualidade, quando comparados aos modelos mentais, além do fato dos últimos não conseguirem lidar bem com situações de decisões e efeitos em partes remotas integradas.

Projetos de larga escala se tornam sistemas dinâmicos complexos, pelo fato de:

- São extremamente complexos, consistindo de múltiplos componentes interdependentes;
- São altamente dinâmicos;
- Envolvem múltiplos processos de *feedback*;
- Envolvem relações não-lineares;
- Envolvem dados e informações *soft* e *hard*.

Para gerenciar bem esta complexidade, um modelo deve ser capaz de representar os sistemas com estas características, e deve ser inteligível e utilizável pelos gerentes de projetos no dia-a-dia.

2.3. O Retrabalho na Superposição de Atividades

Tradicionalmente, o projeto seguia um padrão seqüencial onde a informação sobre o produto era lentamente acumulada em estágios consecutivos. Um estágio começava apenas onde o estágio precedente havia terminado e havia suprido a informação final e completa. O projeto de produção com etapas superpostas, difere da abordagem seqüencial, pois permite que estágios subseqüentes (*downstream*) possam começar antes dos estágios que os precedem (*upstream*) tenham finalizado suas especificações.

Uma vez que a superposição utiliza informação incompleta, ela exige modos diferentes de comunicação e cooperação entre os estágios de projeto. Como conseqüência, a maior parte da literatura existente neste domínio está focalizada em informações de processamento e desafios organizacionais causados pela superposição (e.g., TAKEUCHI & NONAKA, 1986; SMITH & REINERTSEN, 1995 apud ROEMER *et al*, 2000). Mais recentemente, um outro conjunto de pesquisa introduziu processos diferentes de modelos de pesquisa: HA e PORTEUS (1995)

investigaram como a programação de revisões do projeto impacta o tempo de desenvolvimento do mesmo. AHMADI e WANG (1999) estenderam este estudo e incluíram outros recursos de engenharia em seus estudos. SMITH e EPPINGER (1997, apud ROEMER *et al*, 2000) sugeriram métodos para ordenação das tarefas do projeto a fim de minimizar seu tempo de conclusão, quando as tarefas do projeto dependessem uma das outras para a obtenção de informações. KRISHNAN e outros (1997) desenvolveram uma metodologia para avaliar a superposição em projetos de atividades casadas e investigar os riscos potenciais da superposição com relação ao desempenho do produto.

Pela inerente incerteza associada à superposição, a noção de que ela necessita de trabalho adicional, enquanto da diminuição do tempo de conclusão, já é comum na literatura existente. Entretanto, é geralmente conhecido que o custo da superposição é maior do que a abordagem seqüencial tradicional. Um suporte empírico tem sido dado a isto por MANSFIELD e outros (1972) e EASTMAN (1980), além de AHMADI e ROEMER (2004) proporem um modelo de programação não-linear misto que abordam os incrementos no custo do projeto tanto pela parcela de superposição quanto pela de aceleração.

Contudo, porque a superposição (ou *overlapping*) exige que uma atividade comece sem a informação completa da atividade precedente, um trabalho adicional ou retrabalho é, freqüentemente, necessário para acomodar o imprevisto. Nestes casos, o tempo total de cada etapa ou atividade do projeto aumentam, e também seus custos unitários, elemento que não será abordado pelo modelo proposto na seção 4, por ser diretamente correlacionado ao fator tempo de duração, considerado em questão.

Em seu artigo, ROEMER e outros (2000), propõem um modelo para estimar o tempo de retrabalho de uma atividade devido à superposição, de forma linear e

direta. Para tal, eles discutem como a informação é transferida entre estágios subsequentes do projeto e criam uma função probabilidade para que a previsão esteja correta. Esta função segundo KRISHNAN e outros (1997), pode ser obtida através dos profissionais de desenvolvimento do projeto ou do produto, em particular, quando produtos existentes são redesenhados ou melhorados. A integração desta função no tempo forneceria uma boa estimativa para este tempo de retrabalho, ponto em que no presente trabalho é revisitado e remodelado, levando-se em consideração outros fatores, como os efeitos de aprendizagem e os tempos de superposição.

3. O Modelo Dinâmico de Sequenciamento de Atividades

3.1. Sequenciamento de Atividades com Superposição

Seja um projeto com $n+1$ atividades seqüenciais, onde duas atividades, $i-1$ (*upstream*) e i (*downstream*), seqüenciais e com relação de precedência, conforme diagrama (1).

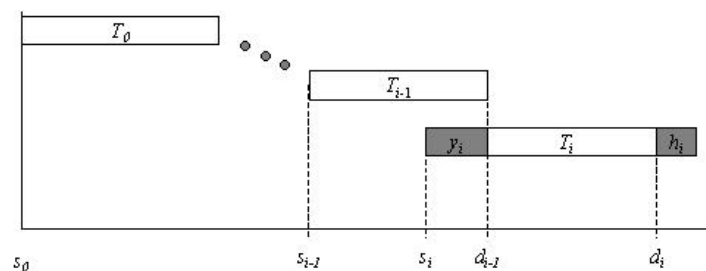


Figura 1 - Sequenciamento de n atividades.

Sabendo-se que T_{i-1} é a duração estimada para a atividade $i-1$, e T_i é a duração estimada para a atividade i , e que i é superposta a $i-1$ com um montante de horas de superposição de y_i , determina-se T_λ , que é a soma das durações das duas atividades, tal que:

$$T_{\lambda} = T_{i-1} + T_i' \quad (3.1.1)$$

A primeira consideração a ser feita é que o *overlap* é (AHMADI & ROEMER, 2004):

$$y_i = d_{i-1} - s_i \quad (3.1.2)$$

denotando o espaço de tempo entre o início antecipado da atividade de *downstream* e o término da atividade de *upstream*, e que a quantidade de retrabalho é uma função probabilidade:

$$h_i(t) = \int_{s_i}^{d_{i-1}} p_i(t) dt \quad (3.1.3)$$

Pelo fato da atividade antecessora começar sem a informação necessária, pode ser necessário um trabalho adicional para acomodar desenvolvimentos não percebidos na atividade de *upstream*, tal que

$$T_i' = T_i - y_i + h_i \quad (3.1.4)$$

que é calculado com base no seu valor original de duração T_i , e h_i é o total de trabalho adicional (*rework*) necessário em função do *overlap*.

A probabilidade em função da fração de *overlap* de se ter necessidade de *rework* no estágio i é:

$$p_i(y_i) = \int_0^{y_i} y_i dy_i \quad (3.1.5)$$

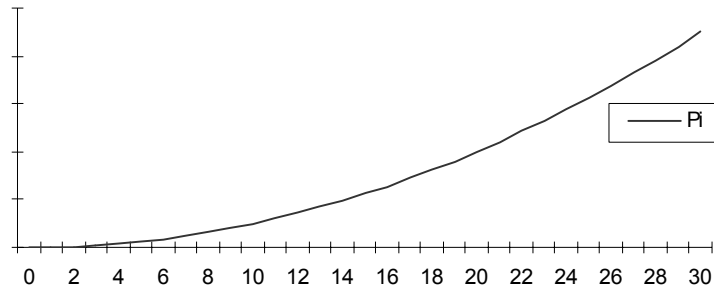


Figura 2 - Função probabilidade $p_i(y_i)$

Contudo, se a atividade i avança dt unidades de tempo, a probabilidade de rework é uma função côncava, se a taxa de informação é alta, e convexa, se a taxa de informação for baixa (KRISHNAN et al, 1997; HA & PORTEUS, 1995), tal que:

$$p_i(\tau) = 1 - e^{-1/\tau}, \text{ onde } \tau \in [s_i, d_{i-1}] \quad (3.1.6)$$

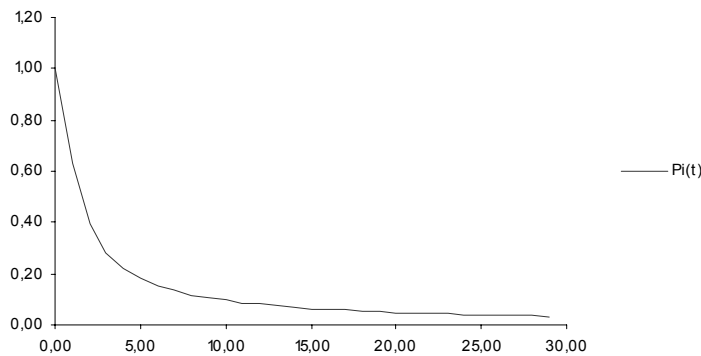


Figura 3 - Função probabilidade de rework

Portanto têm-se a probabilidade $p_i(\tau)$ como uma função da duração de y_i (cf. LOCH & TERWIESCH, 1998).

Segundo LYNEIS et al. (2001), um ambiente de projeto é altamente dinâmico e, dado esse dinamismo, um “sistema de aprendizado” emerge, como consequência de experiências e modelos anteriores.

Como proposto por ZANGWILL & KANTOR (1998), a curva de aprendizado pode ser formulada como uma diferencial, que tem em si o retrabalho e a fração de aprendizado, $L_i(t)$, em uma relação derivada da dinâmica existente entre “predador-presa” da teoria de Lotka-Volterra, e que segue a expressão abaixo:

$$\frac{dh_i(t)}{dt} = -\alpha L_i(t) h_i(t) \quad (3.1.7)$$

onde α é um coeficiente de proporcionalidade ($0 < \alpha \leq 1$).

Onde a fração de aprendizado leva em consideração dois fatores, β de auto-inibição e γ de inibição mútua. Portanto:

$$\frac{dL_i(t)}{dt} = \beta L_i(t) - \gamma(L_i(t) h_i(t)) \quad (3.1.8)$$

e

$$L_i(t) = \int_{s_i}^{d_{i-1}} \frac{dL_i(t)}{dt} dt \quad (3.1.9)$$

então a equação (3.1.7) pode ser reescrita como:

$$\frac{dh_i(t)}{dt} = -\alpha L_i(t) \int_{s_i}^{d_{i-1}} p_i(t) dt \quad (3.1.10)$$

onde $\frac{dh_i(t)}{dt}$ é a taxa de evolução do aprendizado dentro do *overlapping*.

Para as equações (3.1.8) e (3.1.10) os parâmetros α de proporcionalidade, β e γ dependem das observações feitas no ambiente do projeto, e podem ser relacionadas a experiência da força de trabalho, qualidade e quantidade de treinamentos, frequência das inspeções ou trocas de informações entre as etapas, e também complexidade do tipo de trabalho a ser executado.

Por conveniência, segue-se abaixo uma forma de resolução do sistema de equações descrito anteriormente:

início

$$T_{i-1}$$

$$T_i$$

$$s_i, d_{i-1}$$

$$y_i = d_{i-1} - s_i$$

$$T_\lambda = T_{i-1} + T'_i$$

$$p/t = s_i \rightarrow d_{i-1}$$

$$T'_i = T_i - y_i + h_i$$

$$p_i(t)$$

$$\frac{dh_i}{dt}$$

$$\frac{dL_i}{dt}$$

volta a T_λ até $t = d_{i-1}$

As condições iniciais são $t_0 = s_i$, $t_f = d_{i-1}$, T_{i-1} e T_i conhecidos e $\alpha, \beta, \gamma \in]0,1]$.

Assim através do sistema de equações acima se pode estimar o tempo total entre duas atividades seqüenciais, na presença de *overlapping* e com o efeito da aprendizagem, e com o diagrama de fluxos-estoques, pode ser representado através da figura 4.

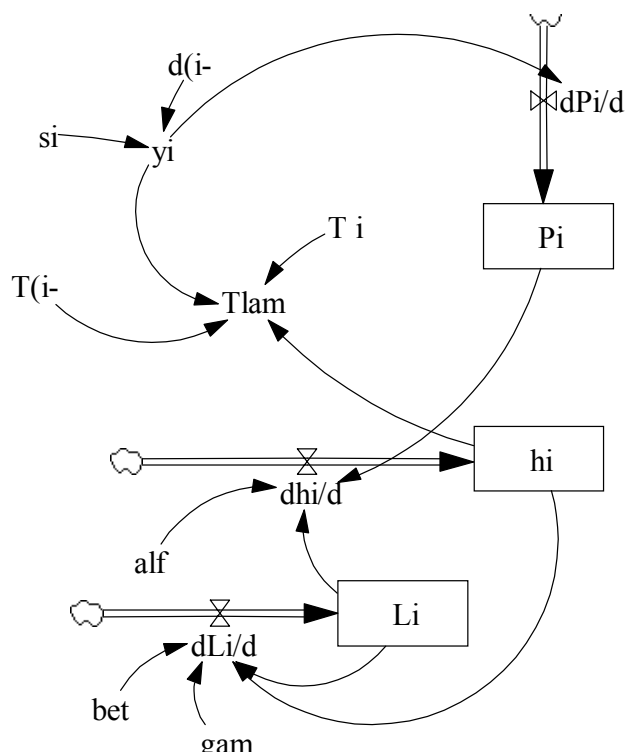


Figura 4 - Diagrama de causalidade dinâmico.

Um outro ponto a ser avaliado é em qual momento no tempo transcorrido de execução da atividade se detectam as não-conformidades e se dá início ao retrabalho. Para isso temos que levar em conta inspeções de processo ao longo do tempo de realização da atividade i . Contudo, qual o número ótimo de horas de inspeções a serem realizadas? Estaremos verificando a relação existente entre, o número de horas de inspeções e o total de horas de superposição planejadas, que por sua vez resultem em não-conformidades.

4. Resultados Preliminares

Neste capítulo será apresentado um exemplo numérico para ilustrar de maneira preliminar a aplicabilidade do modelo proposto na seção anterior. Neste exemplo somente será considerada base de dados disponível no trabalho de GERK (2005,

p.38), donde serão considerados os valores de cada par de atividades e também dos valores de superposição relativa.

O exemplo consiste em aplicar o modelo ao projeto de desenvolvimento de um produto composto de onze atividades, com a finalidade de avaliar qual o nível de retrabalho gerado por cada superposição de pares de atividades.

A tabela 1 contém a descrição das atividades, as relações de precedência, assim como os tempos normais de cada atividade.

Atividade	Descrição	Ativ. Precedente	Tempo Normal (semanas)
1	Projeto do produto	0	8
2	Seleção de materiais	1	10
3	Projeto do processo	2	8
4	Projeto do sistema de produção	3	5
5	Teste de protótipo	4	3
6	Aquisição de materiais	5	4
7	Planejamento da produção	5	3
8	Aquisição de ferramentas e máquinas	5	2
9	Instal. equip.e ajuste de ferramentas	8	1,5
10	Contratação de pessoal	5	4,5
11	Comissionamento da planta	6,7,9,10	1

Tabela 1 - Descrição das atividades e dados do projeto.

Na tabela 2 estão os tempos considerados para a superposição e o indicador da fração de retrabalho para cada par possível de atividades que possam sofrer superposição.

Superposição das Atividades ($i-1 - i$)	$T(i-1)$	T_i	s_i	$d(i-1)$	Tempo Superpos. (y_i)	Fração de retrabalho fornecida (h_i)
1 - 2	8,0	10,0	5,0	8,0	3,0	0,10
2 - 3	10,0	8,0	8,0	10,0	2,0	0,20
3 - 4	8,0	5,0	6,0	8,0	2,0	0,25
4 - 5	5,0	3,0	3,0	5,0	2,0	0,25
5 - 6	3,0	4,0	2,0	3,0	1,0	0,20
5 - 7	3,0	3,0	2,0	3,0	1,0	0,15
5 - 8	3,0	2,0	2,0	3,0	1,0	0,15
5 - 10	3,0	4,5	2,0	3,0	1,0	0,25

8 - 9	2,0	1,5	1,5	2,0	0,5	0,10
6 - 11	4,0	1,0	3,0	4,0	1,0	0,20
7 - 11	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	0,10
9 - 11	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0	0,20
10 - 11	4,5	1,0	3,5	4,5	1,0	0,20

Tabela 2 - Dados referentes a superposição das atividades (*tempos em semanas*).

A figura 5 descreve o diagrama de rede AOA do projeto.

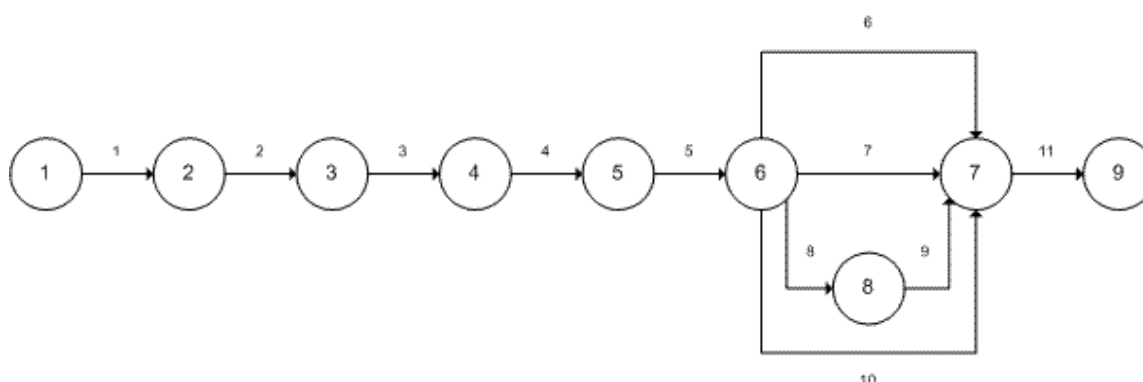


Figura 5 - Diagrama de rede AOA do projeto.

De posse das informações disponíveis nas tabelas 1 e 2, foram calculados e analisados os comportamentos dos tempos totais de superposição para cada par de atividades e a fração de retrabalho gerada de acordo com o sistema de equações apresentado na seção 3.

Para resolução deste sistema foi utilizado o software VENSIM PLE® – Personal Learning Environment, disponível em www.vensim.com, o qual foi criado para modelar, resolver e analisar sistemas que utilizem a metodologia da DS. Utiliza um solucionador de equações diferenciais e integrais pelo método de Euler, com tamanho do passo (TIME STEP) determinado pelo usuário. Neste trabalho utilizou-se um tamanho de passo igual a 0,03125.

Com base nos resultados obtidos pode-se observar na tabela 3 que para valores maiores de tempo de duração das atividades e de superposição o modelo se

comporta bastante bem, com as condições iniciais das constantes $\alpha = 1$, $\beta = 0,3$ e $\gamma = 0,2$. Para futuras pesquisas o valor de β , principalmente que é o fator de inibição entre retrabalho e aprendizado, pode ser alterado e testado para uma melhor aderência dos resultados.

Superposição das Atividades (i-1 - i)	T(i-1)	Ti	si	d(i-1)	Tempo Superpos. (yi)	Tempo total do par de atividades	Fração de retrabalho calculada (hi)
1 - 2	8,0	10,0	5,0	8,0	3,0	15,86	0,09
2 - 3	10,0	8,0	8,0	10,0	2,0	17,19	0,15
3 - 4	8,0	5,0	6,0	8,0	2,0	12,19	0,24
4 - 5	5,0	3,0	3,0	5,0	2,0	7,19	0,40
5 - 6	3,0	4,0	2,0	3,0	1,0	7,72	0,43
5 - 7	3,0	3,0	2,0	3,0	1,0	6,72	0,57
5 - 8	3,0	2,0	2,0	3,0	1,0	5,71	0,86
5 - 10	3,0	4,5	2,0	3,0	1,0	8,22	0,38
8 - 9	2,0	1,5	1,5	2,0	0,5	5,08	1,39
6 - 11	4,0	1,0	3,0	4,0	1,0	5,71	1,71
7 - 11	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	4,72	1,72
9 - 11	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0	3,22	1,72
10 - 11	4,5	1,0	3,5	4,5	1,0	6,22	1,72

Tabela 3 - Resumo dos resultados após as simulações (VENSIM PLE®).

Na figura 6 pode-se observar que existe uma correlação entre as variáveis $\frac{dh_i}{dt}$ e $\frac{dL_i}{dt}$, descrita pelo seu diagrama de fase.

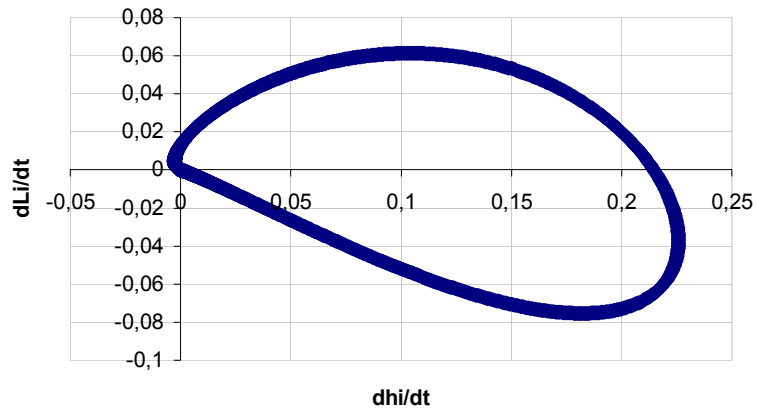


Figura 6 - Diagrama de fase entre retrabalho e aprendizagem para um tempo de simulação = 200 semanas.

Nas figura 7 e 8, observa-se que conforme aumenta a fração de superposição, y_i/T_i , para valores acima de 40% do tempo da atividade i , o modelo fornece valores para a fração de retrabalho, h_i/T_i , muito maiores do que os fornecidos por GERK (2005), pois a probabilidade de ocorrência de retrabalho é uma função direta da quantidade de superposição.

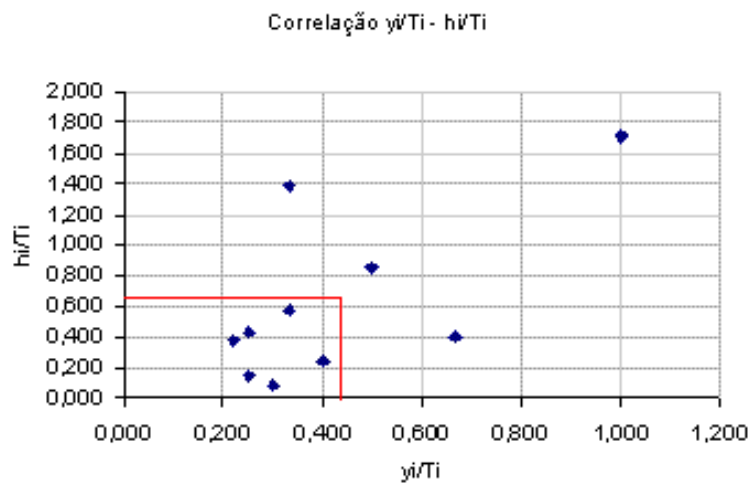


Figura 7 - Correlação entre y_i/T_i e h_i/T_i .

Na figura 8 observa-se que o aumento da fração de retrabalho acompanhou o aumento na fração de superposição para os treze pares de atividades analisados.

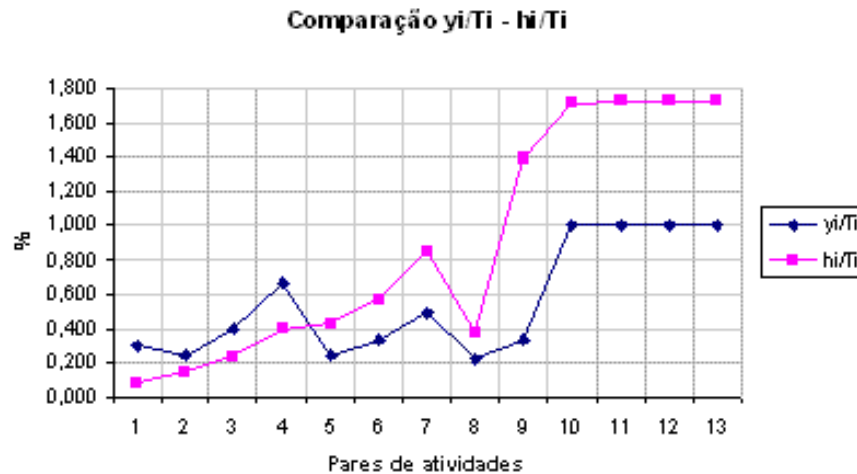


Figura 8 - Comparação da evolução de y_i/T_i e h_i/T_i .

5. Conclusões e Pesquisas Futuras

Embora os problemas enfrentados durante o gerenciamento do projeto sejam dinâmicos, têm sido tratados em modelos estáticos, lineares, o que tem como resultados, atrasos crônicos, *lead-times* alongados e gastos maiores não planejados, o que persistem em acompanhar a reações gerenciais.

Neste trabalho, abordou-se este problema bastante conhecido, introduzindo e revisando algumas características dos conceitos de retrabalho em sequenciamento superposto, o que mostrou a aderência do modelo à realidade da gestão de projetos nas empresas.

Isso consistiu em observar e capturar as relações de *feedback* existentes entre as variáveis do projeto, a estratégia de *overlapping*, e a incerteza inerente em um trabalho sendo iniciado com menos informação do que a necessária. Contudo, há de ser lembrado, que são necessárias novas análises das condições iniciais para

uma tradução mais realista dos problemas enfrentados no dia-a-dia, no tocante à: contratação de força de trabalho, treinamento, grau de especialização e qualificação, complexidade do projeto, entre outros.

Para entender estes conceitos, foram analisados alguns padrões de comportamento (i.e., retrabalho, duração das atividades, apredizagem), e o padrão de comportamento resultante, produzido pelo modelo proposto.

Para uma maior clareza dos resultados da pesquisa, há a necessidade de discussão e refinamento no desenvolvimento do modelo proposto, analisando os valores das constantes de proporcionalidade e das variáveis auxiliares. Assim também, é latente a necessidade da validação do modelo proposto em uma base de dados maior e diretamente ligada à indústria naval e off-shore.

Como uma possível aplicação do modelo, avaliando um ambiente de alta complexidade tal qual o é o gerenciamento de projetos navais, também será possível a aplicação a ambientes onde estejam presentes os conceitos de trabalho colaborativo, à distância ou não, onde são necessárias estimativas das horas de retrabalho após reuniões periódicas e incertezas na transferência de informações.

Para se estabelecer um sentido detalhado para os *feedbacks* e estruturas de interdependência entre as variáveis, a abordagem dinâmica tem como avaliar o impacto do retrabalho em um plano com *overlapping*, e que este pode ser mensurado e analisado em termos quantitativos, e não somente em uma base intangível.

Referências Bibliográficas

ABDEL-HAMID, T K, MADNICK, S E *Software Project Dynamics: an integrated approach*, Prentice-Hall, USA (1991).

- AHMADI, R, ROEMER, T A (2004) Concurrent crashing and overlapping in product development. *Operations Research* 54 (4), pp. 606-622.
- _____, WANG, R H (1999) Managing development risk in product design processes. *Operations Research* 47 (2), pp. 235-246.
- BINDER, T. et al (2005) Developing system dynamics models from causal loop diagrams. *International System Dynamics Society Conference*, Boston, MA, July 2005.
- BOAVENTURA NETO, P O *Grafos: teoria, modelos, algoritmos*. 2ª edição, São Paulo: E. Blucher (1996).
- CASTIAUX, A (2004) Inter-organization learning: Lotka-Volterra modeling of different types of relationships. *International System Dynamics Society Conference*, Oxford, July 2004.
- COOPER, K G (1980) Naval Ship Production: a claim settled and a framework built. *Interfaces* 10 (6), pp. 20-36.
- _____. (1993) The rework cycle: how it really works...and reworks.... *PM Network Magazine*, Feb 1993, pp. 25-28.
- DIEHL, E, STERMAN, J D *Effects of Feedback Complexity on Dynamic Decision Making*. Working paper, MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA (1993).
- IBBS, C W, LEE, S A, LI, M I (1998) Fast-tracking's impact on project change. *Project Management Journal* 29 (4), pp. 35-41.
- FERNANDES, A C (2003) **Scorecard dinâmico – em direção à integração da dinâmica de sistemas com o *balanced scorecard***. Tese de doutorado, Programa de Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ.

- FORRESTER, J W *The Beginning of System Dynamics*. MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA (2000).
- GERK, J E V (2005) **Um modelo de programação não-linear mista inteira para aceleração e superposição de atividades em projetos**. *Tese de doutorado*, Programa de Engenharia Mecânica, COPPE/UFRJ.
- HA, A Y, PORTEUS, E L (1995) Optimal timing of reviews in concurrent design for manufacturability. *Management Science* 41 (9), pp. 1431-1447.
- HENDRICKSON, C, AU, T *Project Management for Construction: fundamental concepts for owners, engineers, architects and builders*, Prentice-Hall, USA (1998).
- HIRAFUJI, M, TANAKA, K, HAGAN, S (1999) Lotka-Volterra machine for a general model of complex biological systems. *International Symposium on Computer Aided Control system Design IEEE*, Kohala, Hawaii, August 1999.
- KRISHNAN, V, EPPINGER, S D, WHITNEY, D E (1997) A model-based framework to overlap product development activities. *Management Science* 43 (4), pp. 437-451.
- LANGLEY, P A, PAICH, M, STERMAN, J D (1998) Explaining capacity overshoot and price war: misperceptions of feedback in competitive growth markets. *International System Dynamics Society Conference*, Quebec, CAN, July 1998.
- LOCH, C H, TERWIESCH, C (1998) Communication and uncertainty in concurrent engineering. *Management Science* 44 (8), pp. 1032-1048.
- LYNEIS, J M, COOPER, K G, ELS, S A (2001) Strategic management of complex projects: a case study using system dynamics. *System Dynamics Review* 17 (3), pp. 237-260.

MARUJO, L G *A dynamic model to determine "Rework" in project management.*

Working paper n.04/04. *PhD Program in Ocean Engineering, COPPE/UFRJ* (2004).

_____ *A dynamic rework model in an overlapped schedule.* Working paper n.05/04. *PhD Program in Ocean Engineering, COPPE/UFRJ* (2004).

_____ *Um modelo dinâmico para avaliar a duração do Extended Design Time em sequenciamento de projetos.* Relatório de trabalho n.06/04. *Programa de doutorado em Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ* (2004).

_____ *System Thinking Model – STM: um modelo para avaliar a aceleração, a sobreposição e o retrabalho em gerenciamento de projetos.* LOGIKE S/C, on-line, www.logike.com/artigos (2005).

MEREDITH, J R, MANTEL, S J, Jr. *Administração de Projetos: uma abordagem gerencial*, 4ª edição, Rio de Janeiro: LTC (2003).

PARK, M, PEÑA-MORA, F (2003) Dynamic change management for construction: introducing the change cycle into model-based project management. *System Dynamic Review* 19 (3), pp. 213-242.

SENGUPTA, K, ABDEL-HAMID, T K (1993) Alternative conceptions of feedback in dynamic decisions environments: an experimental investigation. *Management Science* 39(4), pp. 411-428.

SLACK, N *et al. Administração da Produção.* São Paulo: Atlas (1996).

STERMAN, J D *System Dynamics Modeling for Project Management.* MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA (1992).

_____ *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.* New York: Irwin McGraw-Hill (2000).

- _____ (2002) All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review* 18 (4), pp. 501-531.
- ROEMER, T A, AHMADI, R, WANG, R H (2000) Time-cost trade-offs in overlapped product development. *Operations Research* 48 (6), pp. 858-865.
- YASSINE, A A, SREENIVAS, R S, ZHU, J *Managing the exchange of information in product development*. Working paper, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL, (2004).
- ZANGWILL, W I, KANTOR, P B (1998) Toward a theory of continuous improvement and the learning curve. *Management Science* 44 (7), pp. 910-920.