



FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO

ERIC RANGEL ENGER

**QUANTIFICAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO CLIENTE EM PROJETOS DE  
GRANDE PORTE**

Um método de modelagem utilizando Dinâmica dos Sistemas

SÃO PAULO

2004

Escola de Administração de Empresas de São Paulo	
Data 22.04	Nº de Chamada 65.012.2
Tomo 1355/2004	Dis. 2.1

Enger, Eric Rangel.

Quantificação da interferência do cliente em projetos de grande porte : um método de modelagem utilizando dinâmica dos sistemas / Eric Rangel Enger. - 2004.

161 f.

Orientador: Pierre Jacques Ehrlich.

Dissertação (mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo.

1. Administração de projetos. 2. Modelagem. 3. Métodos de simulação. I. Ehrlich, Pierre Jacques. II. Dissertação (mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo. III. Título.

CDU 65.012.2

ERIC RANGEL ENGER

**QUANTIFICAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO CLIENTE EM PROJETOS DE  
GRANDE PORTE**

Um método de modelagem utilizando Dinâmica dos Sistemas

Dissertação apresentada à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração de Empresas.

Campo de Conhecimento:  
Métodos Quantitativos Aplicados à Administração

Orientador:  
Prof. Dr. Pierre Jacques Ehrlich

FGV-SP / BIBLIOTECA

01355/2004



1200401355

SÃO PAULO

2004

ERIC RANGEL ENGER

**QUANTIFICAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO CLIENTE EM PROJETOS DE  
GRANDE PORTE**

Um método de modelagem utilizando Dinâmica dos Sistemas

Dissertação apresentada à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração de Empresas.

Campo de Conhecimento:  
Métodos Quantitativos Aplicados à Administração

**Data de aprovação:**

\_\_/\_\_/\_\_

**Banca examinadora:**

---

Prof. Dr. Pierre Jacques Ehrlich  
(Orientador)  
FGV-EAESP - IMQ

---

Prof. Dr. Júlio César Bastos de Figueiredo  
FEA - USP

---

Prof. Dr. Orlando Cattini Jr.  
FGV-EAESP - POI

## **DEDICATÓRIA**

Este trabalho é dedicado à Janaíra, Felipe, Beatrice e Anna Carolina. Minha fortuna e fonte das maiores alegrias.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela vida e apoio em todos os momentos.

Ao meu orientador pelo exemplo e inspiração.

Aos meus companheiros de trabalho, pela paciência e contribuição com informações e *insights* valiosos para a realização desta monografia.

## RESUMO

A Dinâmica dos Sistemas vem expandindo seu leque de aplicações por diversas áreas do conhecimento humano, dentre as quais está a Administração de Empresas. Este trabalho mostra que esta disciplina pode ser utilizada como uma ferramenta que fornece subsídios para negociações *post mortem* de projetos de grande porte.

Dentro deste âmbito, o ponto principal é avaliar qual foi a influência do comportamento do cliente no resultado final do projeto. Interferências do tipo: ingerência nas decisões de projeto, alterações de escopo, atraso na aprovação de documentos e solicitações para que sejam realizadas atividades adicionais não diretamente relacionadas ao projeto podem contribuir para o aumento do prazo e do custo de realização de um empreendimento.

A abordagem deste problema através da Dinâmica dos Sistemas fornece a possibilidade de criar modelos de simulação em que possam ser incorporados fatores importantes, porém subjetivos, que contribuem para o entendimento do projeto como o moral da equipe de engenharia e a confiança do cliente na empresa contratada.

Este trabalho traz uma parte teórica que é fruto da pesquisa sobre a literatura existente nesta área específica de aplicação. Nela são explicados os ciclos de paralelismo, de retrabalho e de interferência do cliente.

Na segunda parte, um caso real de um projeto de engenharia é apresentado e modelado. Os resultados são então analisados de forma a fornecer informações confiáveis sobre atraso e custos adicionais de responsabilidade do cliente. Estes dados são a base para a elaboração pela contratada de um documento pleiteando compensação pela interferência do cliente.

Esta abordagem por Dinâmica dos Sistemas é pouco conhecida e ainda pode ser bastante explorada

### Palavras-chave:

Dinâmica dos sistemas, gestão de projetos, atrasos, retrabalho, ciclo de paralelismo, interferência do cliente, ciclo de realimentação

## ABSTRACT

System Dynamics is spreading its application possibilities over several areas of human knowledge, among others, Business Administration. This work shows that this discipline can be used as a tool which brings subsidies for *post mortem* negotiations of major projects.

Within this scope, the main issue is to evaluate client behavior influence over project's final result. Disruptions, as interference in project decisions, scope of work modifications, delays in approving and commenting project documentation and requirement for the accomplishment of additional activities that are not directly related to the job, may contribute for an increasing lead-time and cost overruns.

The System Dynamics approach creates the possibility of building simulation models, which include the incorporation of important, though subjective, factors that contribute for the understanding of the project, such as engineering team morale and client trust on contracted company.

The text is divided in two main parts. The first one brings the theory for this specific application. Concepts like parallelism, rework and custom behavior cycles are explained.

In the second part, a real case of an engineering project is presented and modeled. The results are then analyzed in order to bring reliable information about client induced delays and overruns. Those data are the basis for the creation of a document claiming compensation due to client's interference.

This System dynamics approach is not very known and can still be explored in several ways.

Key words:

System Dynamics, project management, disruption, delay, rework, parallelism, client behavior, feedback loop.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. A TEORIA DA DINÂMICA DOS SISTEMAS.....</b>	<b>12</b>
2.1. HISTÓRICO DA DISCIPLINA .....	12
2.2. O PENSAMENTO SISTÊMICO .....	14
2.3. O PROCESSO DE PENSAR SISTEMICAMENTE .....	16
2.3.1. <i>Pensamento Dinâmico:</i> .....	17
2.3.2. <i>Pensamento "Sistema-Como-Causa"</i> .....	17
2.3.3. <i>Pensamento Florestal</i> .....	18
2.3.4. <i>Pensamento Operacional</i> .....	19
2.3.5. <i>Pensamento do tipo Ciclo Fechado</i> .....	20
2.3.6. <i>Pensamento Quantitativo</i> .....	20
2.3.7. <i>Pensamento Científico</i> .....	21
2.4. O CICLO DE REALIMENTAÇÃO .....	21
2.5. O CÍRCULO VICIOSO DO PARALELISMO.....	23
2.6. O CICLO DE RETRABALHO .....	26
2.7. A INTERFERÊNCIA DO CLIENTE.....	35
<b>3. DESCRIÇÃO DO CASO.....</b>	<b>41</b>
3.1. INTRODUÇÃO.....	41
3.2. O CLIENTE .....	42
3.3. A CONTRATADA.....	43
3.4. O PROJETO .....	44
3.4.1. <i>Extração de Petróleo</i> .....	44
3.4.2. <i>Escopo do Projeto "M"</i> .....	45
3.4.3. <i>Encaminhamento do Projeto "M"</i> .....	47
3.4.4. <i>As Interferências Externas</i> .....	50
3.4.5. <i>O Resultado</i> .....	56
<b>4. MODELAGEM .....</b>	<b>58</b>
4.1. INTRODUÇÃO.....	58
4.2. DISRUPÇÃO E ATRASO .....	59

4.3. O DIAGRAMA CAUSAL .....	60
4.4. OS DISPARADORES .....	76
4.4.1. Disparador 1: .....	76
4.4.2. Disparador 2: .....	78
4.4.3. Disparador 3: .....	79
4.4.4. Disparador 4: .....	80
5. O DIAGRAMA DE FLUXO .....	82
5.1. O MODELO BÁSICO (PROPOSTA) .....	82
5.2. O CICLO DE RETRABALHO .....	85
5.3. O RETRABALHO NÃO IDENTIFICADO .....	87
5.4. O MORAL DA EQUIPE DE ENGENHARIA .....	91
5.5. A PRESSÃO INTERNA PARA CUMPRIR O CRONOGRAMA.....	96
5.6. AS HORAS EXTRAS .....	102
5.7. OS AJUSTES NO CRONOGRAMA .....	105
5.8. O PARALELISMO .....	108
5.9. O PRIMEIRO DISPARADOR – INTERFERÊNCIA DO CLIENTE NA ENGENHARIA.....	111
5.10. O SEGUNDO DISPARADOR – ALTERAÇÕES EM ESPECIFICAÇÕES E ESCOPO...	114
5.11. O TERCEIRO DISPARADOR – ATRASO EM COMENTÁRIOS E APROVAÇÃO DE DOCUMENTOS.....	118
5.12. O QUARTO DISPARADOR – ATIVIDADES ADICIONAIS DE ENGENHARIA.....	122
5.13. SIMULAÇÃO COM TODOS OS DISPARADORES.....	124
6. CONCLUSÃO.....	127
APÊNDICE – FÓRMULAS E GRÁFICOS.....	132
REFERÊNCIAS .....	160

## 1. INTRODUÇÃO

Projetos de Engenharia são, em sua essência, um esforço de coordenação de informações e atividades, tendo como meta alcançar as especificações do cliente, dentro do prazo e custo planejados. No mundo ideal, onde todos estes dados são estáticos, a execução do projeto resume-se em seguir os passos estabelecidos pelo planejamento.

Entretanto, a realidade é outra. A quantidade de informações existentes durante a fase de planejamento é muito inferior àquela disponível durante a fase de execução, que por sua vez está aquém do desejável devido às restrições de orçamento, tempo e mesmo de conhecimento.

Além disso, o ambiente é mutável e as condições de contorno se alteram a todo o momento. Para manter-se no jogo, o gestor de projeto precisa tomar constantemente decisões baseadas em informações incompletas. Juntando a isso a racionalidade limitada do ser humano, que impede o rápido processamento de grandes quantidades de informação, o resultado de cada decisão tomada é muitas vezes imprevisível.

Mas será que é só isso? Apenas a falta de informação e a capacidade limitada de processamento explicariam fracassos retumbantes de projetos que tinham tudo para dar certo?

Se tomarmos uma visão sistêmica de um projeto, veremos que ele se comporta como uma malha com inúmeros nós. Um estímulo externo aplicado em um determinado nó afetará todos os outros em maior ou menor grau. O estímulo poderá ser aumentado ou atenuado ao ser transmitido de um nó para outro. Poderá inclusive retornar ao primeiro nó, interferindo no dado de entrada.

Se conhecermos a estrutura do sistema, muitos de seus comportamentos poderão ser explicados, inclusive com a construção de modelos matemáticos de simulação.

Neste trabalho, a teoria da Dinâmica dos Sistemas será utilizada para estudar um caso de um projeto de engenharia que apesar de ter sido um sucesso em termos tecnológicos, consumiu recursos e tempo muito além do que havia sido planejado inicialmente.

Veremos que a influência do cliente, no sentido de alterar escopo, solicitar modificações e demorar na transferência de informações, pode ter um papel fundamental no prazo final da obra.

O texto será dividido em cinco partes principais. Na primeira será feito um breve histórico sobre a disciplina de Dinâmica dos Sistemas e suas aplicações gerais, com destaque na modelagem de casos de interrupção e atrasos no decorrer do projeto (*Disruption and Delays*). Ainda nesta primeira parte, será revisto o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento do modelo: os conceitos envolvidos, os elementos que compõem o sistema e a dinâmica de seus comportamentos.

A segunda parte será a descrição do caso. Inicialmente será apresentado o projeto como havia sido inicialmente concebido, o seu escopo, os principais atores, seus desafios. Em seguida, a execução: como o sonho foi se transformando em realidade e, finalmente, como esta se transformou em pesadelo.

Apesar de haver diversas causas para explicar o resultado final, o foco principal será sempre a influência do cliente no progresso do projeto. Isto porque a modelagem aqui desenvolvida representará o modelo mental da contratada e poderá servir de suporte para negociações de alteração contratual. As causas do insucesso atribuídas à contratada são de sua responsabilidade e, portanto, não entrariam na negociação.

Na terceira parte será exposto o processo de modelagem para o uso específico na elaboração de documentos pleiteando compensações relativas a atrasos e interrupções causados pelo cliente. Esta seção será concluída com o desenvolvimento do diagrama de causas, que servirá de base para o modelo final.

A quarta parte é a descrição do modelo propriamente dito. Nesta seção serão descritos cada nó e suas interligações, as suposições assumidas e como foram traduzidas na linguagem do modelo. O modelo será então simulado em duas situações: a neutra, em que deverá refletir o comportamento do projeto ideal, ou seja, como fora planejado inicialmente; e aquela na qual são incluídas as interferências do cliente. Na última parte, os resultados serão comentados e será feita a conclusão.

Além de proporcionar a visão sistêmica do projeto, a utilização da Dinâmica dos Sistemas neste tipo de modelagem é especialmente atraente, devido à possibilidade de se modelar um sistema complexo, como é o caso de um projeto de

engenharia, composto por elementos muitas vezes intangíveis, por exemplo os efeitos do *stress*, cansaço e baixo moral da equipe, como veremos no decorrer do trabalho.

## **2. A TEORIA DA DINÂMICA DOS SISTEMAS**

### **2.1. Histórico da Disciplina**

A disciplina de Dinâmica dos Sistemas (DS) é utilizada na criação de modelos e representações de qualquer tipo de sistema e no estudo de seus comportamentos. Isto ocorre na medida em que ela permite o entendimento das relações e dinâmica do sistema ao longo do tempo e sua estrutura e regras de decisão. A DS é portanto uma ferramenta de modelagem do pensamento sistêmico.

A visão sistêmica começou a surgir como uma ciência após a Segunda Guerra Mundial. Inicialmente ligado à Biologia e à Engenharia, este ramo do conhecimento expandiu seu campo de abrangência mais recentemente para ser aplicado em problemas sociais e econômicos.

No início da década de 1960, Jay Forrester<sup>I</sup> foi o primeiro a aplicar a teoria de sistemas no âmbito industrial. Posteriormente, o trabalho de Forrester foi ampliado por Wolstenholme que incluiu outros sistemas sociais, econômicos e ambientais para resultar no que conhecemos hoje como a disciplina Dinâmica dos Sistemas. Entretanto, foi somente no início da década de 1980 que começaram a aparecer aplicações em projetos para esta disciplina.

Rodrigues<sup>II</sup> explica que a aplicação de Dinâmica dos Sistemas à gestão de projetos foi motivada por diversos fatores:

- A preocupação de se considerar o projeto integralmente, em lugar de uma somatória de elementos individuais (a visão holística);
- A necessidade de se examinar aspectos não-lineares importantes, tipicamente descritos por ciclos de realimentação;
- A necessidade de um modelo de projeto flexível que oferecesse a possibilidade de simular alternativas diferentes para auxiliar a tomada de decisão;
- A incapacidade das ferramentas analíticas tradicionais de solucionar todos os problemas gerenciais e o desejo de experimentar métodos novos.

A modelagem de um projeto por Dinâmica dos Sistemas procura capturar todos os principais processos de realimentação responsáveis pelo comportamento do sistema. O processo de gestão do projeto é colocado em um contexto mais abrangente que inclui diversos fatores intangíveis muitas vezes externos ao projeto, com um forte foco nos fatores humanos que freqüentemente dominam as estruturas de realimentação.

Tipicamente, as áreas onde a modelagem por Dinâmica dos Sistemas apresenta melhor aplicação são aquelas onde grandes orçamentos e altos riscos estão envolvidos como nas indústrias aeroespacial, de petróleo, de desenvolvimento de *softwares* e de grandes construções. Nestes casos, os três principais problemas estudados são: monitoração e controle, geração de retrabalho e políticas de admissão de pessoal.

Uma aplicação particular de DS, de maior interesse para este trabalho, foi introduzida por Cooper<sup>iii</sup> no início da década de 1980. Trata-se da construção de modelos para o estudo *post-mortem* de projetos, no qual o comportamento do projeto é descrito sob uma perspectiva sistêmica.

Cooper e sua equipe usaram DS para modelar um projeto executado pelo estaleiro Ingalls, um dos maiores dos Estados Unidos na época. O cliente era a Marinha Americana, o objeto do contrato era um conjunto de nove veículos anfíbios de assalto e 30 *destroyers*. O projeto terminou com um saldo negativo de USD 500 milhões, que segundo a contratada, era em grande parte devido às interferências do cliente.

A reivindicação do estaleiro foi dividida em duas partes. A primeira refere-se ao impacto direto de uma modificação ou atraso. Apesar de sempre haver questões legais sobre a responsabilidade destes custos adicionais, não é difícil entendê-los e podem ser quantificados de uma maneira relativamente simples. Por exemplo, através do número de homem-horas requerido para realizar uma modificação em um desenho, ou para implementá-la na construção do navio. O segundo segmento de reivindicações consiste nos custos relacionados a "atrasos e interrupções", ou seja, os efeitos colaterais de segunda e terceira ordem, que são extremamente difíceis de quantificar e justificar. Conceitualmente, estes são efeitos do tipo "bola de neve", que ocorrem em uma determinada fase do trabalho e que podem se estender entre fases diferentes ou entre projetos distintos. Podemos citar como exemplo alterações na seqüência de trabalho, requerimentos conflitantes de

recursos humanos e fabris, diluição da competência média da equipe (quando são contratados profissionais inexperientes no intuito de aumentar a força de trabalho), erros não identificados que vão causar retrabalho em fases posteriores.

A modelagem desenvolvida por Cooper e sua equipe para diagnosticar as causas da extrapolação dos custos e prazos deste contrato de vários bilhões de dólares foi capaz de quantificar a parcela de responsabilidade da Marinha Americana devido a seus atrasos e modificações de escopo. Assim, após longas negociações, a Marinha aceitou pagar USD 477 milhões, dos quais 200 a 300 milhões puderam ser diretamente atribuídos à utilização do modelo de Dinâmica dos Sistemas.

Mais recentemente em 1995, Williams et al.<sup>iv</sup> estudaram através de modelos de DS os "círculos viciosos de paralelismo". Conforme este modelo, atividades paralelas possuem tipicamente inter-relações que contribuem para o aumento da duração de cada uma delas. O aumento do tempo requerido para a execução de uma atividade dentro de um projeto faz com que o gestor tenda a tomar a decisão de executar mais tarefas paralelamente, aumentando ainda mais a interdependência entre elas. Mais sobre o ciclo do paralelismo será visto na seção 2.5.

Williams e seu grupo da Universidade de Strathclyde na Escócia publicaram uma série de trabalhos tendo como tema a utilização de DS em modelos de Atraso e Disrupção. Vários destes textos foram utilizados como base para a elaboração deste trabalho e serão abordados com mais detalhes nas seções subsequentes.

## **2.2. O Pensamento Sistêmico**

A primeira definição da qual necessitamos para o entendimento da Dinâmica dos Sistemas é a de sistema propriamente dito.

Para Kirkwood<sup>v</sup>, o termo 'sistema' significa um grupo interdependente de itens formando um padrão unificado. A abordagem sistêmica de um problema significa então olhá-lo como um composto de partes que interagem entre si em lugar



de entendê-lo como um conjunto de eventos isolados e suas respectivas causas, separadamente.

A base do pensamento sistêmico é, portanto, a suposição de que a estrutura interna do sistema é, muitas vezes, mais importante que eventos externos para explicar o comportamento do problema. A própria estrutura do sistema gera padrões de comportamento que podem ser previsíveis caso tal estrutura seja conhecida, assim como as condições de contorno.

Chapman<sup>vi</sup> reúne algumas definições de sistema vindas de outros autores, sendo que em comum, todas elas descrevem elementos que funcionam juntos, dependendo um do outro e com um objetivo comum. Morris<sup>vii</sup> descreve o sistema como “um conjunto de pessoas, coisas, informações, organizações, etc agrupadas conforme um objetivo sistêmico particular”. Para Ackoff<sup>viii</sup>, sistema é “qualquer entidade, conceitual ou física, que consiste de partes interdependentes. Cada um dos elementos do sistema é conectado a todos os outros elementos, direta ou indiretamente, e nenhum subconjunto de elementos é independente em relação aos demais”. De uma maneira mais concisa, Roberts et al<sup>ix</sup> descreve um sistema como sendo uma coleção de elementos que interagem entre si e funcionam juntos com um propósito definido.

No nosso caso estamos interessados em sistemas de negócios compostos por processos gerenciais que envolvem pessoas e tecnologias com o intuito genérico de projetar, produzir e vender produtos ou serviços.

A modelagem por Dinâmica dos Sistemas tem como base a verificação de como o estado do sistema se altera com as taxas de entrada e saída de cada variável que pode ser monitorada. A mudança dessas taxas depende da avaliação do último monitoramento do sistema, que é modelado pelas variáveis auxiliares que representam a informação e os procedimentos de tomada de decisão. As variáveis de estado são aquelas que poderiam ser contadas se o tempo pudesse ser congelado, por exemplo, o número de pessoas trabalhando em uma obra, ou o progresso que o desenvolvimento de um determinado produto alcançou. As taxas de entrada e saída são as responsáveis pela alteração da variável de estado ao longo do tempo.

Modelos deste tipo são conhecidos como modelos de estoque e fluxo. Estoques são as variáveis de estado e fluxos são as taxas de entrada e saída que modificam os estoques, como um reservatório de água que possui válvulas para

controlar a entrada de líquido e outras que regulam a saída dele. As válvulas são abertas e fechadas pelas variáveis auxiliares e pelas informações vindas do estado do sistema.

O ponto principal no processo de modelagem por Dinâmica dos Sistemas é o entendimento das relações de influências das variáveis entre si, são os chamados ciclos de alimentação e realimentação.

O fluxo, que entra e sai dos estoques, pode ser material, como o fluxo de peças em uma linha de montagem, ou pode ser virtual, como o fluxo de informações no processo de desenvolvimento de um projeto. No entanto, é importante ter em mente que a visão da modelagem é uma visão macro, que considera o fluxo sempre contínuo, abstendo-se da atenção ao evento discreto. Esta abordagem torna-se bastante poderosa quando se trabalha com grandes números de elementos, como por exemplo, documentos gerados em um projeto.

### **2.3. O Processo de Pensar Sistemicamente**

Richmond<sup>x</sup> descreve de uma maneira bastante didática as diversas fases do processo de pensar sistemicamente. Segundo ele, o método do pensamento sistêmico pode ser dividido em quatro etapas. A primeira refere-se à especificação do problema que se deseja estudar. Em seguida, as hipóteses ou modelos para explicar o problema são construídos. A terceira etapa passa a ser a verificação da adequação das hipóteses e do modelo através da simulação. Finalmente, uma vez comprovada a eficácia das hipóteses e, tendo completado todas estas fases, adquirido o conhecimento da dinâmica do problema, pode-se passar para a fase de implementação.

Para se utilizar o método do pensamento sistêmico, Richmond identifica algumas habilidades de pensamento, cada uma delas predominante em uma fase diferente do processo. O pensamento dinâmico, o pensamento "sistema-como-causa" e o pensamento "florestal" são predominantes na fase de especificação do problema. Na fase seguinte de construção das hipóteses, o pensamento operacional, o de ciclo fechado e o quantitativo são utilizados com maior frequência.

E por último, o pensamento científico é o que melhor se adequa à fase de teste de hipóteses.

A seguir uma breve descrição de cada um dos tipos de pensamento mencionados anteriormente.

### *2.3.1. Pensamento Dinâmico:*

O pensamento dinâmico, ao contrário do estático, visualiza o problema como um processo contínuo que possui um antes, um agora e terá um depois. Encarando-se o problema desta maneira, a dimensão de tempo é acrescentada e o histórico de evolução das variáveis relevantes, e como estas se inter-relacionam, torna-se mais uma fonte de informação a ser integrada na análise.

O pensamento estático enxerga o problema como um mecanismo que, dado um estímulo, reagirá automaticamente de maneira passiva e linear. Ao considerar a história passada e, principalmente, as inter-relações entre as diversas variáveis, o pensamento dinâmico indicará caminhos em geral não-lineares entre dois estados.

Um instrumento bastante útil é o gráfico de comportamento ao longo do tempo dos indicadores de performance. Tais indicadores devem ser preferivelmente variáveis relativas, já que em geral são mais elucidativas que as absolutas.

O período de tempo que será estudado deve ser escolhido cuidadosamente. A consideração de períodos muito maiores ou muito menores que o de interesse poderá contribuir para que fenômenos importantes permaneçam ocultos.

### *2.3.2. Pensamento "Sistema-Como-Causa"*

O pensamento dinâmico nos ajudou a identificar uma série de relações que influenciam o comportamento de variáveis ou padrões de interesse. O pensamento de sistema-como-causa irá identificar quais são os fatores internos ao

sistema que são passíveis de controle pelos tomadores de decisão e quais fatores são exógenos e não podem ser controlados.

A contrapartida do pensamento de sistema-como-causa seria o pensamento de sistema-como-efeito, ou seja, a performance do sistema dependeria unicamente de variáveis exógenas, as quais não se pode influenciar de dentro do sistema. Quanto mais se puder considerar o sistema como sendo ele próprio a causa do comportamento que apresenta, maior a possibilidade de controlá-lo através da interferência nas variáveis e relações que o influenciam.

Enquanto o pensador do tipo sistema-como-efeito tenta prever e se preparar para o ataque de predadores, o do tipo sistema-como-causa se pergunta o que o faz se parecer com uma presa. O primeiro aceita a condição presa/predador como um fator exógeno e incontrolável, o segundo procura meios de alterar esta relação de modo a deixar de ser atraente como uma presa. O primeiro opera reativamente, o segundo, pró-ativamente.

### 2.3.3. *Pensamento Florestal*

Este modo de pensamento contrasta com o pensamento arbóreo. Esta denominação vem da expressão em inglês: "*there are too many trees, I can't see the forest*"<sup>1</sup> ou, em outras palavras, existe a possibilidade de se focar os detalhes (as árvores) ou o todo (a floresta). Para que se tenha uma visão sistêmica, é necessária a capacidade de se ter a visão integral da "floresta", onde estão os seus limites e como ela funciona de uma maneira macroscópica. Este modo de pensar auxilia também a identificação das inter-relações dos elementos do sistema entre si e, conseqüentemente, a especificação do problema.

A visão da floresta nos propicia um entendimento mais abrangente do sistema, porém, em contrapartida, menos profundo e detalhado que uma visão árvore a árvore. Entretanto, quando se procura um entendimento sistêmico do problema, é mais importante que se encontrem novas conexões, que expliquem a sua natureza dinâmica.

---

<sup>1</sup> "Existem árvores demais, eu não consigo ver a floresta"

Para que se consiga utilizar o pensamento florestal, é necessário que se desenvolva a capacidade de abstrair e se elevar do ambiente espaço-tempo em que se vive normalmente, de maneira a obter-se a visão macro do problema. Ao mesmo tempo é necessário que se tenha a habilidade de filtrar os detalhes e considerar apenas aqueles essenciais para o entendimento do sistema.

O desenvolvimento da habilidade de elevação se dá através da percepção e procura dos limites do sistema e do questionamento de como podemos influenciar o que há do outro lado e de como eles nos influenciam. Quanto à capacidade de filtragem, esta pode ser construída através do exercício de procurar similaridades em vez de diferenças nas pessoas, situações, companhias e sistemas que se encontra (em Caetano Vêloso: "de perto ninguém é normal").

#### *2.3.4. Pensamento Operacional*

O pensamento operacional dá preferência à visão de processo em lugar da de fatores. Um exemplo interessante citado por Richmond é o da análise de como melhorar a produção de leite. Pode-se pensar nos fatores críticos de sucesso que a influenciam, como crescimento do PNB, variação das taxas de juros e câmbio, preços de fertilizantes, etc. Mas,... e a vaca?

O pensamento em fatores possui a desvantagem de não considerar como cada fator está relacionado com os demais nem como estão relacionados com o sistema como um todo. O pensamento operacional coloca mais ênfase em questões como o que causa um determinado resultado ou como uma determinada atividade realmente funciona.

O pensamento operacional apresenta dois benefícios importantes. O primeiro é o de estimular uma comunicação mais efetiva, já que exige uma precisão maior na descrição de um processo que a simples listagem de fatores. O segundo é o de auxiliar a identificação de pontos de alavancagem para melhorar a performance. No exemplo da produção de leite, isto aconteceria no momento em que se procura entender como a vaca produz o leite, como o processo ocorre.

Uma maneira de desenvolver o pensamento operacional é através da utilização da analogia do processo como sendo uma seqüência de geradores de fluxo e geradores de estoque. Este é o primeiro tipo de pensamento que é

predominante na fase de construção do modelo, na seqüência de etapas do método do pensamento sistêmico.

### *2.3.5. Pensamento do tipo Ciclo Fechado*

Em contraste com o pensamento linear causa-efeito, o do tipo ciclo fechado considera a existência de retroalimentação que faz com que um determinado efeito também exerça influência sobre o elemento que o causou. A relação causa e efeito passa a não mais ser linear, mas circular, de maneira a não haver mais um ponto de início ou de fim.

A famosa pergunta “o que veio primeiro, o ovo ou a galinha?” é típica de um pensamento linear. Se considerarmos o processo evolutivo, um indivíduo de uma determinada espécie um dia pôs um ovo e dele nasceu um animal um pouco diferente de seus genitores, que um dia pôs um ovo, e assim sucessivamente, até que um dia nasceu uma galinha. Neste modelo de continuidade, não procede o questionamento de o que apareceu primeiro. Mais importante seria saber, por exemplo, quais as freqüências de postura de ovos ou de quanto em quanto tempo ocorria uma mutação, etc.

O pensamento do tipo ciclo fechado se faz necessário quando percebemos efeitos inesperados de alguma ação tomada. Neste momento, verifica-se que o modelo linear de causa-efeito não é suficiente neste caso para explicar o problema. O que ocorre é que existem ciclos não considerados que provocam o efeito inesperado.

### *2.3.6. Pensamento Quantitativo*

Este tipo de pensamento é importante para verificar a confiabilidade dos resultados do modelo criado através da utilização dos tipos anteriores de pensamento.

O pensamento quantitativo resume-se em associar números às hipóteses estruturais do modelo. Isso ocorre quando fornecemos valores numéricos às constantes, escolhemos magnitudes iniciais para os estoques e especificamos as relações matemáticas entre as diversas variáveis.

É importante distinguir os atos de quantificar e medir. Podemos quantificar praticamente qualquer coisa, mesmo o que não é possível medir. Por exemplo, não é possível medir o comprometimento de uma organização a uma iniciativa qualquer, mas é possível atribuir-lhe uma “nota”, por exemplo, de 0 a 10. Desta maneira, variáveis intangíveis podem entrar no modelo, tornando-o mais consistente.

### 2.3.7. *Pensamento Científico*

Uma vez construído o modelo, o pensamento científico será útil para testar sua capacidade de explicar o problema. Ao contrário do pensamento do tipo “prova-da-verdade”, que procura mostrar onde o modelo acerta com a realidade, o pensamento científico procura sistematicamente construir a confiança de que é possível tirar “*insights*” do modelo sobre como melhorar a performance do sistema real estudado.

O pensamento científico testa duas características importantes do modelo. A primeira é a validade de “face”, que verifica se a estrutura do modelo corresponde à estrutura da realidade que se deseja representar. A outra característica é a robustez, que verifica quão realista é o comportamento do modelo quando exposto a condições extremas.

## 2.4. O Ciclo de Realimentação

Uma das grandes dificuldades de se estudar os sistemas é o caráter não-linear de muitos de seus comportamentos, que é causado pelos ciclos de realimentação. Tais ciclos ocorrem quando a causa do comportamento de um

elemento do sistema é influenciada pela consequência deste mesmo comportamento.

Os ciclos de realimentação podem ser positivos, quando o retorno da informação causa um gradual aumento da taxa de modificação da variável de estado, criando um crescimento exponencial, ou 'efeito bola de neve'. Os ciclos de realimentação positivos tendem a reforçar ou ampliar o que quer que esteja acontecendo no sistema. Um exemplo simples seria uma aplicação financeira a juro fixo. A taxa de crescimento em cada período depende do montante acumulado que é crescente. Um outro exemplo ocorre quando uma empresa abaixa o preço de seu produto para aumentar a sua participação no mercado. A concorrência pode responder à altura fazendo com que a empresa abaixe ainda mais seus preços e iniciando uma guerra de preços.

De maneira oposta, existem os ciclos de realimentação negativos que agem contrariamente e se opõem à mudança. Neste caso, a taxa de crescimento diminui conforme a informação é realimentada positivamente, tendendo a um ponto de equilíbrio. Um exemplo típico é o controle homeostático da temperatura do corpo humano. Quanto maior a diferença entre a temperatura existente em um dado momento e a temperatura de referência, maior será a taxa de modificação da primeira. Conforme vai sendo modificada a temperatura, a diferença tende a diminuir e, com ela também a taxa de modificação, fazendo com que o sistema tenda ao equilíbrio. Outro exemplo é o da "mão invisível" de Adam Smith: quanto maior o preço de um produto, menor será a demanda e maior a produção, ocasionando o aumento do estoque deste produto e conseqüentemente uma pressão para abaixar o preço e equilibrar o nível de estoque. Estes ciclos de realimentação descrevem processos que tendem a ser autolimitantes, ou seja, que procuram o equilíbrio.

Sterman<sup>xi</sup> explica que todos os sistemas, não importando o seu grau de complexidade, consistem de uma rede de ciclos de realimentação positivos (ou auto-reforçantes) e negativos (ou autocorretivos). A dinâmica do sistema advém da interação destes ciclos uns com os outros.



## 2.5. O Círculo Vicioso do Paralelismo

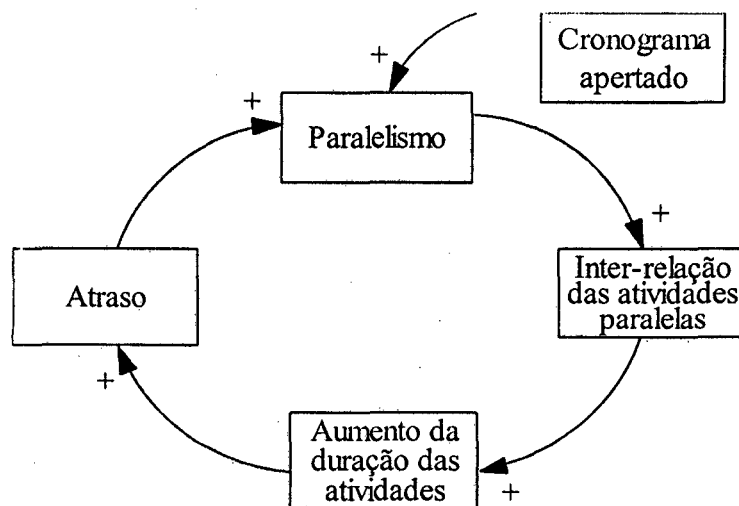
Já mencionamos anteriormente o estudo de William et al<sup>iv</sup>. sobre os círculos viciosos de paralelismo. Nesta seção, estes ciclos serão descritos mais detalhadamente.

Quanto mais complexo for um projeto, maior será a interdependência de informações entre uma fase e outra. Por exemplo, para se projetar um navio, necessita-se conhecer as dimensões principais do casco para calcular seu deslocamento, que influenciará no dimensionamento dos motores e propulsores, que por sua vez afetarão o peso e sua distribuição, que farão com que as dimensões principais sejam revistas e assim sucessivamente. Este é um processo iterativo que converge a um ponto comum e é conhecido como espiral de projeto. O desenvolvimento de cada um destes elementos - casco, motor e propulsor - ocorre paralelamente havendo uma constante troca de informações entre eles.

O atraso no projeto de um dos elementos poderá causar o atraso dos demais ou, alternativamente, o projeto dos demais seguirá, porém com informações não consolidadas do elemento atrasado. Eventualmente, numa fase mais adiantada, os dados estimados poderão mostrar-se incorretos, resultando em retrabalho para corrigi-los e conseqüentemente em atraso. O atraso deste segundo elemento afetará o desenvolvimento dos demais e assim por diante, compondo um círculo vicioso.

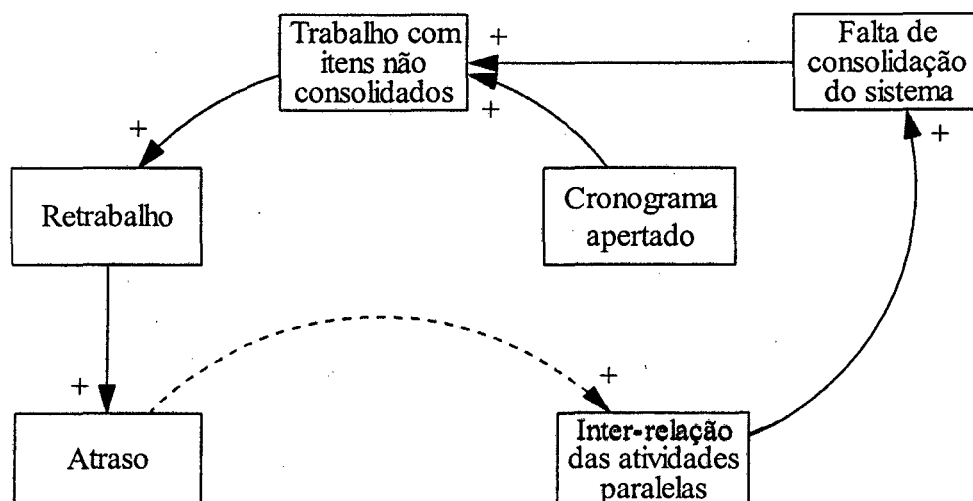
Para a fase de engenharia de um grande projeto em que o desenho de diversos componentes inter-relacionados ocorre simultaneamente, Williams et al. fornece o seguinte exemplo de ciclo de paralelismo.

O Esquema 1 mostra um ciclo de realimentação positiva: ao se executar várias atividades de projeto simultaneamente cria-se a interdependência entre os diversos componentes. Ou seja, para o desenvolvimento de um item é necessário que se tenha informações suficientes vindas dos demais. Este fato faz com que a duração de uma determinada atividade seja aumentada devido à necessidade de coordenação com as atividades dos demais itens, causando atraso no desenvolvimento do projeto como um todo. O atraso, unido ao prazo restrito requerido pelo cliente, faz com que o gerente do projeto opte por desenvolver mais atividades em paralelo, fechando o ciclo.



Esquema 1 – Ciclo básico do paralelismo

Outros ciclos, que contribuem para este inicial, também podem ser identificados. Com o aumento da inter-relação das atividades paralelas, o projeto do sistema ocorre sem que haja a consolidação das informações (veja Esquema 2). Como existe a restrição do prazo, o projeto não pode parar para esperar a chegada de uma determinada informação. O trabalho prossegue então baseado em dados estimados e que ainda podem ser alterados. Quando isso ocorre, o trabalho já realizado terá que ser adequado às novas informações. Isso causa um aumento na taxa de retrabalho, que por sua vez provoca atraso que, como vimos no ciclo

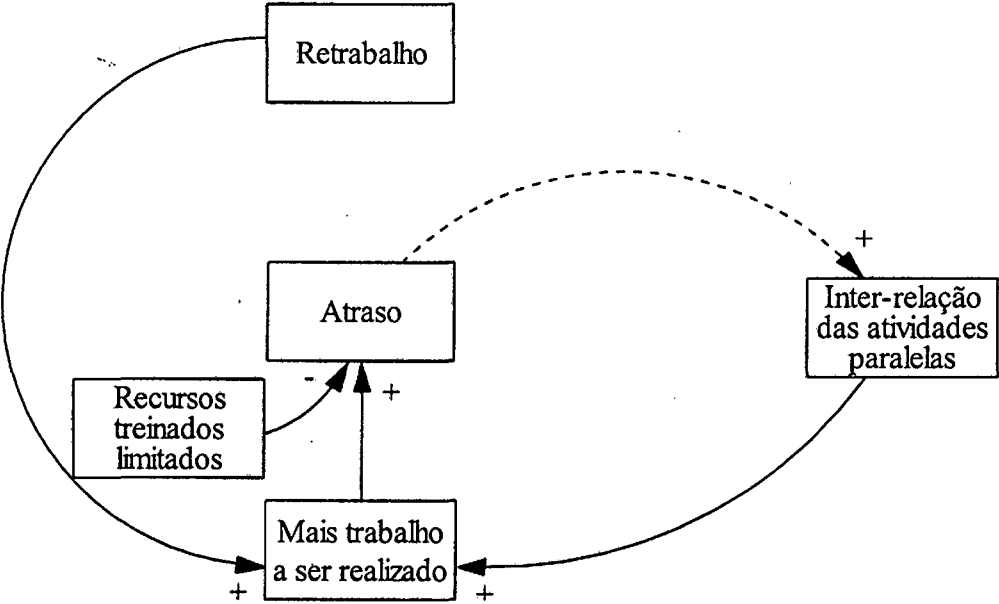


Esquema 2 - Ciclo de paralelismo considerando a consolidação do sistema

anterior, aumentará a inter-relação das atividades paralelas entre si.

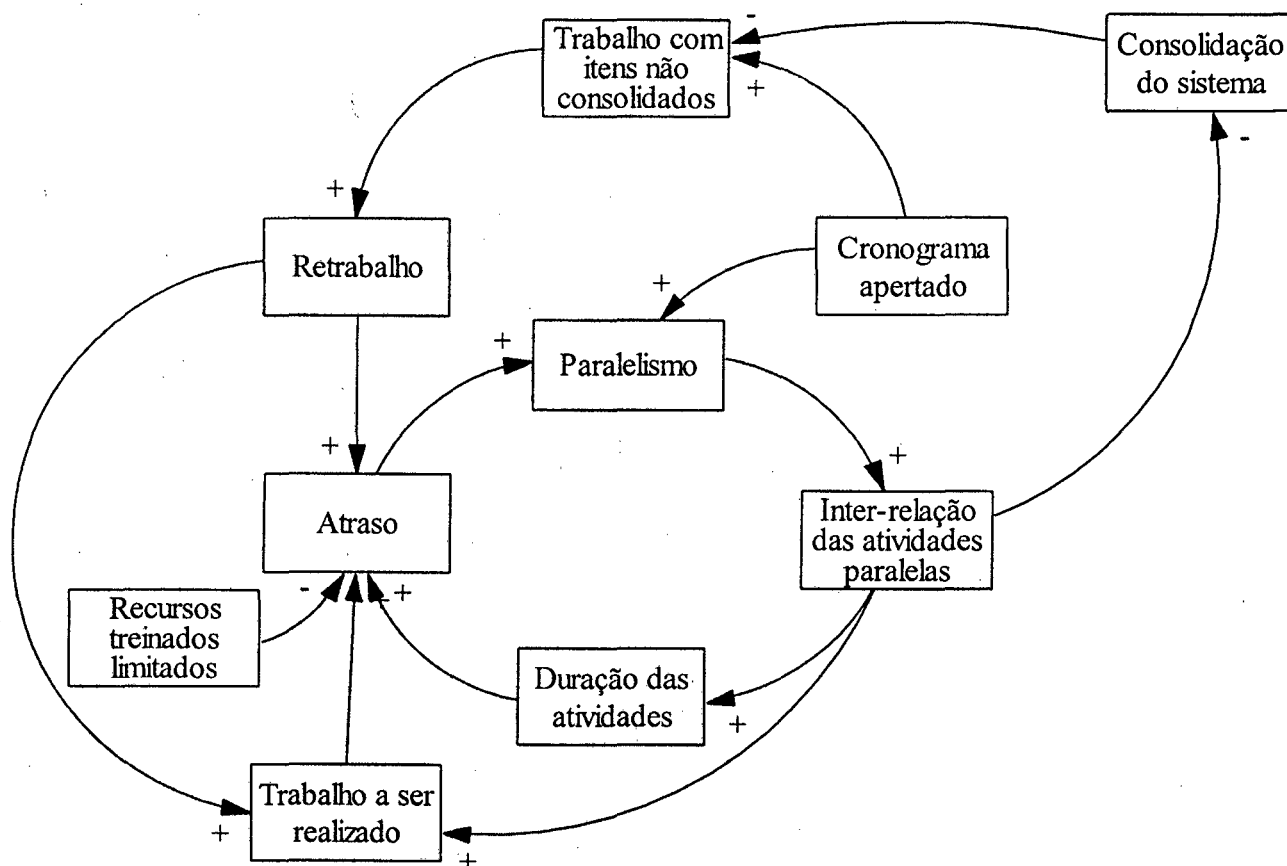
Um terceiro ciclo é representado no Esquema 3. O aumento da dependência entre as atividades paralelas e o aumento da taxa de retrabalho faz com que haja mais atividades a serem realizadas. Como, em geral os recursos disponíveis em um projeto são limitados, teremos mais uma contribuição para o aumento do atraso.

Temos então vários ciclos de realimentação positivos, um interno ao outro,



Esquema 3 - Ciclo de paralelismo considerando recursos disponíveis limitados

gerando um sistema bastante complexo e sensível. Pequenas perturbações, como a demora na aprovação de desenhos ou a modificação inesperada na especificação do produto, apresentam efeitos maiores que o esperado, devido ao poder de amplificação do sistema. Esta é uma maneira de explicar aquilo que todo gerente de projeto já experimentou na prática, que atraso gera atraso. (Veja modelo completo no Esquema 4).



Esquema 4 - Ciclo do paralelismo completo

## 2.6. O Ciclo de Retrabalho

É bastante comum para os gerentes de projeto a sensação de que o empreendimento sob sua responsabilidade não evoluiu tanto quanto o esperado. A frustração aumenta ainda mais quando se experimenta a síndrome dos 90%, em que apesar de todo o esforço, de se ter alocado mais recursos e verbas, o progresso do projeto parece nunca se finalizar.

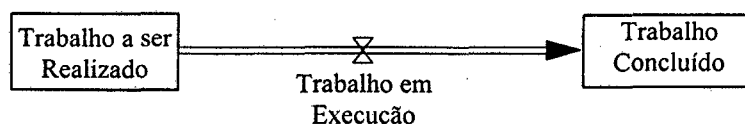
Cooper<sup>xii</sup> lança no começo da década de 90 o conceito de ciclo de retrabalho em uma série de três artigos que se tornaram clássicos nesta área: *"The*

*rework cycle: why projects are mismanaged*<sup>2</sup>; *The rework cycle: how it really works... and reworks...*<sup>3</sup> e *The rework cycle: benchmark for the project manager*<sup>4</sup>.

Novamente aqui estamos considerando o trabalho como sendo um fluxo contínuo, diferentemente de métodos tradicionais como CPM (Método do Caminho Crítico) que considera o projeto como sendo composto de uma série de atividades discretas e individuais.

No caso de projetos de desenvolvimento, cuja natureza engloba processos interativos de engenharia, é importante que a modelagem considere a qualidade do trabalho realizado, a utilização de informações incompletas em estágios subsequentes do projeto e, devido a estes fatores, quanto de retrabalho deverá ser realizado.

Pensando desta maneira, Cooper evolui de uma visão tradicional do projeto, que considera apenas 'atividades a serem executadas', 'atividades em processo' e 'atividades concluídas' para uma visão mais dinâmica do processo com



Esquema 5 – A Visão tradicional – Como é elaborada a proposta

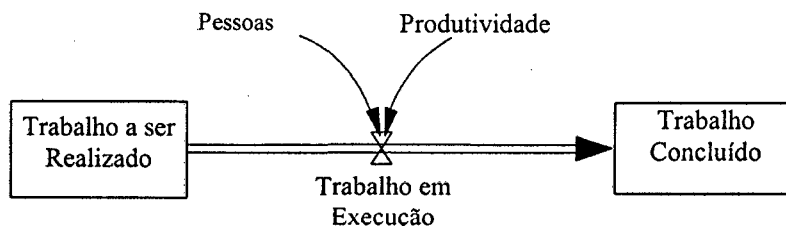
ciclos de retrabalho. No Esquema 5 vemos esta descrição, que é como, na maioria das vezes, o planejamento de um projeto é baseado.

De um lado temos um estoque de 'trabalho a ser feito' que se transforma em 'trabalho concluído' à medida que passa pela válvula 'trabalho em processo'. Esta representação é melhorada quando reconhecemos que a válvula 'trabalho em processo' é controlada pela quantidade de pessoas envolvidas na realização do trabalho e por sua produtividade de maneira a aumentar ou diminuir a taxa de transformação (veja Esquema 6 ). Estas duas figuras representam então como se gostaria que fosse o andamento do projeto.

<sup>2</sup> O ciclo de retrabalho: por que projetos são mal gerenciados

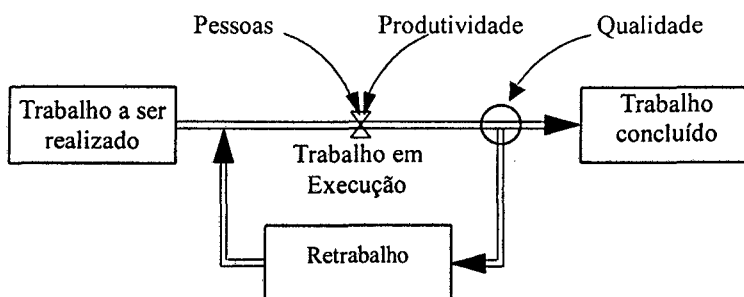
<sup>3</sup> O ciclo de retrabalho: como ele realmente funciona

<sup>4</sup> O ciclo de retrabalho: um padrão de referência para o gerente de projeto



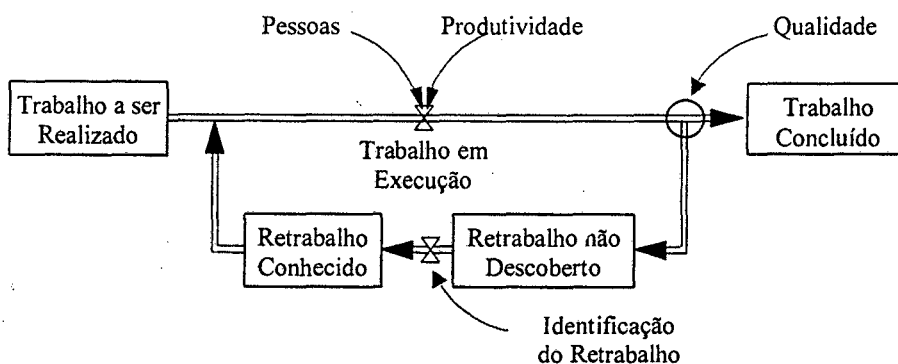
Esquema 6 - Visão tradicional com o acréscimo da influência da produtividade e das pessoas

Dando um passo adiante, Cooper insere no modelo a qualidade. Aqui a qualidade é traduzida como a porcentagem de trabalho realizado que realmente foi concluído. Uma fração deste trabalho é, por alguma razão, rejeitada e deverá ser refeita. Este é o retrabalho que voltará à entrada do processo junto com o 'trabalho a ser realizado' (veja Esquema 7) e consumirá os mesmos recursos, planejados apenas para este último.



Esquema 7 - Ciclo do Retrabalho

Para nos aproximarmos ainda mais da realidade, é necessário separar o retrabalho em dois estágios: o retrabalho não descoberto e o conhecido (ver Esquema 8). Esta distinção se faz necessária já que muitas vezes uma falha de projeto só é descoberta muito tempo depois, por exemplo, durante os testes finais do produto. Quanto mais tempo se demora a descobrir uma falha, maior será o impacto do retrabalho no progresso do projeto, uma vez que um maior número de atividades serão afetadas.



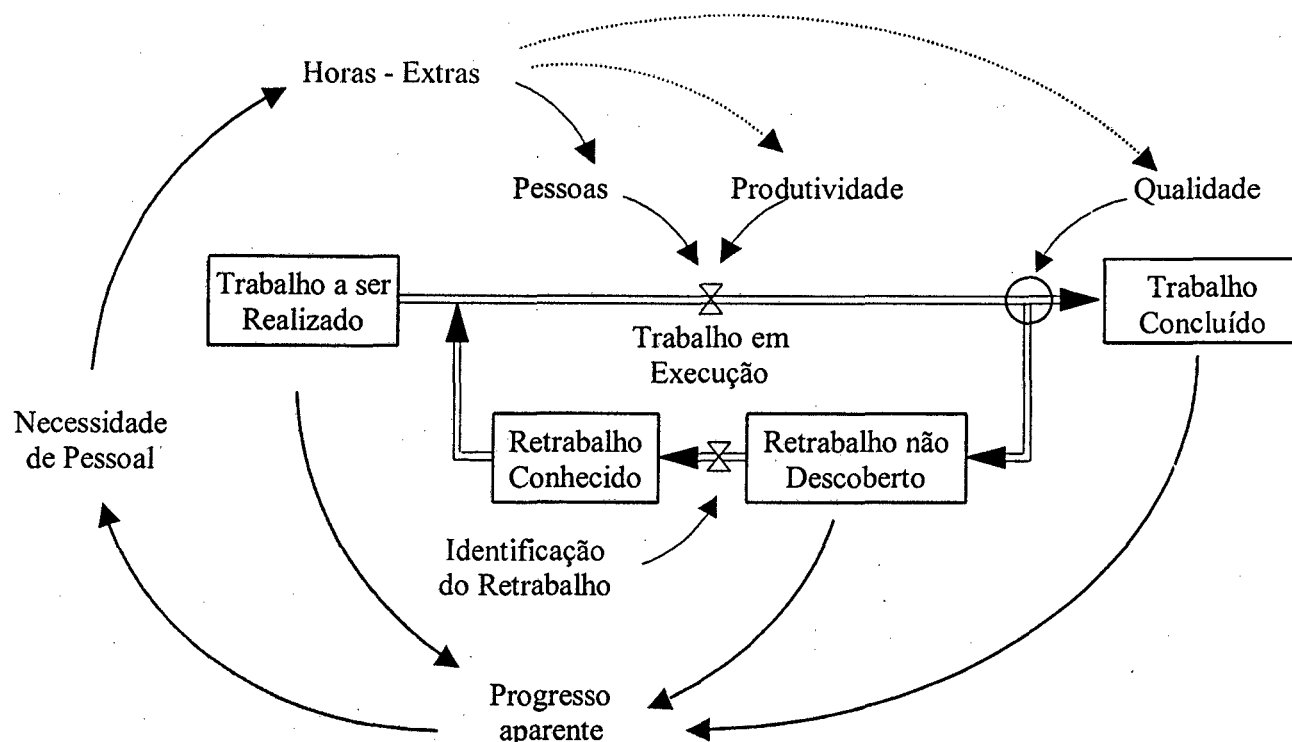
Esquema 8 - O Ciclo do Retrabalho, com Retrabalho não Identificado

Nos sistemas tradicionais, o retrabalho não descoberto é computado junto com a parcela do trabalho concluído, dando a impressão de maior avanço do progresso do projeto do que realmente ocorreu. Aparece portanto uma diferença entre o progresso percebido e o realmente atingido. Esta diferença é a responsável pela famosa síndrome dos 90%, na qual por um tempo prolongado o gerente do projeto relata a seus superiores e clientes um avanço de 90%.

Segundo Cooper, “Este último elemento do ciclo de retrabalho, o retrabalho não identificado, tem um papel fundamental na propagação de problemas durante o decorrer do projeto. Enquanto não percebidos, problemas como ‘bugs’ de *softwares*, erros de cálculo de projeto ou uma viga mal posicionada causam perda de produtividade, atrasos, e mais retrabalho nas atividades dependentes. O retrabalho não identificado é a fonte mais importante de crise nos custos e prazos de um projeto.”

Cooper<sup>xiii</sup>, em um artigo de 1994 também muito conhecido e citado, desenvolve um pouco mais seu modelo para verificar como os gerentes de projeto influenciam a performance do projeto através do ciclo de retrabalho.

O primeiro elemento que ele modela é a utilização de horas extraordinárias de trabalho em um projeto. Esta medida geralmente ocorre, quando é verificado um desvio do curso planejado para progresso dos trabalhos. Esta constatação da ocorrência de atraso inicia-se à medida que os retrabalhos, até então considerados como parte dos trabalhos já realizados, começam a ser descobertos.



Esquema 9 - Influência da utilização de horas-extras

Quando se toma a decisão de se utilizar o artifício das horas-extras, imagina-se que a situação de desvio será temporária, já que em casos mais graves opta-se pela contratação de mais mão-de-obra, como veremos adiante. No entanto, numa situação típica, os retrabalhos continuam aparecendo e o tempo gasto com eles reduz ainda mais a velocidade planejada inicialmente para o progresso do projeto.

A medida corretiva, que parecia temporária, prolonga-se por um período superior ao esperado. É neste momento que começam a aparecer os efeitos secundários, que darão origem a um círculo vicioso, como ilustrado no Esquema 9. Quando a utilização de horas extras se estende por um período prolongado, os sinais de fadiga começam a aparecer na forma de queda da produtividade e da qualidade do trabalho, que por sua vez originará mais retrabalho. Mais retrabalho implicará em mais atraso em relação ao progresso planejado e, assim, maior necessidade de jornadas de trabalho prolongadas.

O efeito da fadiga sobre a produtividade e qualidade do trabalho é aumentado à medida que as horas extras se acumulam. Cooper ilustra este efeito



através do Gráfico 1. Nele é mostrada a quantidade de horas realmente ganha para os níveis de hora extra de quatro, oito e doze horas semanais trabalhadas durante um período de dois a três meses, tanto em serviços de engenharia como nos da produção. Vemos que o progresso efetivamente alcançado é muito menor do que as horas trabalhadas, e a produtividade piora quanto maior o período de trabalho em horas extraordinárias. No caso da produção, a partir de aproximadamente dez horas a mais trabalhadas por semana, a quantidade de retrabalho gerada é tão grande que o avanço passa a ser negativo. Ou seja, a medida que foi tomada para acelerar o andamento do projeto, diminuindo o atraso, acaba tendo o efeito inverso.

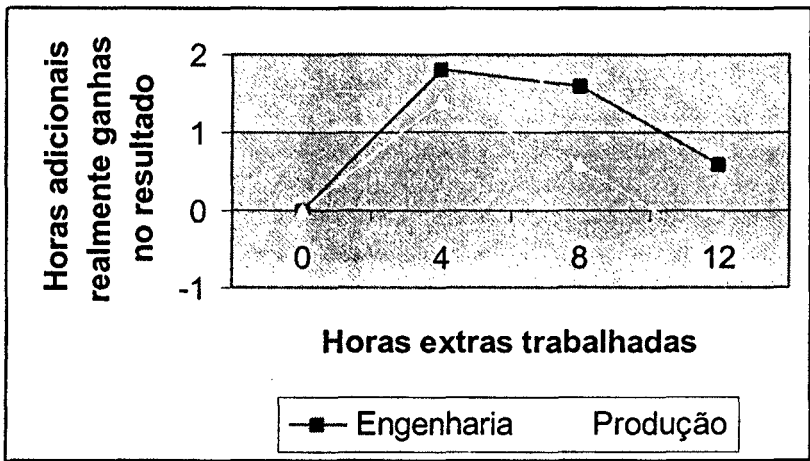


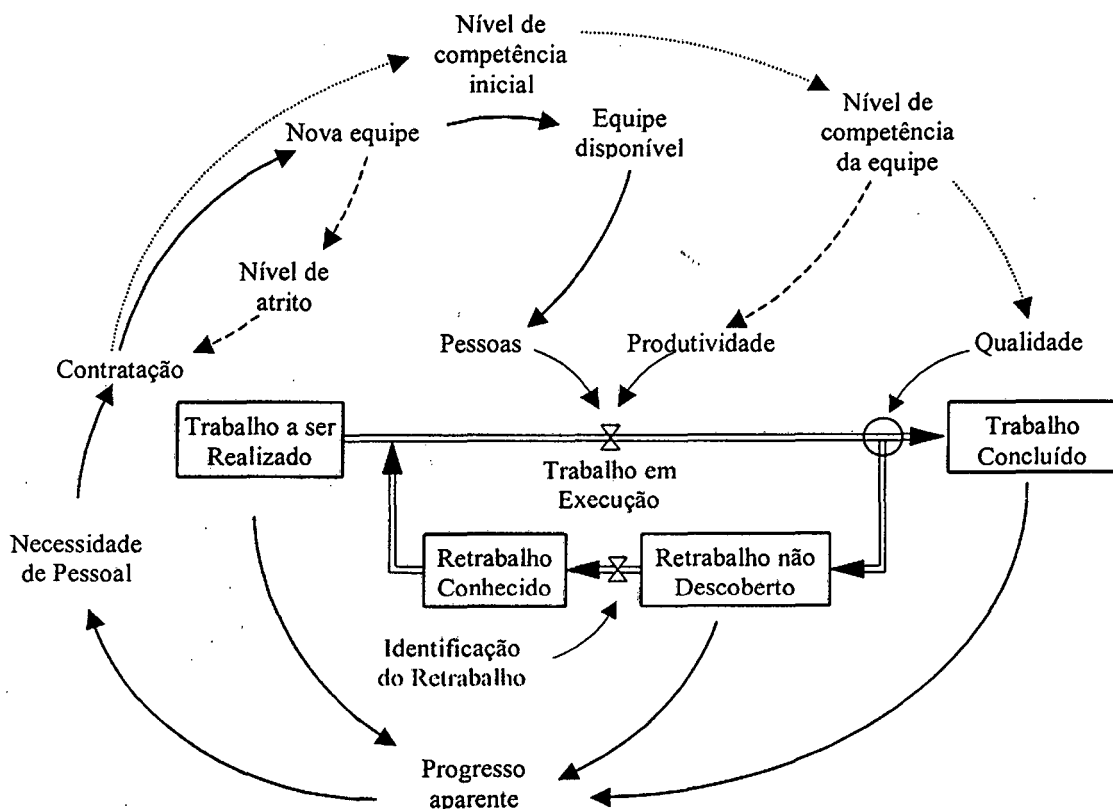
Gráfico 1 - Resultado realmente ganho com diferentes quantidades de horas extras trabalhadas

A segunda medida, muito conhecida dos gerentes de projetos, que é tomada quando o desvio do progresso planejado é considerado grande, é a contratação de mais pessoal. Para este caso, Cooper ressalta a ocorrência de outro efeito secundário, freqüentemente desprezado. Os novos funcionários necessitam de um período de adaptação e familiarização com o trabalho. Este período pode ser mais curto ou mais prolongado, dependendo das exigências da tarefa a ser realizada e da experiência e competências de cada indivíduo. No entanto, invariavelmente haverá um período de transição em que a competência média da equipe será diminuída pela chegada dos novos membros. Novamente, a produtividade e qualidade dos trabalhos serão reduzidas, aumentando os retrabalhos que não foram considerados quando dimensionou-se o novo tamanho da equipe.

Este quadro pode ser piorado se levarmos em conta que quanto mais se contrata, menor será a competência dos novos colaboradores, já que os melhores são contratados primeiro. Este é o caso de projetos muito grandes, que demandam um grande número de funcionários, ou de projetos de alta tecnologia, que requeiram pessoal altamente qualificado e escasso no mercado.

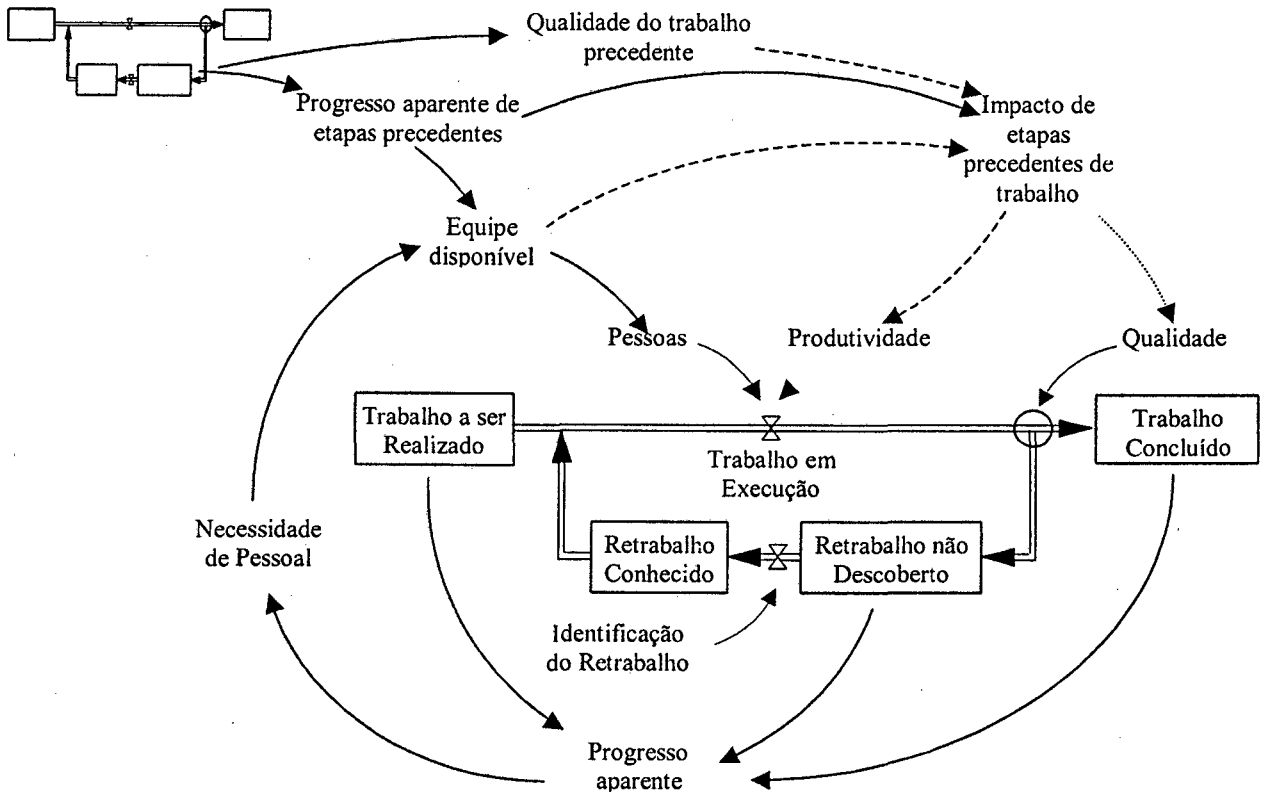
Cooper identifica ainda um outro fator relacionado às contratações, que normalmente é pouco considerado. O nível de atrito com novos funcionários é maior do que entre os mais velhos de casa. Isto se deve, por exemplo, a erros de contratação, expectativas de contratação não atingidas, menor lealdade com a empresa. O nível maior de atrito gera a necessidade de mais contratação, que contribui para aumentar o nível de atrito, num ciclo de realimentação positivo.

O Esquema 10 ilustra o ciclo vicioso da contratação de pessoal como



Esquema 10 - Influência da contratação de novos empregados

solução para o atraso do projeto.



Esquema 11 - Influência da contratação de pessoal com base em etapas precedentes de baixa qualidade

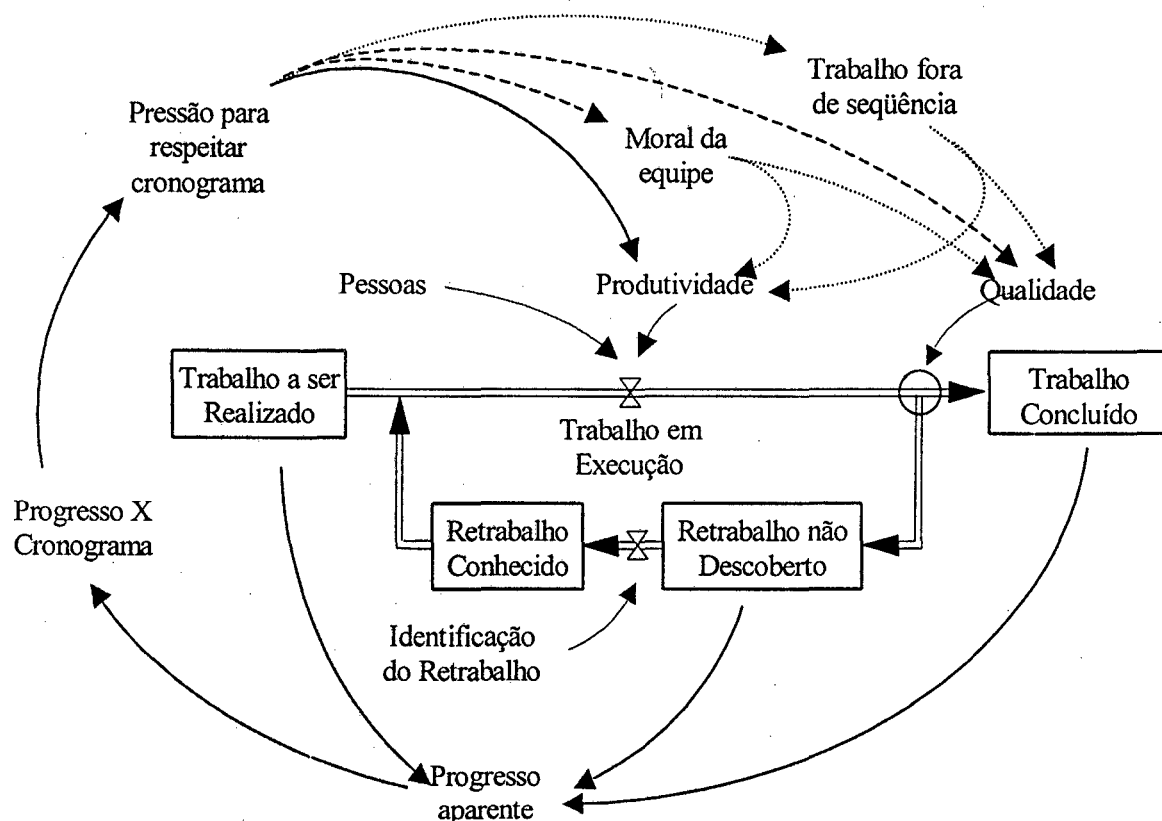
O terceiro efeito descrito por Cooper refere-se à influência do dimensionamento da contratação baseado no resultado de trabalhos anteriores de baixa qualidade (veja Esquema 11). Ao se tomar a decisão de contratar, o dimensionamento da equipe é baseado em informações sobre o trabalho concluído em estágios anteriores dos quais o atual é dependente. No entanto, não é normalmente levado em conta que dentro deste conjunto chamado “trabalho concluído” existe o subconjunto do “retrabalho não descoberto”.

Ao definir o tamanho de uma equipe de trabalho, o gerente considera a disponibilidade aparente do produto de atividades que são pré-requisito para o trabalho em questão. Porém a baixa qualidade destas atividades causará uma redução não intencional na produtividade e na qualidade do trabalho subsequente.

Assim, se a qualidade da informação não for considerada no momento em que se planeja um estágio subsequente, a descoberta de retrabalhos implicará em uma necessidade maior de força de trabalho que a inicialmente estimada.

Segundo Cooper, “as pessoas para quem os gerentes de projeto reportam, tanto dentro da organização como os clientes, são muito freqüentemente

as partes mais culpadas”. Na ânsia de se ver o progresso de um desenvolvimento importante, elas podem cometer um dos seguintes erros: ou pressionam para que haja um aumento indiscriminado da força de trabalho no intuito de atingir o progresso desejado, ou pressionam para que o dimensionamento de pessoal seja feito assumindo que estágios precedentes do trabalho tenham sido concluídos sem problemas (ver Esquema 12).



Esquema 12 - Influência da pressão para respeitar o cronograma

A pressão por tempo prolongado afeta o desempenho da equipe, na medida em que provoca impactos no moral dos indivíduos, contribuindo desta maneira para a redução da produtividade e qualidade do trabalho. Além disso, no intuito de acelerar o processo, é comum a prática de se adiantar etapas, de modo que o trabalho passa a ser executado fora de seqüência, utilizando-se de informações de estágios anteriores que ainda não estão fechadas e podem ainda ser modificadas mais adiante, gerando retrabalhos (ver sobre o círculo vicioso do paralelismo na seção 2.5).

## 2.7. A Interferência do Cliente

Projetos de Engenharia são em geral sistemas complexos devido às inúmeras interfaces existentes entre seus elementos e à interdependência entre eles que, como vimos anteriormente pode ser exacerbada quando atividades ocorrem paralelamente. Devido à sua estrutura complexa, tais sistemas são sensíveis a perturbações externas, que podem ser potencializadas pelos ciclos de realimentação internos.

Uma perturbação externa importante é aquela causada por falhas na comunicação entre o cliente e a contratada. Segundo Rodrigues e Williams<sup>xiv</sup>, há dois processos principais de comunicação nos quais uma deficiência pode afetar negativamente a performance do projeto. São eles:

- Os relatórios de progresso, que informam ao cliente o andamento do empreendimento para que este possa se assegurar que os acordos contratuais referentes aos eventos de medição estão sendo cumpridos.
- Análises de escopo do projeto, nas quais são revistas as definições e funcionalidades do sistema, para se garantir um entendimento comum de o que é o produto que está sendo desenvolvido.

Rodrigues e Williams descrevem com precisão um exemplo de falha no primeiro processo de comunicação:

“A relutância do cliente em aceitar atrasos logo no início do projeto é reforçada pela dificuldade da contratada em apresentar argumentos convincentes de que tal constatação poderia ser benéfica para o resultado final do projeto. Frente a uma atitude hostil do cliente, a contratada prefere evitar registrar os atrasos sempre que puderem ser ‘maquiados’, na esperança de que a equipe de projeto irá em breve recuperar o tempo perdido. À medida que este processo de comunicação se deteriora, a cooperação entre cliente e contratada se reduz enquanto os conflitos tornam o processo cada vez mais contraproducente.”

Sem ter a noção explicada na seção anterior de que atraso gera atraso, o gerente de projeto toma medidas, como contratar mais pessoal, liberar o trabalho em

horas-extras ou aumentar o paralelismo entre atividades. O resultado, como já vimos, poderá ser bem diferente do esperado.

Falhas no segundo processo de comunicação, referentes ao escopo do projeto, ocorrem em geral devido aos diferentes modelos mentais que orientam as avaliações e decisões do cliente e da contratada. Para o primeiro, o valor está na funcionalidade do produto. Assim, muitas vezes, devido a ambigüidades na elaboração do contrato, o cliente poderá exigir características do sistema superiores àquelas que a contratada acreditava terem sido acordadas. Além disso, em contratos longos, a manufatura do produto pode se estender por muito tempo após a conclusão do projeto da engenharia. Nesse período, novas soluções tecnológicas podem ter surgido e atraído a atenção do cliente, que solicita então uma alteração de escopo.

A preocupação da contratada é a contenção do custo do projeto para que sua margem seja garantida. Desta maneira, ela tenderá a aceitar modificações que gerem pequeno impacto no resultado do projeto. Como o cliente em geral não acompanha a evolução dos custos do empreendimento, não tem noção se a implementação de uma modificação é cara ou barata. O que importa é quão melhor ficará a capacidade operacional de seu sistema. Uma alteração aceita pela contratada incentivará o cliente a solicitar outras e ele não compreenderá quando uma modificação com um custo de implementação mais elevado, porém percebida por ele como trivial, for rejeitada pelo seu fornecedor. Esta também é uma fonte de deterioração da confiança mútua entre as partes envolvidas.

As principais formas de comportamento do cliente que podem impactar a performance do projeto são as seguintes:

- Demora no fornecimento de informações essenciais que fazem parte das premissas de projeto.
- Demora na aprovação de documentos de projeto, cujas informações servirão como dados de entrada para etapas subseqüentes.
- Introdução de modificações nas especificações do produto ou no escopo do projeto durante o seu ciclo de vida.
- Pressão para que os eventos do projeto ocorram dentro do cronograma previsto, que na maioria das vezes é baseado em prazos apertados por exigência do cliente.

- Grande nível de exigência com relação aos relatórios de progresso da obra.

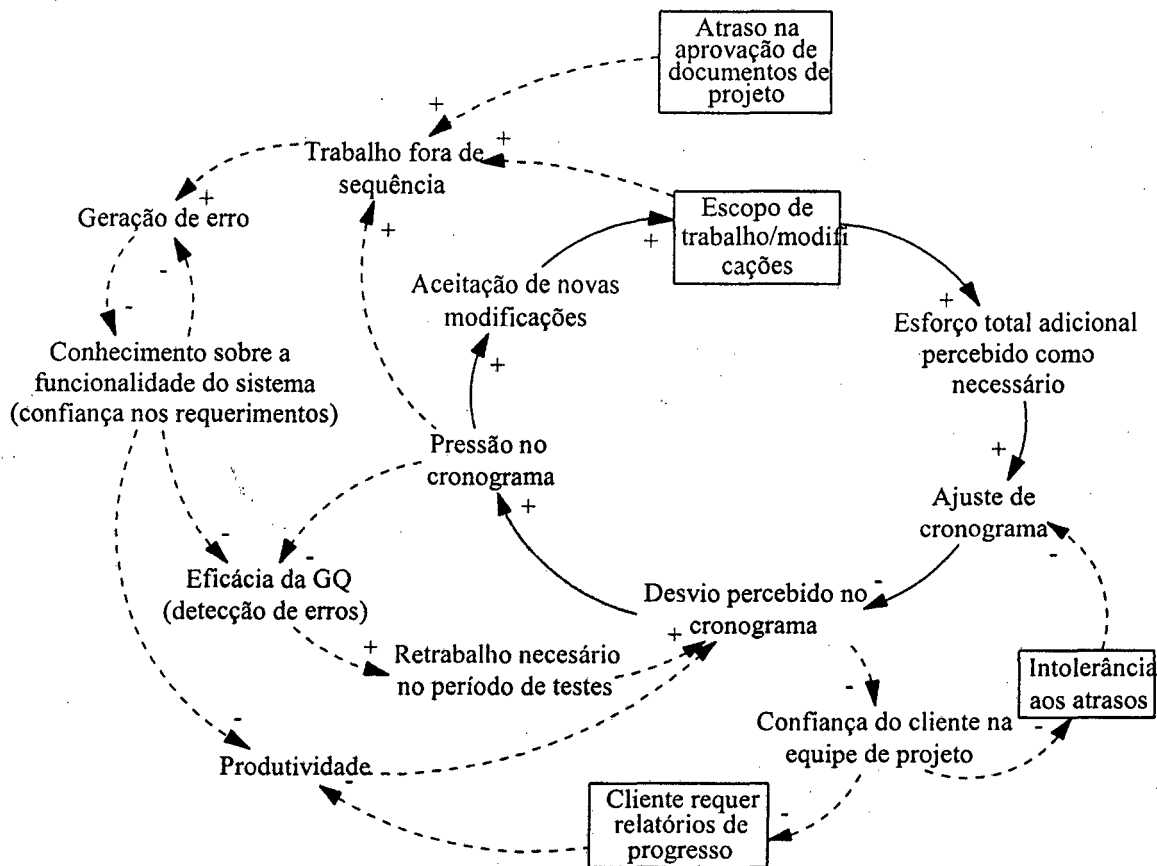
Como veremos a seguir, estes comportamentos geram efeitos secundários, muitas vezes imperceptíveis no primeiro momento, que contribuirão para um aumento não previsto do tempo requerido para a execução do projeto e, portanto, para o seu atraso.

Desvios de cronograma contribuem para o aparecimento de atritos na relação entre cliente e contratada e com eles começam a surgir os ciclos dinâmicos de realimentação. Por exemplo, grande exigência de relatórios por parte do cliente reduzirá a produtividade, causando atrasos e desconfiança do cliente em relação à contratada. Devido ao aumento da desconfiança, o cliente será mais exigente com relação aos relatórios.

Quantificar o efeito de uma única ação do cliente em um projeto simples pode ser uma tarefa fácil. Porém quando se trata de projetos complexos, compostos de uma malha interdependente de elementos, esta tarefa torna-se muito mais complicada. Além disso, uma das maiores dificuldades em avaliar os impactos do comportamento do cliente na performance de um projeto é seu caráter subjetivo.

Rodrigues e Williams apresentam um modelo que mostra como os efeitos negativos do comportamento do cliente podem introduzir problemas e exacerbar desvios no cronograma. O Esquema 13 mostra o diagrama de influência que representa esta situação, identificando os principais círculos viciosos. O ciclo de controle no centro mostra como a introdução de modificações pelo cliente é normalmente compensada por ajustes no cronograma. Tais ajustes são negociados com o cliente, tendo como base as estimativas de quanto trabalho extra deverá ser realizado.

Assim, quanto mais prazo se conseguir negociar com o cliente, menor será o desvio percebido no cronograma devido ao aumento de escopo de trabalho. A percepção de atraso influencia diretamente a pressão que o cliente exercerá para que o prazo seja mantido. Uma maneira, que a contratada encontra para aliviar esta pressão, é aceitar mais modificações solicitadas pelo cliente em troca de mais tempo para executar a obra, aumentando o escopo de trabalho e fechando este ciclo principal.



Esquema 13 - O comportamento do cliente contribuindo para o atraso do projeto.

As linhas pontilhadas identificam os efeitos secundários, normalmente complexos e subjetivos, que, no longo prazo, são a causa dos desvios do cronograma. O primeiro grande efeito causado por modificações no requerimento do sistema é o trabalho que será executado fora de sua seqüência normal (por exemplo, o projeto segue com informações de fases precedentes que ainda não foram consolidadas e, portanto, são passíveis de alterações futuras). Outra causa importante de trabalho fora de seqüência é a demora do cliente em aprovar documentação de projeto. A equipe de projeto direciona então seus esforços para as áreas do sistema em que se acredita que as informações estejam mais consolidadas.

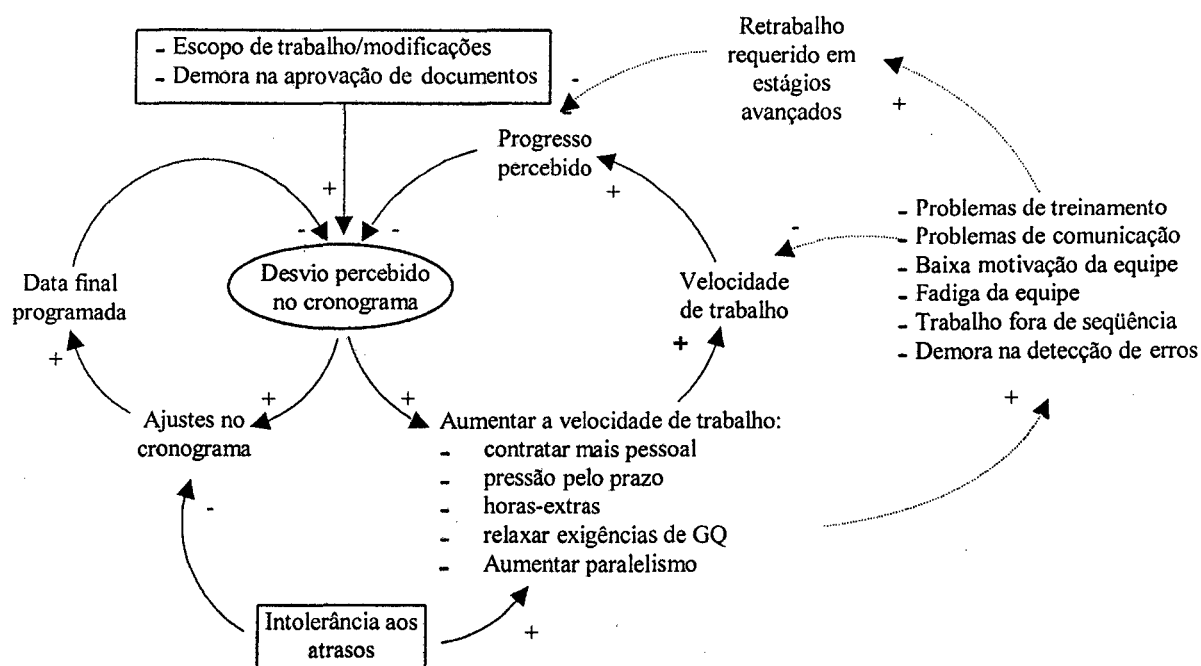
A consequência imediata da realização de trabalho fora de seqüência é o forte incremento do número de erros sendo introduzidos no sistema. Conforme novos erros começam a ser descobertos em áreas consideradas até então estáveis, a equipe de projeto vai perdendo progressivamente sua confiança nos requerimentos atuais do sistema. Esta piora no entendimento do funcionamento do



sistema retarda a produtividade do desenvolvimento e, quando associada à pressão relativa ao prazo, faz com que a eficiência das atividades ligadas à garantia da qualidade deteriore. Com a produtividade mais baixa e um número maior de defeitos escapando para serem identificados em fases posteriores de testes, o resultado inevitável é o atraso do projeto. Tais desvios de projeto tendem a causar uma deterioração na confiança do cliente em relação à equipe de projeto, fazendo com que o cliente fique mais intolerante em aceitar ajustes adicionais no cronograma. Em lugar disso, o cliente torna-se mais exigente quanto ao detalhamento dos relatórios de andamento do projeto, divergindo a atenção e o tempo da equipe do trabalho de desenvolvimento propriamente dito.

O Esquema 14 mostra como o comportamento do cliente interfere na dinâmica genérica do projeto. Ao defrontar-se com desvios de cronograma, há, grosso modo, duas linhas de ação que o gerente do projeto pode tomar. A primeira seria a de ajustar o cronograma através de negociação com o cliente. Desta maneira, a data de conclusão da obra é postergada e o desvio de cronograma deixa de ser percebido como um atraso.

A segunda alternativa é aumentar a velocidade de execução do trabalho



Esquema 14 - O comportamento do cliente pode potencializar ciclos viciosos

de maneira a recuperar o tempo perdido. Isso pode ser feito através da contratação de pessoal para aumentar a força de trabalho, pressão na equipe para que o cronograma seja cumprido, trabalho em horas-extras, diminuir a prioridade das atividades de garantia da qualidade, aumentar o paralelismo.

A intenção primária é que o aumento da velocidade de execução do trabalho gere progresso efetivo, de maneira a diminuir o desvio percebido no cronograma. No entanto, como vimos nas seções anteriores, estas medidas geram efeitos secundários indesejados, que trabalharão no sentido de aumentar o desvio percebido. Exemplo disso são os problemas de treinamento de pessoal novo que reduz a competência média da equipe, problemas de comunicação, baixa motivação e exaustão do pessoal, trabalho fora de seqüência. Todos estes fatores contribuem para a redução da produtividade e da qualidade através da geração de erros e a postergação de sua identificação. A consequência disso é o aumento da quantidade de retrabalho em estágios avançados do processo de desenvolvimento do projeto, reduzindo o progresso percebido.

O cliente contribui para o agravamento da situação na medida em que aumenta sua intolerância a atrasos. Isto faz com que menos ajustes de cronograma sejam aceitos, ao mesmo tempo em que é exercida maior pressão para que sejam tomadas ações, como as citadas acima, no intuito de reverter o quadro indesejado.

### 3. DESCRIÇÃO DO CASO

#### 3.1. Introdução

No início do ano de 1998, a Empresa “A”<sup>5</sup> ganhou em uma licitação pública o contrato para fornecimento do chamado Projeto “M”: um conjunto de equipamentos submarinos para produção de petróleo para serem instalados em um campo de produção a mil metros de profundidade. O cliente, a Empresa “B”, necessitava que a entrega ocorresse em um prazo bastante curto, já que estes itens eram apenas uma parte de um projeto maior de desenvolvimento de um campo petrolífero. A data de entrega estava atrelada, entre outras coisas, à chegada do navio plataforma ao qual os equipamentos da Empresa “A” seriam conectados.

A Empresa “A” possuía um *‘know-how’* consolidado no projeto e construção de equipamentos submarinos semelhantes aos em questão, porém havia dois desafios. O primeiro de ordem tecnológica, já que esta seria a primeira vez que equipamentos como estes seriam instalados àquela profundidade. Devido à alta pressão e à dificuldade de acesso para manutenção e reparos (mergulhadores alcançam no máximo trezentos metros de profundidade), o projeto deveria garantir uma alta confiabilidade do sistema. O segundo desafio era de ordem comercial. Este era um cliente reconhecidamente exigente e complicado, tanto devido à sua operação ser de alto risco, como devido ao fato de ser ele o comprador em um mercado monopsônico.

Para o desenvolvimento do projeto foi formado um consórcio entre três companhias de países diferentes do mesmo grupo da Empresa “A”. Cada uma delas desenvolveu uma parte do sistema que ao final foi integrado pela equipe de gerenciamento de projetos da Empresa “A”.

O resultado do projeto foi um sucesso em termos de tecnologia. À época de sua instalação, os equipamentos eram os que operavam à maior profundidade no mundo. Sua operação é segura e confiável e hoje bate recordes de produção na Empresa “B”.

---

<sup>5</sup> Por questões éticas, o nome das Empresas envolvidas será resguardado.

Por outro lado, em termos comerciais, o projeto apresentou um resultado bastante diferente do esperado. A obra foi entregue com mais de dois anos e meio de atraso e acumulou um prejuízo fabuloso da ordem de milhões de dólares.

Parte deste resultado pode ser atribuído ao comportamento do cliente como descrito na seção 2.7. Nas seções seguintes o caso será detalhado de maneira a permitir a sua modelagem através de uma ferramenta baseada em Dinâmica dos Sistemas.

### 3.2. O Cliente

A Empresa "B" está entre as maiores companhias de produção, processamento e distribuição de petróleo do mundo. Criada em 1953 pelo governo brasileiro como um monopólio estatal, teve desde o início a missão estratégica de reduzir a dependência do país em relação ao petróleo estrangeiro.

A empresa desenvolveu sua própria tecnologia e depois de cinquenta anos de sua fundação possui um patrimônio de R\$ 250 bilhões, produzindo em média 1,6 milhão de barris de petróleo por dia em território nacional e outros 250 mil em campos no exterior. Em especial, o domínio da tecnologia de exploração e de produção em águas profundas é a fonte principal do atual vigor das atividades brasileiras no setor de petróleo.

Seus investimentos anuais são da ordem de R\$ 20 bilhões e apesar de há alguns anos o mercado ter sido aberto a empresas estrangeiras de exploração de óleo, a atuação delas ainda é incipiente. Portanto, na prática, os fornecedores da Empresa "B" ainda operam em um monopsônio.

Devido à natureza de alto risco de sua operação, a Empresa "B" sempre teve grande preocupação com a qualidade e confiabilidade de seus sistemas de produção, processamento e distribuição de óleo e seus derivados. Cada fornecedor passa por um processo minucioso de avaliação para que seja qualificado como tal e cada fornecimento é acompanhado de perto pelos engenheiros e inspetores da Empresa "B", para que os índices de qualidade sejam medidos e avaliados a todo momento. Os profissionais que acompanham uma obra têm o poder de desqualificar

um fornecedor caso sua performance esteja aquém dos níveis estabelecidos pela Empresa "B".

Na área de produção submarina, a base produtiva da Empresa "B" é composta por mais de 500 poços produtores articulados em 40 sistemas entre plataformas fixas e móveis, navios transformados em unidades produtoras, instalações separadoras de água e óleo e compartimentos de estocagem. Este complexo é responsável por aproximadamente 80% da produção nacional de óleo e gás.

Em 1997 a Empresa "B" abriu a licitação pública para a compra de sistemas submarinos para a segunda fase de desenvolvimento do Campo "M". Conforme estrutura da Empresa "B", o Ativo "M" é o órgão interno responsável pela operação daquele campo. Será ele que pagará por estes novos equipamentos, porém a especificação técnica e o acompanhamento da obra serão feitos por um grupo de apoio da própria Empresa "B" especializado em sistemas submarinos. Assuntos comerciais serão tratados por um terceiro grupo responsável pela aquisição de materiais.

Esta estrutura, composta de um lado por três interlocutores do cliente, cada um com sua agenda específica e do outro por um representante da contratada, dificultará a comunicação entre as partes, principalmente durante as negociações de alteração de escopo e extensão de prazo.

### **3.3. A Contratada**

A Empresa "A", contratada para a execução do projeto, faz parte de um grupo multinacional de origem européia, que atua no setor energético. À época da adjudicação do contrato, ela faturava em torno de US\$ 30 bilhões e estava presente em mais de 100 países.

A Divisão de Óleo, Gás e Petroquímica era responsável por aproximadamente 10% do faturamento global do grupo e possuía operações na Noruega, Reino Unido, Estados Unidos, Singapura e Brasil.

Para este contrato foi constituído um consórcio formado por três empresas do grupo: a "A-OT" da Noruega, a "A-ST" do Reino Unido e a "A-BR" do

Brasil. Dentro da “A-BR”, havia dois departamentos envolvidos neste projeto: o Departamento de Sistemas Submarinos (SS) e o Departamento de Produtos e Equipamentos (DPE). O escopo de fornecimento de cada um deles será tratado na próxima seção. O primeiro departamento fora criado exclusivamente para este projeto, com o intuito de no futuro continuar fornecendo ao mercado sistemas semelhantes ao deste contrato. A sua proposta era a de atuar como um grupo de gerenciamento de projetos de grande porte no mercado nacional na área de produção submarina de petróleo e gás, como faz a sua matriz tecnológica a Empresa “A-OT” na Noruega. Foi criado assim um grupo de EPC (*Engineering, Procurement and Construction*<sup>6</sup>), que teria a função de coordenar os trabalhos dos diversos participantes, garantir a compatibilidade entre as interfaces e finalmente integrar todos os sub-sistemas e testá-los no contexto de um único sistema.

Por outro lado, o Departamento de Produtos já era atuante no mercado nacional de óleo e gás de longa data. Seus produtos eram conhecidos e apreciados pelo cliente, que inclusive o havia premiado no ano anterior como seu melhor fornecedor. Gozava, portanto, de um ótimo relacionamento com o cliente, porém este era representado por um grupo de profissionais completamente diferente daquele com os quais o grupo de EPC trataria durante o projeto “M”.

### **3.4. O Projeto**

#### **3.4.1. Extração de Petróleo**

Para se entender o escopo do projeto, vale fazer aqui uma rápida explanação de como funciona a produção de petróleo em um campo submarino de águas profundas.

Para a produção submarina de petróleo, é necessária a utilização de equipamentos de alta tecnologia que aumentam de complexidade quanto maior for a lâmina d'água do local de produção.

De um modo geral, os equipamentos utilizados para a produção em águas profundas são os seguintes:

---

<sup>6</sup> Engenharia, Aquisição e Construção.

- Cabeça de poço: é a extremidade do poço de petróleo (sistema subterrâneo de tubos por onde o óleo e o gás são extraídos) que faz a interface com a árvore-de-natal e, conseqüentemente, com o restante do sistema submarino.
- Árvore-de-natal molhada: equipamento submarino composto por um conjunto de válvulas que é instalado na cabeça do poço para controlar o fluxo de produção.
- *Manifold*: sistema coletor, controlado remotamente da plataforma, que reúne a produção de alguns poços (de quatro a oito) para enviá-la à plataforma de produção através de uma única tubulação.
- Plataforma: sistema flutuante dotado de planta para a separação da água, óleo e gás extraídos dos poços.

O produto extraído do poço de petróleo é uma mistura de água, óleo e gás. Após a separação na plataforma, o óleo e o gás são transferidos para um navio petroleiro que os transportará para um terminal marítimo e a água, depois de tratada, é descartada para o oceano.

Dentro do reservatório no subsolo, o petróleo deve fluir através da estrutura porosa da rocha para alcançar o poço de produção. Dependendo das características do fluido, como densidade e viscosidade, e das características do reservatório, como suas dimensões e pressão, é possível se retirar mais ou menos óleo de um determinado campo. No entanto, a tecnologia conhecida e dominada hoje só permite a extração de uma parcela relativamente pequena de petróleo. Para melhorar a produção de um campo, em determinados casos são perfurados alguns poços por onde se injeta água tratada com o intuito de aumentar a pressão do reservatório e “empurrar” o petróleo para os poços de produção. Desta maneira consegue-se uma maior recuperação dos poços daquele campo.

### 3.4.2. Escopo do Projeto “M”

O contrato de fornecimento do Projeto “M” compreendia a engenharia, aquisição de materiais e equipamentos, fabricação, testes e entrega de três sistemas *manifolds* submarinos com tecnologia altamente complexa para serem instalados na

fase II de desenvolvimento do campo “M” de produção de petróleo do cliente. Grosso modo, os *manifolds* podem ser descritos como se segue:

- M1: *manifold* de injeção de água, a ser conectado a seis poços;
- M2: *manifold* de produção, a ser conectado a oito poços;
- M3: *manifold* híbrido a ser conectado a três poços de produção e cinco de injeção de água.

Os prazos requeridos de entrega eram de 420, 450 e 660 dias, respectivamente e o valor do contrato da ordem de US\$ 60 milhões.

Um *manifold* é basicamente um sistema coletor composto por tubos e válvulas, que reúne o fluxo de diversas fontes diferentes ligadas a ele (poços de petróleo) e o transfere por meio de um único tubo a um ponto determinado, no nosso caso à plataforma de produção. O *manifold* também pode operar no sentido inverso, como um sistema distribuidor, como é o caso do *manifold* de injeção de água. Ele recebe a água da plataforma e a distribui para os diversos poços de injeção. O sistema de tubos e válvulas é sustentado por uma estrutura metálica, que dará suporte também a todos os módulos recuperáveis do *manifold*.

Um sistema *manifold* é projetado para uma vida útil de vinte anos. A estrutura metálica, os tubos e as válvulas devem ser dimensionados de tal maneira a permitir uma operação ininterrupta e sem manutenção durante o período de sua vida útil. Estes são, portanto, componentes da parte fixa do sistema. Entretanto, neste período outros componentes necessitarão em algum momento de manutenção e reparos e para tanto terão que ser recuperados para a superfície. Assim, o *manifold* é dotado também de alguns módulos recuperáveis, por exemplo, os módulos de *choke*<sup>7</sup>.

Ao instalar-se o *manifold*, não é praticável descer o equipamento completo, com todas as linhas que o conectam aos poços e à plataforma. Portanto, todas as conexões de linhas são feitas depois de o *manifold* ter sido assentado no fundo do mar. O sistema de conexão das linhas é um dos pontos mais críticos do equipamento submarino, pois o seu projeto deve garantir que o acoplamento seja

---

<sup>7</sup> *Chokes* são válvulas de controle de vazão. Diferem das válvulas da parte fixa, mencionadas anteriormente, que são válvulas de bloqueio.



feito remotamente a partir de uma plataforma e também garantir a vedação perfeita, já que nenhum vazamento é permitido.

Finalmente, além da parte fixa, dos módulos recuperáveis e do sistema de conexão, o *manifold* é composto também de um sistema de controle que permitirá a sua operação a partir da plataforma (abertura e fechamento de válvulas, controle de vazão e leitura dos sensores de temperatura e pressão).

Cada empresa participante do consórcio ficou responsável pela engenharia e construção de uma destas partes dos três *manifolds*, como se segue:

- “A-OT”: estrutura e tubulação;
- “A-ST”: sistema de controle;
- “A-BR” DPE: fornecimento de parte das válvulas, módulos recuperáveis e sistema de conexão;
- “A-BR” SS: fornecimento de parte das válvulas e gerenciamento do projeto.

#### 3.4.3. Encaminhamento do Projeto “M”

Num projeto como este, que envolve engenharia e construção de um sistema complexo de alta tecnologia em um prazo bastante reduzido, ocorrerá inevitavelmente algum nível de paralelismo entre as atividades interdependentes. O projeto estrutural dependerá de informações do projeto de tubulações, que necessita de dados proveniente do projeto dos módulos recuperáveis, etc. O desenvolvimento destas disciplinas deve ocorrer simultaneamente, para que seja possível alimentar cada uma delas no momento correto com informações pertinentes proveniente das demais.

Para que um projeto “*fast track*”, como é chamado este tipo de empreendimento, seja possível, os seguintes requisitos devem ser observados:

- Interfaces externas claras e disponíveis em tempo hábil;
- Aprovação rápida de documentação técnica;
- Poucas modificações em relação ao escopo inicial;
- Autonomia da equipe de gestão do projeto;

- Um canal único de comunicação com o cliente;

Todas as informações sobre as interfaces externas devem estar disponíveis e consolidadas no início do projeto. Caso este requisito não seja observado, a Engenharia corre o risco de desenvolver o projeto baseando-se em premissas que posteriormente serão alteradas, causando retrabalhos e consumindo recursos não previstos inicialmente.

O prazo de aprovação de documentação técnica e de resposta a questionamentos de engenharia pelo cliente deve ser curto e sempre respeitado. De maneira semelhante ao item anterior, na falta de uma informação, a Engenharia ou interrompe suas atividades e espera a chegada do dado necessário ou continua seu trabalho tomando por base suas estimativas e considerações. Quanto mais tarde chegar uma observação ou comentário do cliente, que implique em uma alteração no projeto, maior será o impacto em termos de retrabalho nas outras áreas dependentes.

Deverá haver o mínimo de modificações nos requerimentos técnicos. Devido aos ciclos de retrabalho e aos efeitos secundários de interferências externas, vistos nas seções 2.6 e 2.7, o total de horas de trabalho necessário para implementar uma modificação inserida em um sistema será muito maior do que se ela fosse considerada isoladamente. Além de outras áreas poderem ser afetadas, a modificação gerará retrabalhos que poderão só ser identificados em fases adiantadas do empreendimento, como nos testes finais.

A comunicação entre as diversas equipes de projeto deve ser clara e eficiente, bem como entre elas e o cliente. As diversas frentes de projeto devem correr paralelamente e a velocidades semelhantes, para que não haja discrepâncias entre as informações geradas entre elas. A coordenação do projeto deverá trabalhar de tal maneira a permitir a troca de informações de maneira rápida e sem ruídos. Além disso, no decorrer do projeto aparecerão dúvidas e questionamentos que deverão ser respondidos pelo cliente no menor prazo possível, para que o processo não pare ou siga utilizando-se de informação de baixa qualidade.

A contratada deverá ter autonomia para decidir sobre questões de projeto, desde que estas respeitem os requerimentos contratuais. Quando mais de um ator participar do processo de tomada de decisão, será necessário que haja negociação em todos os pontos de divergência, o que consome um tempo precioso em se

tratando de um projeto com prazo exíguo. Entretanto, dificilmente se consegue evitar por completo tais negociações, já que é uma tarefa difícil alinhar as visões de cliente e contratada sobre quais decisões respeitam ou não os requerimentos contratuais.

A comunicação entre cliente e contratada deve ocorrer através de um único canal para diminuir ao máximo as perdas devido à falta de informação no tempo correto ou devido a informações conflitantes. O ideal seria haver um ponto único de contato no cliente e outro na contratada e cada um deles seria responsável por reunir a informação requerida e enviá-la a seu par na outra empresa, bem como distribuir internamente os dados recebidos.

A interferência do cliente sob a forma de *hold points*<sup>8</sup> nas fases de fabricação e teste deve ocorrer numa quantidade considerada normal pela prática da indústria. Ao final da fase de engenharia, quando todas as etapas de fabricação e testes já foram definidas, cliente e contratada acordam sobre as atividades críticas que deverão ser acompanhadas pela inspeção do cliente ou seu representante. Normalmente, estes acompanhamentos ocorrem na fase final de testes e a liberação do equipamento é condicionada à aprovação do *Data-Book*<sup>9</sup> pela inspeção do cliente.

A execução do projeto foi planejada com bases nestes requisitos que visam garantir um fluxo contínuo de informações e diminuir ao máximo as interferências externas. Assim, foi criado o grupo de EPC no departamento de sistemas da "A-BR" para o gerenciamento do projeto, que tinha por objetivo principal garantir a integração de todas as informações provenientes das diversas interfaces e estabelecer o canal único de comunicação com o cliente.

O projeto de engenharia e a fabricação dos *manifolds* seguiram quatro fluxos principais de trabalho: o estrutural, o de tubulação, o dos módulos e o do sistema de controle. O desenvolvimento deles ocorre paralelamente, sempre havendo troca de informações entre cada um. Os dois primeiros encontram-se quando a fabricação da estrutura principal e a pré-fabricação das tubulações estão concluídas.

A fase seguinte é a de montagem da tubulação, das válvulas fixas e das bases dos módulos na estrutura principal. Ao final desta fase, os módulos

---

<sup>8</sup> *Hold point* designa o tipo de inspeção realizada pelo cliente em que a atividade em questão não poderá prosseguir sem a presença do inspetor do cliente ou seu representante.

recuperáveis e os de conexão devem estar prontos e devem ter sido aprovados em seus testes individuais de aceitação de fábrica para que os testes de aceitação do conjunto completo possam ser iniciados. Concluídos tais testes, é o momento da instalação dos módulos de controle, cabos e sensores para que os testes finais de integração do sistema sejam realizados. Após a sua conclusão, o *manifold* está pronto para ser entregue.

Devido à interdependência das fases do desenvolvimento, qualquer atraso que ocorra em uma delas isoladamente provocará efeitos secundários nas demais devido aos ciclos internos de retrabalho, como vistos na seção 2.6 e os efeitos menos tangíveis, como a diminuição da confiança do cliente na equipe de projeto, descritos na seção 2.7.

Como o projeto e fabricação do sistema de controle e dos módulos também ocorrem paralelamente ao da estrutura e tubulação, todas as interfaces, tanto com relação a parâmetros externos, por exemplo as condições do solo submarino, como as interfaces internas entre os vários componentes do sistema, devem estar fechadas no momento adequado para permitir a conclusão do projeto no tempo planejado. Para tanto, a equipe de gerência de projeto tem o papel fundamental de coordenar o fluxo e a qualidade da informação.

#### 3.4.4. *As Interferências Externas*

Talvez um dos maiores vilões responsável pelo malogro de projetos e pela deterioração do relacionamento entre clientes e fornecedores sejam as falhas de comunicação devido aos modelos mentais diferentes de cada uma das partes.

Por um lado a contratada entende que o contrato, que é do tipo "chave-na-mão"<sup>10</sup>, deva ser tratado, grosso modo, de maneira semelhante à compra de um automóvel em que o cliente especifica o modelo, cor e acessórios desejados e recebe o produto pronto, sem participar em nenhum momento de sua produção. No

---

<sup>9</sup> *Data-Book* é o livro contendo toda a documentação do equipamento, como certificados de matéria-prima, de ensaios não destrutivos, de testes de aceitação de fábrica, etc.

<sup>10</sup> Contrato "chave-na-mão" ou "*turn-key*", quando a contratada assume toda a responsabilidade pelo desenvolvimento do projeto desde o desenho, compra de materiais, fabricação e testes. O cliente participa apenas no fornecimento dos dados de entrada (especificações) e posteriormente no recebimento do sistema completo e pronto para operação.

entanto, a percepção do cliente é outra. O sistema que está sendo adquirido é muito mais complexo que um automóvel e, em caso de falha, as consequências de um acidente são gravíssimas, com possibilidades de danos materiais, humanos e ambientais, além do prejuízo ocasionado pela interrupção da produção de gás e petróleo.

Isto explica a preocupação constante do cliente em participar da fase de projeto aprovando documentação técnica e solicitando modificações; da fase de aquisição de matéria-prima e componentes, aprovando especificações e qualificando fornecedores; da fase de fabricação e montagem inspecionando na fábrica grande parte das atividades; e intensivamente na fase final aprovando procedimentos para certificar-se de que suas especificações foram atendidas e acompanhando os testes.

Esta característica do cliente tornou-se ainda mais evidente após a ocorrência de uma série de acidentes com repercussão mundial, envolvendo tanto plantas de processamento em terra, como plataformas de produção em alto mar, resultando em enormes prejuízos. A preocupação com segurança e confiabilidade de equipamentos, que já era bastante forte, aumentou ainda mais, passando a ser prioridade número um, inclusive em detrimento ao prazo.

A seguir serão descritos os comportamentos do cliente identificados pela contratada, que causaram direta ou indiretamente parte do atraso do empreendimento.

- *Documentação:*

Logo no início do projeto, um dos primeiros marcos de avanço é o estabelecimento em comum acordo com o cliente de uma lista mestra de documentos. Esta lista incluirá todos os documentos técnicos que deverão ser apresentados para a aprovação do cliente. Em geral, os documentos que fazem parte desta lista são os documentos que de alguma forma estão ligados com as especificações do cliente, com as interfaces externas ou com a operação do equipamento, como por exemplo, os desenhos de arranjo geral, os procedimentos de teste e os manuais de operação e manutenção.

Desenhos de detalhamento de fabricação, estudos de engenharia ou outros documentos além dos especificados no contrato não seriam submetidos à aprovação do cliente. O pressuposto é que o cliente tenha confiança suficiente na capacidade técnica da empresa que contratou e que o trabalho seja desenvolvido

em conformidade com as normas vigentes. Assim, o cliente poderá deixar a contratada trabalhar livremente e verificar, quando o projeto for concluído, que o produto final atende às suas expectativas.

Entretanto, à medida que a confiança do cliente vai se deteriorando, esta lista de documentos cresce substancialmente. No Projeto "M", a versão original continha um total de 257 documentos. No final do empreendimento, haviam sido emitidos e enviados para aprovação 1508 documentos técnicos.

Na seção 2.7, vimos que o modelo apresentado por Rodrigues e Williams (ver Esquema 13) identifica dois ciclos de realimentação positivos envolvendo a confiança do cliente na equipe de projeto. Quando esta diminui, aumenta a intolerância a atrasos, reduzindo os ajustes ao cronograma e aumentando o desvio nele percebido. O ciclo se fecha com o conseqüente crescimento da desconfiança do cliente na equipe de projeto. Conforme o segundo ciclo, quando isso ocorre, o cliente requer mais relatórios de progresso, afetando negativamente a produtividade e aumentando o desvio percebido no cronograma. O que nos traz de volta à deterioração da confiança do cliente na equipe de projeto.

De maneira semelhante, a confiança do cliente também influenciará no número de documentos requeridos para aprovação, impactando também na produtividade.

Paradoxalmente, um grande número de documentos não foi respondido pelo cliente na forma de aprovação, comentários ou reprovação. Outra parte significativa da documentação foi comentada num prazo superior ao contratual, que era de trinta dias.

O prazo que o cliente se reservou para emitir sua opinião a respeito da documentação já é em si uma fonte de atraso. A proposta enviada pela contratada considerava que todas as informações solicitadas ao cliente fossem fornecidas no período máximo de dez dias, que é a prática usual neste tipo de contrato nesta indústria. Porém, de acordo com as condições de fornecimento de materiais estipuladas pelo cliente, este prazo deveria ser de trinta dias, sem nenhuma especificação sobre o que ocorreria em caso de não cumprimento desta cláusula. Em outras palavras, isto dava o direito ao cliente de fazer comentários a qualquer momento e até mesmo sobre documentos anteriormente aprovados.

Ao final do projeto, perto de um terço dos documentos simplesmente não foram comentados e apenas em aproximadamente 40% deles o prazo contratual de trinta dias foi observado.

Infelizmente, a equipe do cliente destacada para acompanhamento deste contrato era reduzida, além do que, no início tinha que dividir seus esforços entre o Projeto “M” e um outro semelhante, que estava sendo finalizado em um outro fornecedor. No momento em que a equipe do cliente é liberada para concentrar-se apenas nos trabalhos da Empresa “A”, inicia-se um trabalho frenético de comentário de documentos técnicos. Desejava-se que todas as lições aprendidas no contrato anterior do outro fornecedor fossem implementadas neste, mesmo que nem sempre fossem aplicáveis ou previstas no contrato. Muitos comentários eram apenas “cosméticos” ou representavam soluções técnicas preferidas pelo cliente, mas que não faziam parte das especificações originais.

Devido ao atraso causado pela demora no recebimento da informação, aA contratada precisou em diversas situações seguir com a engenharia de detalhamento sem a aprovação prévia do cliente de desenhos de concepção. Mais tarde, houve a necessidade de se revisar desenhos já liberados pela engenharia para construção, devido a um comentário atrasado do cliente. Atrasos deste tipo junto com seus efeitos secundários devido ao ciclo de retrabalho e aos fatores mais subjetivos, como o moral da equipe de projeto, provocaram efeitos significativos na produtividade e, por consequência, no andamento do projeto.

- *Escopo e Encaminhamento do Projeto*

Em diversos momentos o cliente solicitou modificações no escopo do projeto. Em parte delas, foram acordadas alterações contratuais, que concediam um acréscimo no preço e no prazo final do projeto. Entretanto, ao se estimar o efeito de uma determinada modificação, a contratada em nenhum momento considerou os efeitos secundários causados pelo “retrabalho não descoberto” que só iria ser identificado mais adiante.

Entre diversos exemplos disto, talvez o mais ilustrativo, tenha sido o do Estudo de Folgas e Tolerâncias.

Um dos requerimentos iniciais do projeto era que sempre que houvesse dois ou mais módulos com a mesma função eles deveriam ser intercambiáveis. Ou seja, um determinado módulo deveria poder ser instalado na base de qualquer outro

de mesma função. Além disso, a principal preocupação no projeto de sistemas de tubulação é garantir a vedação das interfaces.

Como dito anteriormente, a ligação entre, por exemplo, a tubulação vinda do poço e o *manifold* é feita através de um módulo de conexão vertical. Este módulo tem acoplado em uma extremidade o tubo flexível que vai até o poço e na outra o conector que o travará à base no *manifold* e garantirá a vedação. Qualquer desalinhamento entre o furo do conector e o da base será suficiente para provocar um vazamento. Assim, as tolerâncias geométricas envolvidas são bastante apertadas, sendo da ordem dos centésimos de milímetro em um equipamento de mais de quatro metros de altura por sete de comprimento.

O estudo de folgas e tolerância é uma exigência natural em todo o projeto mecânico que envolva encaixe e fora desenvolvido como a contratada costumava fazer em todos seus outros projetos submarinos. Porém, para o cliente, aquilo não era suficiente. Seria necessário um nível de detalhamento muito maior.

Este fato ocorreu no momento em que a equipe do cliente que acompanhava a obra semelhante no outro fornecedor foi liberada e então alocada exclusivamente para o Projeto "M". O gerente do projeto por parte do cliente foi substituído, assim como parte de sua equipe. Toda a documentação comentada e aprovada pelo gerente de projeto anterior foi revista.

A esta altura, a estrutura e a tubulação do primeiro *manifold* já estavam 85% concluídas, assim como os módulos recuperáveis. Todos os módulos de conexão estavam prontos e testados, apenas aguardando a liberação da inspeção do cliente.

Entretanto a esta altura, já havia sido identificado um atraso de pelo menos três meses no prazo final. O relacionamento entre a contratada e a nova equipe do cliente começa a deteriorar-se, à medida que o cliente começa a solicitar modificações desnecessárias na opinião da contratada, questionar a qualificação de equipamentos já testados e aprovados, e ingerir no andamento do projeto. A visão do cliente era a de que aquele deveria ser um contrato de desenvolvimento, em que são executados exaustivos testes e estudos, alterando o desenho de um componente sempre que se encontrasse uma maneira de melhorá-lo. Por outro lado, a visão da contratada era a contratual: deveria ser feito o que havia sido estabelecido no contrato do tipo "chave-na-mão".



O cliente cria então um impasse. Nenhum módulo será liberado antes de seu protótipo ser aprovado em novos testes de qualificação. Nenhum teste de qualificação será aceito antes da aprovação de seu procedimento. Nenhum procedimento será aprovado antes da execução do estudo de folgas e tolerâncias no projeto de cada equipamento.

Em outras palavras, os módulos que estavam prontos esperando liberação teriam que voltar para a prancheta. O cliente estava correto na medida em que o estágio de engenharia não deveria ser considerado concluído sem a sua aprovação aos documentos cuja lista havia sido acordada no início do projeto. Porém a contratada se viu no dilema de esperar todos os comentários e aprovações e comprometer o prazo ou continuar o processo e arriscar uma interferência mais adiante.

É claro que a contratada desconhecia o conceito do ciclo de retrabalho apresentado na seção 2.6. A partir do momento em que se decidiu empreender o estudo de folgas e tolerâncias da maneira como o cliente requeria, uma série de “imprevistos” passou a ocorrer, todos eles gerados por retrabalhos que só foram descobertos muito tempo mais tarde.

Esta interferência do cliente tem seu foco nos trabalhos do Departamento de Produtos da A-BR. A engenharia pára então todos os seus trabalhos e, com o reforço de membros da engenharia de outras divisões, se dedica por quase quatro meses exclusivamente ao estudo de folgas e tolerâncias de todos equipamentos sob sua responsabilidade. É gerada uma infinidade de documentos que, agora sim, vão sendo aprovados pelo cliente à medida que vão sendo concluídos.

Entretanto, durante este período, a parte fixa do primeiro *manifold*, estrutura e tubulação, teve a sua construção concluída no canteiro de obras. A equipe do canteiro passa a concentrar-se na execução do segundo *manifold*, enquanto o primeiro aguarda a liberação dos módulos para iniciar os teste de aceitação do conjunto completo.

Mas a empreitada com os módulos dura mais do que se imaginava inicialmente. O contato próximo do cliente com o projeto resulta em mais modificações solicitadas e muita discussão sobre a necessidade delas. A contratada afirma que o trabalho adicional deveria ser tratado como alteração contratual. O cliente sustenta que a boa técnica exige que as modificações sejam implementadas sob pena de comprometer a confiabilidade do sistema. E o tempo passa.

Quando finalmente todas as solicitações de alteração foram discutidas, quase todas implementadas e os testes de qualificação concluídos (não sem contratempos), os módulos são liberados e enviados ao canteiro para dar início aos testes de aceitação do *manifold*.

Neste momento, um grave retrabalho não descoberto anteriormente é identificado. As válvulas fixas do *manifold*, que não haviam sido concebidas para ficar tanto tempo em uma situação de espera<sup>11</sup>, apresentam sinais sérios de corrosão em áreas de vedação. Novas discussões, nova solução drástica: todas as válvulas num total de setenta e duas teriam que ser cortadas de suas respectivas tubulações, enviadas à fábrica da "A-BR", desmontadas, reparadas, remontadas, testadas e devolvidas ao canteiro de obras para serem soldadas de volta a suas respectivas posições. Este evento provocou um claro efeito negativo sobre o moral de todas as equipes envolvidas no projeto.

A confiança do cliente na equipe de projeto foi duramente atingida e todo o processo de recuperação da válvula foi acompanhado de perto por inspetores do cliente. Os critérios de aceitação de testes, estabelecidos pelo cliente, ficaram mais rigorosos e novos testes foram requeridos. Com isso, a produtividade do empreendimento foi irreversivelmente prejudicada. O resultado foi que haviam sido previstos quatro meses para o reparo das setenta e duas válvulas, no entanto, a última foi devolvida ao canteiro um ano após ter sido cortada do *manifold*.

#### 3.4.5. O Resultado

Como mencionado anteriormente, em termos técnicos o resultado do Projeto "M" foi um sucesso. Estes foram os primeiros *manifolds* a serem instalados à profundidade de mil metros e sua operação hoje é segura e confiável, batendo recordes de produção na Bacia de Campos.

Entretanto, devido às ocorrências descritas anteriormente e muitas outras, o empreendimento foi concluído após trinta e cinco meses de trabalho, quando o

---

<sup>11</sup> Conforme o planejamento original, pouco tempo após o recebimento das válvulas elas seriam soldadas em suas posições e em seguida todas as tubulações seriam preenchidas com água contendo produtos anti-oxidantes para execução dos testes, que garantiriam a preservação até o

prazo contratual era de dezessete meses. A Tabela 1 detalha os atrasos parciais na entrega de cada fase do projeto.

Tabela 1 - Comparação entre os prazos contratuais e realizados

Entrega parcial	Prazo contratual (meses)	Prazo real (meses)	Atraso	
			meses	%
Engenharia	4,5	7,5	3	67%
Manifold M1	12	26	14	117%
Manifold M2	13	21	8	62%
Manifold M3	17	35	18	106%

O prazo prolongado de execução gerou um custo adicional elevado, que, somado à multa contratual por atraso, foi suficiente para derrubar a margem do projeto de tal maneira a criar um resultado negativo significativo.

No entanto, o maior prejuízo foi com relação à imagem da contratada perante ao cliente. A confiança na competência gerencial da contratada foi abalada e, por um período relativamente longo, o cliente absteve-se de colocar novas ordens de compra na Empresa “A”. Esta situação só começou a ser revertida após a entrega do terceiro *manifold* e uma série de acaloradas negociações.

O modelo que será desenvolvido a partir da próxima seção englobará apenas a fase de engenharia, já que este foi o período em que o cliente mais influenciou no processo. Entretanto, é importante ter em mente a descrição do caso completo para que seja possível entender os modelos mentais envolvidos, tanto do lado da contratada como do cliente.

---

momento da instalação e início da operação no fundo do mar. Para enchimento da tubulação eram necessários os módulos de conexão que ainda não estavam prontos.

## 4. MODELAGEM

### 4.1. Introdução

Em projetos complexos e de grande porte, não é raro ocorrer que os custos e o tempo de execução extrapolem os limites pressupostos no contrato e que o seu resultado passe a ser negativo. Quando a empresa que executa o projeto julga não ter tido responsabilidade sobre os fatores causadores do atraso, ela pleiteará compensação ao cliente. Parte das causas externas é facilmente identificável e mensurável, como por exemplo, alterações de escopo solicitadas pelo cliente e motivos de força maior, tais como condições meteorológicas desfavoráveis, greves, etc. No entanto, os efeitos secundários destas causas não são tão claros e em documentos da contratada de reivindicação de compensação ao cliente, quando muito aparecem em um pacote inespecífico sob a denominação de "Disrupção e Atraso"<sup>12</sup>.

O modelo que será desenvolvido neste trabalho tem o objetivo de fornecer subsídios para a elaboração de um documento de clarificação ou de reivindicação de compensação relativa a atrasos ou disrupções causados pelo cliente para o caso específico descrito na seção anterior. Portanto, será representado o modelo mental da Empresa "A", contratada, solicitando ressarcimento do cliente, Empresa "B". Vale lembrar aqui a definição de contratada e cliente<sup>xv</sup>:

**Contratada:** a parte que é paga para executar um projeto e que não será proprietária do resultado de tal projeto.

**Cliente:** a parte que paga a contratada, que não executa diretamente o projeto, mas que terá direito de propriedade sobre o resultado do projeto.

---

<sup>12</sup> Do inglês "*Disruption and Delay*".

Para estruturar um documento que reivindica compensação adicional devido às interrupções e atrasos atribuídos ao cliente, a principal dificuldade está em abordar e esclarecer os seguintes pontos:

- **Causalidade:** mostrar quais fatores causaram os atrasos e interrupções e como estes fatores foram responsáveis pelo resultado negativo do projeto.
- **Responsabilidade:** mostrar que o cliente realmente foi responsável pelo resultado negativo.
- **Quantificação:** mostrar que os fatores causaram uma parcela específica do resultado negativo.

O modelo proposto neste trabalho tentará solucionar estas três dificuldades. Ele estará concentrado na fase de engenharia, que foi quando o cliente teve maior interferência. Será construída a estrutura de causalidade dos fatores que contribuem para o resultado do projeto, assim como serão identificados os eventos exógenos que disparam esta estrutura interna de causalidade, e posteriormente será quantificado o resultado total sobre o prazo final. A responsabilidade do cliente será então a diferença entre os resultados obtidos nas simulações com e sem a influência dos fatores externos.

#### **4.2. Interrupção e Atraso**

Williams et al, 2003<sup>xvi</sup> faz as seguintes definições sobre interrupção e atraso:

**Interrupção:** algum evento que impede a contratada de completar o projeto como proposto.

**Atraso:** pode ser demora na aprovação de documentos, no fornecimento de informações ou qualquer tarefa que é realizada mais tarde do que originalmente planejada.

A grande dificuldade na avaliação dos efeitos de atrasos e disrupções é o seu efeito dinâmico em um sistema. Atrasos agem como disrupções e estas por sua vez causam atrasos. Assim, cadeias de causalidade entre atrasos e disrupções ocorrem para afetar o projeto de maneira integral. Além disso, os ciclos de realimentação contribuem para magnificar os efeitos isolados de cada elemento causal.

### 4.3. O Diagrama Causal

O diagrama causal é o primeiro passo para o entendimento do funcionamento de um sistema. Ele é um modelo qualitativo, representando como cada elemento do sistema interfere nos demais.

Para construí-lo, foram utilizados como base os ciclos de paralelismo, retrabalho e comportamento do cliente vistos nas seções 2.5, 2.6 e 2.7, respectivamente. Além disso, foi necessário fazer uma série de entrevistas com pessoas que participaram do projeto para que o modelo pudesse representar a maneira como elas enxergam as inter-relações que formam o sistema. O Esquema 15 mostra o diagrama causal do Projeto "M" da maneira como a contratada o entende.

A princípio, o diagrama parece caótico e confuso, o que reflete o entendimento do sistema nesta fase do processo de criação do modelo. Porém, conforme as relações vão sendo estudadas uma a uma, o emaranhado de setas vai sendo desembaraçado e começa a fazer sentido.

As linhas vermelhas conectam os elementos que compõem o ciclo do paralelismo, as azuis representam o ciclo do retrabalho e as verdes a influência do cliente. As linhas pretas mostram relações específicas do caso em questão.

Na próxima seção, o diagrama de fluxo (modelo final) será construído passo a passo com base nas relações definidas neste diagrama causal e o modelo ficará mais claro.



O diagrama causal soluciona a primeira dificuldade para a elaboração de um documento de reivindicação de compensação, descrita na seção 4.1. Assim, fica resolvido o problema da comprovação da causalidade.

Abaixo estão descritos cada um dos fatores relevantes do sistema que compõe o diagrama causal e como estão relacionados entre si.

- **Ajustes no cronograma:** São as modificações feitas no cronograma acordadas entre contratada e cliente. Estes ajustes são tanto maiores quanto maior for a relação entre o esforço extra necessário para executar as atividades não planejadas inicialmente e os recursos treinados disponíveis. Os ajustes no cronograma são limitados também pela tolerância do cliente em aceitar estas modificações. Quanto maior pressão sobre a equipe de projeto para manter o cronograma de acordo com o planejado, maior será o número de situações em que a contratada proporá ao cliente ajustes no cronograma. Finalmente, os ajustes no cronograma contribuem no sentido de aumentar o prazo inicial para acomodar as atividades não planejadas que surgiram no decorrer do projeto. Os ajustes reduzirão o atraso percebido na medida em que o tempo disponível para execução das tarefas pendentes é aumentado.
- **Alteração da seqüência de trabalho:** Ocorre para a inclusão de atividades de engenharia não planejadas anteriormente. Modificações deste tipo podem ser originadas a partir de alterações das especificações ou escopo do projeto ou por interferência do cliente, com o intuito de reduzir ou manter um cronograma apertado. Alterações da seqüência de trabalho também ocorrem quando o cliente demora em fornecer sua aprovação ou comentários a documentos de projeto. Para não ficar com a equipe parada, esperando tais informações, a contratada pode optar por adiantar atividades que não sejam diretamente dependentes daquelas aprovações/comentários do cliente. As mudanças na seqüência de trabalho contribuem para o aumento do paralelismo de atividades (atividades ocorrendo simultaneamente) e para a redução da qualidade do trabalho executado, já que aumenta a possibilidade da introdução de erros no sistema. O nível de consolidação do projeto cairá uma vez que algumas atividades passam a ocorrer antes de outras das quais são dependentes e para isso terão de basear-se em dados que poderão ser alterados posteriormente.



- **Alteração em especificações e no escopo:** Tais alterações, como dito anteriormente, podem ter origem na interação direta entre o cliente e a engenharia, em novos dados oriundos de projetos semelhantes que o cliente esteja participando com outros fornecedores ou nas novas tecnologias que surgem no decorrer do desenvolvimento do projeto. Devido à pressão para que o cronograma seja cumprido, frente a um atraso e a impossibilidade de recuperar o tempo perdido, a contratada acaba por aceitar alterações de escopo e especificações em troca de ajustes no cronograma. Com mais exigências a serem observadas no projeto devido às alterações de especificações e escopo, a engenharia será mais complicada, redundante - uma vez que partes do projeto deverão ser revistas - e lenta - devido ao aumento de trabalho -, ou demandará um esforço extra para manter sua cadência. Alterações de escopo e especificações do projeto poderão acarretar modificações na seqüência de trabalho da engenharia para que a nova carga de trabalho seja incorporada à programação. O nível de consolidação do projeto também será afetado pelo acréscimo de dados novos, já que partes anteriormente consideradas concluídas, deverão ser revistas para inclusão e verificação das novas informações.
- **Atividades extras de engenharia:** Os principais exemplos de atividades extras de engenharia são as solicitações de esclarecimentos de itens não relevantes para o desenvolvimento do projeto ou que não são pertinentes à solução tecnológica adotada; ou questionamentos do cliente baseados em comparações com projetos semelhantes de outros fornecedores; ou ainda a exigência da emissão freqüente de relatórios de progresso detalhados numa tentativa do cliente de controlar os indesejados atrasos. As principais origens destas atividades extras são a diminuição da confiança do cliente na equipe de projeto, o aparecimento de novas tecnologias e novos dados vindos de projetos semelhantes, ou então, na tentativa de se familiarizar como projeto, a equipe do cliente repete questões já resolvidas anteriormente, devido ao aparecimento de membros novos ou por não poder estar totalmente envolvida pelo fato de estar acompanhando outros projetos. Esta carga adicional de trabalho a ser realizado pela engenharia não contribui para o progresso do empreendimento como um todo, afetando a produtividade da engenharia. Além disso, o moral da equipe é

atacado à medida que não conseguem avançar com o trabalho realmente produtivo.

- **Atraso:** Ocorre quando o tempo necessário para a realização de uma atividade ou um conjunto delas é superior ao que havia sido previsto no cronograma acordado com o cliente (cronograma planejado mais ajustes aceitos e incorporados). O tempo necessário para realização do conjunto de atividades depende da quantidade de trabalho a ser realizada, da duração de cada uma das atividades, dos recursos disponibilizados e de sua produtividade. O atraso aumenta a pressão sobre a equipe de projeto para que o cronograma seja respeitado, bem como favorece a tomada de decisão no sentido de que mais atividades devam ocorrer paralelamente. Quanto maior o atraso, menor será a confiança do cliente na equipe de projeto e maior a intenção do cliente em interferir na fase de projeto de engenharia.
- **Atraso em comentários/aprovação de documentos:** A demora na liberação de documentos de projeto pode ser uma causa direta de atraso, quando consideramos a espera por comentários ou aprovação do cliente como um acréscimo de tempo à atividade de produção e emissão do documento. Também pode ser uma causa indireta de atraso, devido à redução do nível de consolidação do projeto e quando há a necessidade de alteração da seqüência de trabalho da engenharia entrando no ciclo de paralelismo. Os motivos pelo qual o cliente pode demandar mais tempo para fazer comentários ou aprovar documentos de projetos podem ser o aparecimento de novos dados provenientes de projetos com outros fornecedores ou o aparecimento de novas tecnologias que fazem com que novas perguntas surjam e necessitem ser respondidas. Outra razão para este tipo de atraso ocorre quando a equipe do cliente está envolvida em mais de um projeto e, por ser reduzida, não tem tempo hábil para acompanhar todos com a devida atenção. Pode haver ainda mudança de pessoal na equipe do cliente, o que acarreta a necessidade de tempo para que os novos membros se familiarizem com o projeto e comecem a comentar/aprovar documentos. A diminuição da confiança na equipe de projeto também é uma causadora deste tipo de atraso, devido ao fato de o cliente passar a ser mais minucioso no exame da documentação, o que requererá mais tempo.

- **Cliente interage diretamente com a Engenharia (*by-pass* EPC):** Quando a confiança na equipe que gerencia o projeto é minada, o cliente prefere interagir sem intermediações com a equipe de engenharia, interferindo diretamente no projeto.
- **Confiança na equipe de projeto:** Conforme ocorrem atrasos nos diversos marcos de projeto e a qualidade dos trabalhos decai com o aumento de erros sendo gerados, o cliente vai perdendo a confiança na equipe de projeto. Em geral, por não conhecer a dinâmica do sistema, o cliente atribui todas as causas de atraso e de baixa qualidade a deficiências da contratada, tanto no que diz respeito ao gerenciamento do projeto, como em relação à sua capacidade técnica. O cliente sentir-se-á prejudicado e tenderá a não aceitar mais ajustes no cronograma demonstrando que mais atrasos não serão admitidos. Outra medida que o cliente passa a tomar é a de interagir diretamente com a Engenharia, deixando de lado o canal de comunicação inicialmente estabelecido através da equipe de gerenciamento do projeto (equipe EPC). A intenção do cliente é a de se certificar de que suas solicitações sejam imediatamente implementadas. A redução da confiança na equipe de projeto provocará ainda um desconforto do cliente com relação a documentos anteriormente comentados e aprovados, de maneira que este desejará revê-los, atrasando ainda mais o processo de liberação da documentação de projeto. Com o intuito de readquirir a confiança na equipe de projeto, o cliente passa a questionar a engenharia quanto a seus processos e soluções técnicas adotados no projeto, gerando atividades extras não planejadas inicialmente.
- **Cronograma planejado (tempo disponível):** O tempo do qual se dispõe para a execução das atividades de projeto influenciará diretamente as decisões sobre quantas e quais destas atividades serão executadas paralelamente e se os trabalhos deverão seguir baseados em dados de projeto não consolidados ou se é possível esperar a chegada de dados menos suscetíveis a modificações futuras. O cronograma planejado, corrigido com os ajustes aprovados pelo cliente, também influenciará a noção de atraso, já que durante o projeto este será

o ponto de referência básico para se comparar o progresso efetivamente atingido.

- **Duração das atividades:** A duração das atividades que compõem o estoque de trabalho a ser realizado influencia diretamente o atraso do projeto. Considerando as demais variáveis mantidas constantes, caso haja um aumento do tempo de duração de uma ou mais atividades, o atraso também aumentará. A duração das atividades depende do nível de redundância e de quão complicada é a engenharia do projeto, assim como do nível de inter-relacionamento das atividades executadas paralelamente. Quando existe maior dependência entre duas atividades paralelas, o tempo de duração das atividades é maior do que se fossem independentes, pois uma sempre estará esperando informações provenientes da outra, gerando também a necessidade de um alto grau de coordenação das tarefas.
- **Eficácia da GQ (detecção de erros):** Quando o trabalho da engenharia é baseado em dados de projetos não consolidados e que poderão posteriormente sofrer alterações, a Garantia da Qualidade terá um trabalho maior de rastrear os erros que possivelmente estarão sendo gerados. Se a este fator estiver associada uma maior pressão da equipe de projeto para cumprimento do cronograma, a eficácia da Garantia da Qualidade na detecção de erros será prejudicada, pois o tempo para execução de seus trabalhos será reduzido. Assim, a identificação de retrabalhos já existentes, porém ainda não conhecidos é retardada, podendo ocorrer apenas em fases adiantadas do projeto, quando sua correção deverá ser mais abrangente e implicar em danos maiores ao prazo.
- **Engenharia mais complicada, redundante e lenta:** As alterações em especificações e no escopo do projeto solicitadas pelo cliente no decorrer do desenvolvimento da fase de engenharia podem tornar o desenho do sistema mais complicado do que se tivessem sido introduzidas logo no início. Quanto mais tarde estas modificações são acrescentadas, maior a tendência da equipe de engenharia de tentar aproveitar o trabalho já realizado, fazendo com que a solução encontrada para incorporar a alteração tenha características mais de uma adaptação do que de um item a mais integrado no sistema. Não são raras

as vezes em que as equipes de engenharia percebem tardiamente que se tivessem aberto mão de partes do projeto já prontas antes da solicitação do cliente, a inclusão de uma especificação ou um aumento de escopo teria sido menos traumática para a simplicidade do sistema. Isto ocorre também devido ao fato de que muitas partes do sistema deverão ser revistas para serem compatibilizadas com a modificação pertinente. Assim a duração das atividades de engenharia será aumentada, bem como a quantidade de trabalho a ser realizado. Mais trabalho em um sistema mais complicado contribuirá para o crescimento da possibilidade de erros serem gerados.

- **Equipe do cliente envolvida em outros projetos:** Devido ao elevado investimento necessário para desenvolvimento de um campo, muitas vezes a empresa de petróleo opta por dividir o escopo de fornecimento entre vários fornecedores, com o intuito de não ficar dependente de apenas um ou simplesmente pelo fato de não haver nenhum fornecedor com capacidade fabril suficiente para atender a toda sua demanda. Assim, não é raro ocorrer que a equipe do cliente, responsável pelo acompanhamento dos contratos, esteja envolvida em mais de um projeto ao mesmo tempo. Com recursos humanos escassos, o cliente terá que optar por dar mais atenção ao fornecimento que apresentar maior quantidade de problemas. Com isso, o cliente tende a preterir projetos na fase inicial de engenharia pelos mais adiantados já em execução e conseqüentemente, mais avolumados em problemas. Portanto, o cliente demorará mais para comentar e aprovar documentos de projetos. Além disso, a equipe do cliente trará para a equipe de projeto sua experiência de problemas vividos e resultados observados em outros fornecedores, o que culminará na solicitação de alterações de escopo e de especificações e na comparação das soluções adotadas pelos diversos fabricantes. Outra conseqüência importante do envolvimento simultâneo do cliente em vários projetos, é que devido à limitação de recursos humanos, membros da equipe do cliente podem ser alocados em outro contrato e substituídos por outros que necessitarão de um período de familiarização com o projeto.
- **Esforço extra necessário:** Um aumento de escopo ou modificação de especificação gerará a necessidade de um esforço extraordinário dos recursos

que não estava previsto anteriormente. Este esforço adicional aliado à limitação dos recursos treinados e ao nível de pressão para cumprimento do cronograma definirá se haverá ou não necessidade de se sugerir ao cliente ajustes na programação e nos prazos.

- **Geração de erros (retrabalho não descoberto):** A geração de erros é uma parte inerente ao sistema e entrará no ciclo de retrabalho como retrabalho ainda não descoberto. Quando mais tarde for identificado pela Garantia da Qualidade será integrado ao estoque de trabalho a ser realizado. A geração de erros é geralmente exacerbada quando a visão global do sistema é preterida por uma mais localizada. Isto pode ocorrer, por exemplo, quando o cliente interfere na engenharia ou na execução do projeto e toma decisões voltadas somente à resolução de um problema pontual. Erros não identificados farão com que o trabalho seja baseado em informações não consolidadas, que deturparão o entendimento sistêmico do projeto, contribuindo para a geração de mais erros, num círculo vicioso. De maneira semelhante, erros também serão gerados pelo paralelismo que dificulta a consolidação do projeto ou quando a engenharia se torna mais complicada e redundante devido a alterações de escopo e de especificações. A qualidade do trabalho em execução determinará a porcentagem das atividades que deverão ser refeitas devido aos erros gerados, que posteriormente serão detectados pela Garantia da Qualidade transformando o retrabalho não identificado em conhecido.
- **Horas Extras:** A necessidade de aumentar a capacidade de homem-horas da equipe de engenharia através de trabalho em horas extraordinárias surgirá quando o progresso aparente do projeto comparado com o cronograma planejado não for satisfatório e houver uma pressão tanto interna como externa para que o prazo final seja mantido. Além disso, é necessário que o estoque de recursos treinados da contratada tenha se exaurido e não haja a possibilidade ou intenção de se contratar mais pessoal. Entretanto, o trabalho excessivo em regime de horas extraordinárias acabará por afetar o moral da equipe de engenharia devido à exaustão crescente dos indivíduos, que terão seus períodos de descanso reduzidos.

- **Interferência do cliente na engenharia:** Quando o canal de comunicação, representado pela equipe de projeto, é rompido e o cliente passa a interferir diretamente no projeto de engenharia, parte da visão sistêmica é perdida. Devido à pressão para manter o cronograma e impedir novos desvios na data final de entrega do projeto, a contratada acaba por aceitar a interferência do cliente, pois acredita que ganhará tempo evitando as intermináveis discussões com o cliente sobre como conduzir o projeto. O cliente focaliza a procura de soluções de problemas pontuais, ignorando efeitos destas ações sobre o restante do processo. Desta maneira são gerados erros, cujas correções demandarão retrabalhos posteriores que serão executados somente quando tais falhas forem descobertas, o que poderá ocorrer em fases mais avançadas do empreendimento. Focado em um problema local, o cliente poderá insistir na alteração da seqüência de trabalho da engenharia ou de execução do projeto para que a solução ocorra mais rapidamente. A interferência direta do cliente causará a sensação de perda de autonomia da engenharia, o que afetará o moral da equipe. Mais próximo da equipe de engenharia, o cliente solicitará uma série de pequenas modificações, que isoladamente não necessariamente constituiria uma alteração de escopo, mas sem o controle da equipe de gerenciamento do projeto pode tomar um vulto considerável, afetando o progresso dos trabalhos.
- **Inter-relação de atividades paralelas:** Quando o grau de paralelismo na execução das atividades do projeto é aumentado, uma vez que atividades atrasadas se sobrepõem a outras subseqüentes ainda não atrasadas, a dependência entre elas aumenta. Mais atividades deverão esperar informações das demais para que suas execuções possam ser continuadas de maneira consistente, aumentando o tempo requerido para realizá-las. Uma engenharia mais complicada e redundante também contribui para o aumento da dependência entre as atividades do projeto, que por sua vez influenciará o nível de consolidação de suas informações. Quando isto ocorre, com o intuito de manter o cronograma, uma atividade prossegue sem possuir todo o conjunto de informações confiáveis de que necessita.
- **Intolerância a ajustes no cronograma:** Conforme o cliente perde a confiança na equipe de projeto por causa dos atrasos, sua disposição para aceitar ajustes

no cronograma também é reduzida. O cliente acredita que o principal motivo dos atrasos é a incapacidade da contratada de gerenciar o projeto e endurece sua posição com o intuito de exigir medidas firmes para reverter o que o cliente considera como falta de controle. O reflexo disso na equipe que gerencia o projeto é que esta exercerá maior pressão sobre os demais membros (engenharia, fábrica, etc.) para que o cronograma seja mantido.

- **Moral da equipe de engenharia:** Esta variável é de extrema importância por influenciar diretamente a produtividade do trabalho da engenharia, como também sua qualidade através da geração de erros. Entretanto, ela é difícil de ser mensurada por ser bastante subjetiva. O ânimo da equipe é afetado quando existe o sentimento de perda de autonomia devido à interferência do cliente na engenharia ou quando são solicitadas atividades adicionais (respostas a perguntas não pertinentes, comparações, relatórios de progresso) que não contribuem para o andamento do projeto e divergem a atenção da equipe de suas atividades mais produtivas. O moral da equipe de engenharia também é abalado pela pressão da gerência do projeto para que o cronograma seja cumprido e piora ainda mais ao se perceber que os esforços não estão surtindo efeito e o projeto continua atrasado. Na tentativa de reverter o atraso, a equipe de projeto libera o trabalho em horas-extras da engenharia cujos membros, com o passar do tempo, irão ficando exaustos e comprometendo ainda mais a produtividade e a qualidade do trabalho, uma vez que mais retrabalhos serão gerados devido à introdução de erros no projeto.
- **Mudança na equipe do cliente:** Quando o cliente tem diversos projetos semelhantes em fornecedores diferentes e sua equipe de acompanhamento de projetos é limitada, pode ocorrer por vezes a necessidade de realocação dos membros de sua equipe. Novos membros precisarão de algum tempo para familiarizar-se com o projeto e com isso, mais tempo será requerido para se fazer comentários ou aprovar documentos de projeto da contratada. Durante a fase de familiarização, por falta de conhecimento do sistema, poderão ser feitos à equipe de engenharia questionamentos fora de contexto da contratada, ou que possivelmente já foram esclarecidos para os membros anteriores. Além disso,



novos membros poderão ter preferência por novas rotinas de trabalho que demandarão algum tempo para que a equipe se adapte a eles.

- **Nível de consolidação do Projeto:** Um projeto é composto de várias etapas em geral interdependentes, ou seja, informações geradas em uma determinada fase serão utilizadas como dados de entrada em outras subseqüentes. As informações estão consolidadas quando não estão mais suscetíveis a alterações. O nível de consolidação do projeto diz qual a porcentagem das informações geradas até um determinado momento é definitiva. Esta variável é influenciada negativamente pelo atraso do cliente em fornecer comentários e aprovação de documentos, já que esta é uma fonte de alteração dos dados de projeto. O cliente também contribui para diminuição do nível de consolidação das informações quando solicita alterações em especificações e escopo do projeto. Por pressão para cumprir o cronograma estabelecido, a equipe de projeto pode optar por alterar a seqüência de trabalho da engenharia. Além disso, quanto mais dependentes e inter-relacionadas forem as atividades, mais passíveis de modificação serão as informações do projeto. O trabalho baseado em dados não consolidados está propenso à geração de retrabalho em fases posteriores quando as informações forem alteradas.
- **Novas tecnologias emergem:** Projetos muito longos com duração de dois, três anos ou mais estão sujeitos a terem as tecnologias utilizadas em seu desenvolvimento comparadas com tecnologias mais modernas no momento da execução da obra. Na área de prospecção submarina de petróleo, novas tecnologias surgem a cada instante, já que esta operação envolve alto risco financeiro, material, humano e ambiental. Como estes são projetos de longa duração, por mais que as tecnologias utilizadas na sua concepção sejam de ponta, no momento da construção do equipamento, podem já ter surgido outras mais modernas que atraem a atenção da companhia de petróleo que irá operá-lo. Desta maneira, o cliente sobrecarregará a contratada com o trabalho adicional de responder a questionamentos, comparações e solicitações de esclarecimentos sobre a viabilidade de utilização das novas tecnologias no projeto corrente, e aguardará as respostas antes de emitir seus comentários a documentos de

projetos. Em última análise, o cliente solicitará a alteração do escopo de projeto ou modificará as especificações para inclusão das novas tecnologias.

- **Novos dados vindos de projetos semelhantes:** Quando a equipe do cliente que acompanha o projeto também está envolvida em projetos semelhante em outros fornecedores é natural que haja um intercâmbio de experiências e informações. O cliente deseja prevenir-se para que problemas vividos anteriormente no outro fornecedor não sejam repetidos no atual. Entretanto, devido a limitações éticas, ele não pode abrir em detalhes os fatos ocorridos, então sugere estudos, verificações, testes e alterações de procedimentos criando atividades adicionais para a engenharia. Além disso, enquanto não estiver seguro de que a empresa contratada não incorrerá em erros semelhantes ao de outros fornecedores, o cliente preferirá segurar os comentários e aprovações a documentos de projeto até que seus questionamentos sejam esclarecidos. Ao final, os novos dados provenientes de fornecimentos similares farão com que o cliente solicite alterações de escopo e das especificações do projeto.
- **Paralelismo:** O projeto de um sistema envolve o desenvolvimento de diversas atividades que podem ocorrer paralelamente ou em série, de acordo com o grau de interdependência entre elas. Em alguns casos, uma etapa não pode iniciar sem a conclusão da anterior, em outros é possível estimar-se dados de entradas e corrigi-los posteriormente sem grandes implicações para o restante do sistema. Outra possibilidade ainda é desenvolver atividades dependentes simultaneamente. Cada passo adiante que uma das atividades completa, alimenta as demais com dados atualizados que também permitirão o avanço delas e assim sucessivamente. Este processo exige um esforço adicional da engenharia para coordenar a troca de informação entre as diversas atividades e, uma vez que os recursos são limitados, a produtividade da equipe será prejudicada. O atraso do projeto aliado à pressão para manter o cronograma, bem como o aumento da quantidade de trabalho devido aos retrabalhos que vão sendo identificados demandará uma reprogramação das atividades para atender ao cronograma estabelecido. Devido à restrição do tempo disponível, algumas atividades, antes programadas em série, terão que ser executadas simultaneamente. Da mesma maneira, as alterações da seqüência de trabalho da

engenharia e da execução do projeto, devido a solicitações adicionais do cliente, contribuirão para o aumento do paralelismo. Quanto mais paralelas, maior será a relação de dependência entre as atividades, tendo cada uma que aguardar informações das demais para poder avançar e disponibilizar seus dados para que as outras atividades possam progredir. O efeito mais danoso do paralelismo é a geração de erros, por exemplo, pela continuação de uma atividade baseando-a em dados não consolidados que posteriormente serão alterados. Quanto mais tardia for a identificação de um erro, mais atividades terão tido como pressuposto informações contendo tal erro e maior será a quantidade de retrabalho para corrigi-lo.

- **Pressão para cumprir o cronograma:** O atraso do projeto e a intolerância do cliente em aceitar ajustes no cronograma farão com que a equipe de projeto seja pressionada para tomar decisões com o intuito de manter o cronograma e evitar consequências negativas como a deterioração do fluxo de caixa do projeto ou o pagamento de multas contratuais. A equipe de gerenciamento do projeto passará a exercer pressão sobre as demais equipes (engenharia, fábrica e testes) para que não haja novas alterações no cronograma. As medidas tomadas para conter atrasos são em geral a liberação do trabalho em regime extraordinário, aumento no paralelismo das atividades, permissão para o avanço do projeto mesmo sem informações totalmente consolidadas, alteração da seqüência de engenharia e instrução para que os procedimentos e critérios da qualidade sejam relaxados, reduzindo a eficácia da Garantia da Qualidade na detecção de erros. Como consequência da pressão para cumprimento do cronograma, a produtividade da equipe e a qualidade do trabalho se deteriorarão à medida que o moral da equipe é afetado negativamente. A gerência do projeto aceitará mais solicitações feitas pelo cliente para alterações do escopo com o intuito de evitar negociações demoradas. Também aceitará a interferência do cliente na engenharia como forma de demonstrar sua boa vontade na busca de soluções para o atraso. Em troca a estas concessões, a contratada solicitará ajustes no cronograma, com o intuito de diminuir o atraso percebido.
- **Produtividade da Engenharia:** É a porcentagem do tempo disponível dos recursos de engenharia que é utilizada em trabalhos que contribuem

efetivamente para o progresso do projeto, ou seja, para a transformação do trabalho em execução em trabalho realizado (tanto o concluído como o retrabalho não descoberto). A produtividade é diretamente afetada pelo moral da equipe de engenharia. Equipes cansadas e desanimadas ou desmotivadas utilizam menos eficientemente o seu tempo. Trabalhos baseados em dados de projeto não consolidados também reduzem a produtividade da equipe, uma vez que parte do tempo será utilizada para a verificação do efeito das informações quando modificadas. De maneira semelhante, o paralelismo influenciará a produtividade, pois os recursos humanos limitados terão que dividir seus esforços entre a coordenação adicional para troca de informações entre as atividades simultâneas e seus trabalhos corriqueiros de desenvolvimento do projeto. A solicitação do cliente de atividades adicionais, tais como respostas a questionamentos não pertinentes ao desenvolvimento do projeto, estudos de comparações entre tecnologias novas e a utilizada ou elaboração de relatórios de progresso, também ocupará parte dos recursos da engenharia sem que isso colabore para o avanço do projeto. A produtividade afetará o atraso, pois ela entra no cálculo do tempo requerido para a finalização do trabalho a ser executado, determinando quanto dos recursos serão efetivamente utilizados.

- **Progresso aparente:** É o trabalho executado, tanto o efetivamente concluído como o retrabalho ainda não identificado, em relação ao volume de trabalho a ser realizado. Com base no progresso aparente e no cronograma oficial, será definido o atraso do projeto e também calculada a quantidade de horas-extras necessárias para se concluir as atividades pendentes no prazo acordado.
- **Qualidade:** A qualidade é a porcentagem do trabalho executado que está definitivamente concluída e não mais necessitará de retrabalhos futuros. A qualidade dos trabalhos realizados influenciará diretamente a confiança do cliente em relação à equipe de projeto.
- **Recursos humanos disponíveis:** É composto pelo corpo de engenheiros treinados e disponíveis para integrar a equipe de engenharia do projeto. A capacidade de recursos humanos, em termos de homem-horas é aumentada através da liberação do trabalho em regime de horas extraordinárias. Os recursos

disponíveis determinarão a taxa de execução dos trabalhos a serem realizados e também da produtividade da equipe. Além disso, serão utilizados na previsão do tempo requerido para conclusão dos trabalhos e, conseqüentemente, influenciarão na medição do atraso. Os recursos humanos disponíveis também são utilizados no cálculo das horas-extras necessárias para recuperar um projeto atrasado ou no cálculo dos ajustes no cronograma que serão propostos ao cliente para reduzir o atraso.

- **Retrabalho conhecido:** É o retrabalho detectado pela Garantia da Qualidade que passará a integrar o estoque de trabalho a ser realizado. Em geral, quando identificado, a equipe de projeto opta por corrigi-lo rapidamente para que suas conseqüências sejam o menos abrangentes possível. Assim, a seqüência de trabalhos da engenharia será alterada para que os retrabalhos sejam concluídos rapidamente. Alternativamente, opta-se pelo paralelismo entre as atividades já programadas e os retrabalhos descobertos.
- **Trabalho a ser realizado:** O trabalho a ser realizado é composto pelas atividades normais de projeto já planejadas, acrescidas dos retrabalhos identificados pela Garantia da Qualidade, das atividades adicionais solicitadas pelo cliente ou provenientes de uma engenharia mais complicada e redundante. As alterações de especificações e do escopo do projeto também contribuirão para o aumento do estoque de trabalho a ser realizado que, dependendo dos recursos disponíveis e de sua produtividade irá sendo executado mais ou menos rapidamente. O trabalho a ser realizado juntamente com o já executado determinarão o progresso do empreendimento e também serão fatores determinantes na avaliação do atraso.
- **Trabalho baseado em dados de projeto não consolidados:** Um baixo nível de consolidação do projeto aliado ao cronograma apertado, bem como a geração de erros que só serão identificados posteriormente prejudicarão a compreensão do sistema como um todo, uma vez que pressupostos serão feitos considerando-se dados não corretos ou não consolidados que posteriormente deverão ser alterados. Uma compreensão equivocada do funcionamento do sistema contribuirá para mais geração de erros, num ciclo de realimentação positivo.

Além disso, também será prejudicada a eficácia do sistema da qualidade na detecção de erros, uma vez que o trabalho da Garantia da Qualidade depende da compreensão correta do funcionamento do sistema.

- **Trabalho concluído:** É a parcela do trabalho que foi executado corretamente sem nenhuma introdução de erros, mesmo os não identificados, e que foi definitivamente terminado, não mais precisando ser revisto ou refeito. O trabalho concluído comparado ao seu complementar, o retrabalho ainda não descoberto, definirá o índice de qualidade.
- **Trabalho em execução:** É a taxa com que o trabalho a ser realizado é executado, transformado-se em trabalho concluído ou retrabalho ainda não identificado. Ele dependerá dos recursos humanos disponíveis, bem como de sua produtividade e influenciará positivamente o progresso aparente do projeto.

#### 4.4. Os Disparadores

Uma vez construído o diagrama causal, a atividade seguinte é a de identificar os disparadores. Os disparadores são os eventos ou ações exógenas que agem sobre o projeto para ativar a cadeia endógena de causas. Em outras palavras, são as ações tomadas pelo cliente que provocam uma série de efeitos primários e secundários, devido à estrutura interna do sistema, e que influenciam o resultado final do projeto.

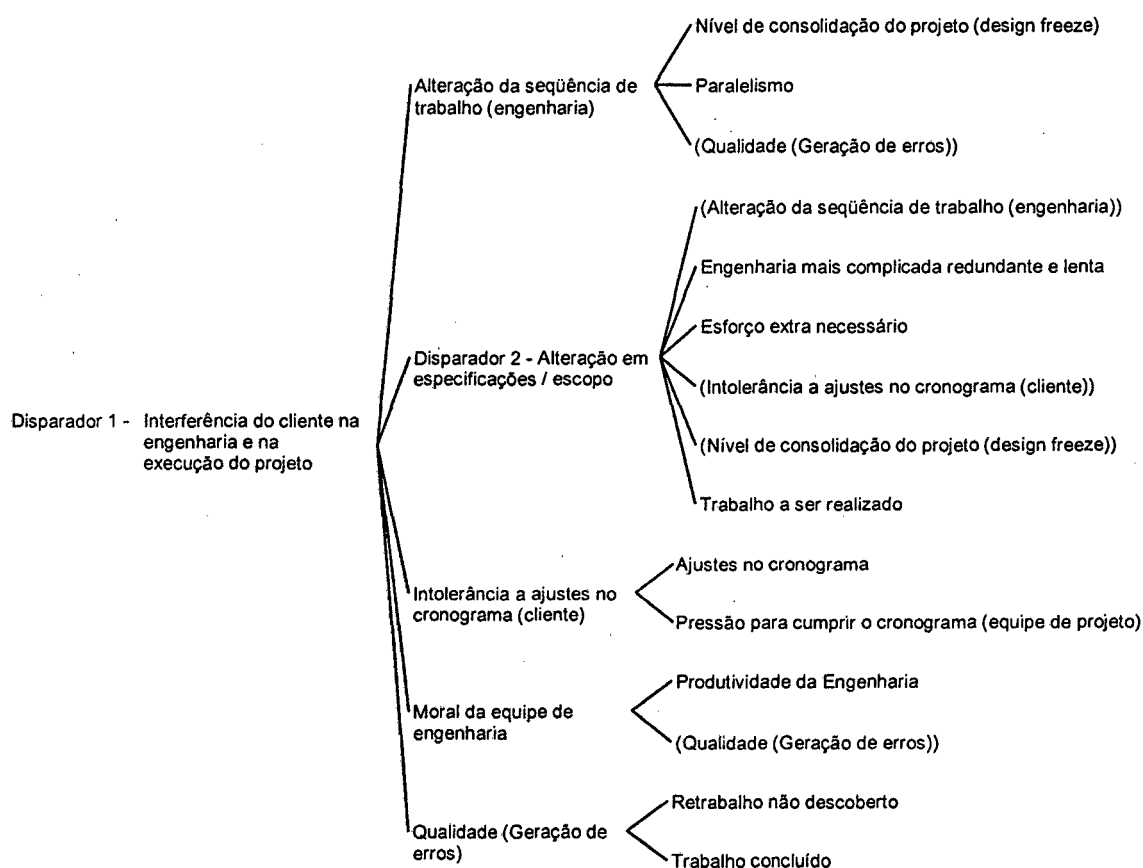
Williams et al. (2003) define alguns disparadores que também foram encontrados em situações diferentes no Projeto "M". São eles:

##### 4.4.1. Disparador 1:

O primeiro disparador é a interferência do cliente no projeto, que pode ocorrer tanto na fase de engenharia como na de desenvolvimento do projeto.

Existem algumas maneiras diferentes de o cliente interferir na fase de engenharia. Uma delas ocorre quando, em um projeto sob encomenda, o cliente insiste em uma solução diferente, porém igualmente válida sob seu ponto de vista. Um exemplo ocorrido no Projeto "M": o cliente especifica um tipo de conector hidráulico. A contratada prevê a compra daquele componente de um determinado fabricante conforme as especificações, mas o cliente solicita outro fornecedor de sua preferência.

Outra forma de interferência seria a engenharia preferencial, quando o cliente prefere uma solução técnica diferente da proposta pela contratada, mas não especificada contratualmente. As válvulas dos *manifolds* foram especificadas pelo cliente e previstas pela contratada para possuir internamente vedações metálicas. O cliente solicita posteriormente que estas vedações sejam revestidas por camadas de material mais nobre.



Esquema 16 - Efeitos do disparador 1

Outra situação ocorreu quando o cliente solicita modificações do procedimento de trabalho, acrescentando verificações não especificados no contrato alegando tratar-se de uma exigência da “boa técnica”.

O Esquema 16 apresenta os efeitos da interferência do cliente no projeto.

#### 4.4.2. Disparador 2:

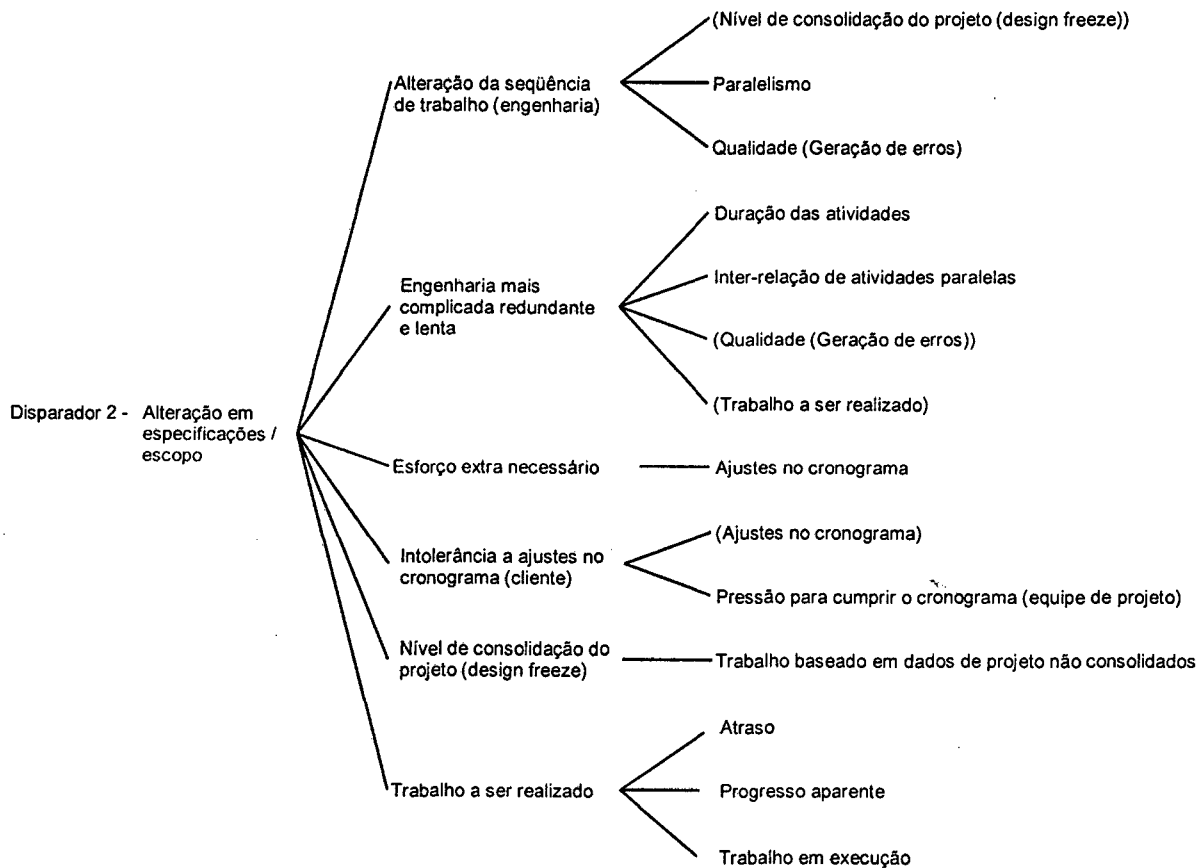
O segundo disparador seria representado pelas alterações em especificações e escopo, sujeitas ou não a revisões contratuais. Apesar de as consequências diretas sobre o prazo e o custo serem facilmente identificáveis, os efeitos secundários são normalmente subestimados. Com exceção da disposição da contratada em aceitar as alterações devido à pressão no cronograma, as causas deste fator são exógenas: as novas tecnologias emergentes e novos dados provenientes de projetos semelhantes que a equipe do cliente acompanha.

Um exemplo de alteração de especificação ocorreu no Projeto “M” com os módulos de conexão vertical. Estes equipamentos de quase quatro metros de altura pesando até oito toneladas têm a função de conectar a tubulação flexível proveniente dos poços ou da plataforma ao *manifold*. Eles são especificados para serem instalados a mil metros de profundidade a partir do navio de apoio sob determinadas condições de mar. O teste de mar para qualificação do protótipo foi considerado um sucesso pela contratada por ter atendido a todos os requisitos especificados. O cliente, no entanto, não ficou satisfeito por considerar muito alto o tempo necessário para a instalação do equipamento. A exigência de tempo máximo de instalação foi adicionada à especificação e uma série de modificações foi necessária para atender à nova solicitação.

Exemplos de alteração de escopo, ainda com os módulos de conexão vertical, ocorreram em quatro momentos distintos, quando o cliente solicitou soluções diferentes para o sistema de destravamento mecânico do conector. Em duas destas situações, os módulos já estavam montados aguardando testes. Nestes casos o cliente aceitou tratar o caso como uma alteração contratual e pelo menos os efeitos primários foram compensados à contratada.

O diagrama apresentado no Esquema 17 mostra as consequências de alterações de escopo feitas pelo cliente.

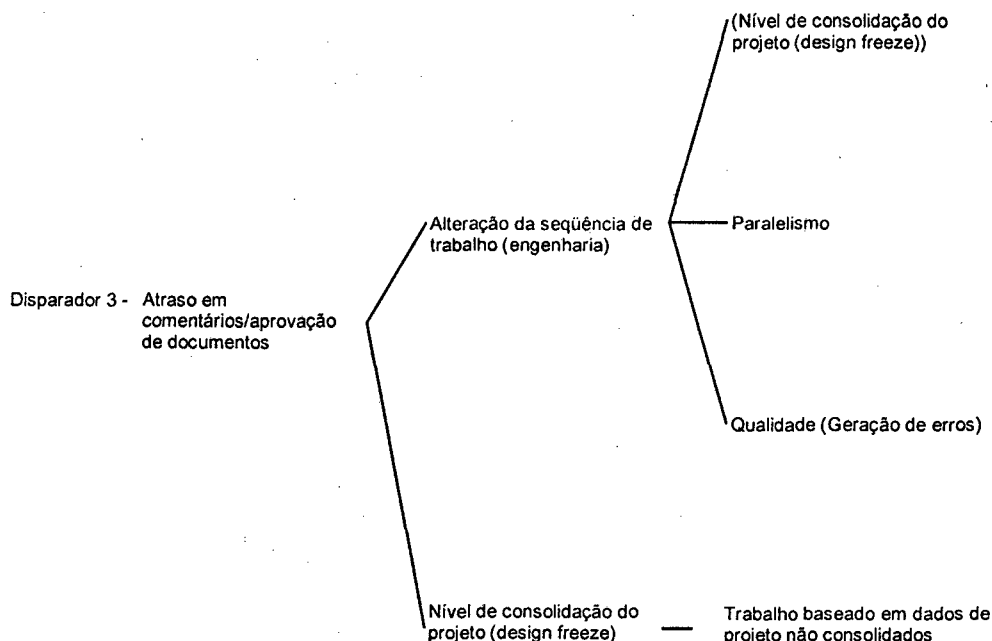




Esquema 17 - Efeitos do disparador 2

#### 4.4.3. Disparador 3:

O terceiro disparador é o atraso do cliente na emissão de comentários e na aprovação de documentos. Frequentemente existem momentos no processo de desenvolvimento do projeto de engenharia e no processo de aquisição de materiais em que documentos como desenhos de arranjo geral, especificações de materiais e procedimentos de teste devem ser submetidos ao cliente para seus comentários e aprovação. Em geral, há no contrato uma definição do tempo máximo que o cliente pode reter um documento para aprovação. Quando este prazo não é respeitado, é difícil avaliar suas consequências reais a menos que sejam utilizados modelos que considerem as malhas de realimentação. Esta situação se torna ainda mais crítica,



Esquema 18 - Efeitos do disparador 3

se houver um grande número de pequenos atrasos em lugar de alguns poucos atrasos críticos facilmente identificados.

O Esquema 18 mostra as conseqüências diretas do disparador 3.

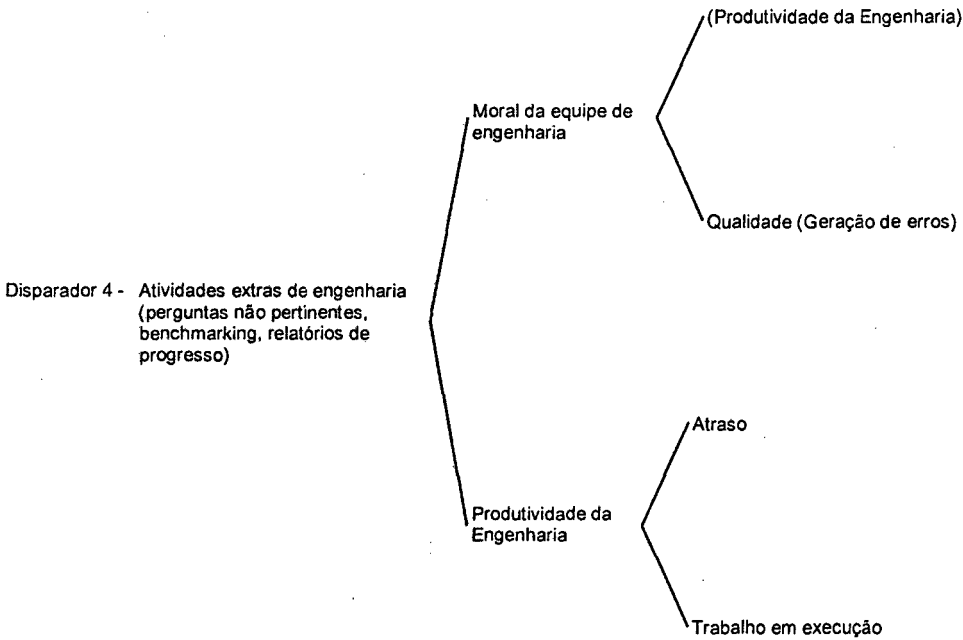
#### 4.4.4. Disparador 4:

O quarto disparador é representado pelas atividades extras de engenharia que o cliente solicita durante o decorrer do projeto. Exemplo deste tipo de atividades são os questionamentos não pertinentes que membros novos da equipe do cliente fazem durante a sua familiarização com o projeto. Outro exemplo é o das comparações com tecnologias emergentes ou utilizadas por outros fornecedores. O cliente questiona por que tais tecnologias não estão sendo utilizadas, ou quanto custaria para implementá-las e quais seriam as implicações.

Quando a confiança do cliente na equipe é prejudicada pelo atraso ou por uma redução na qualidade dos trabalhos, o cliente solicita relatórios de progresso, planos de ação e estudos identificando causas de problemas de qualidade.

Este trabalho adicional não contribuirá para o avanço do projeto, tomará tempo da equipe de projeto para que seja concluído, prejudicando a produtividade na execução do serviço. Esta percepção da diminuição da velocidade de progresso do empreendimento afetará negativamente o moral da equipe.

O Esquema 19 mostra os efeitos do disparador 4.



Esquema 19 - Efeitos do disparador 4

## 5. O DIAGRAMA DE FLUXO

Uma vez estabelecido o diagrama causal, que mostra como cada fator influencia os demais e por eles é influenciado, a meta seguinte é quantificar estas relações para que se possa verificar numericamente o comportamento de cada nó do sistema diante de uma perturbação qualquer.

Nesta seção, o modelo será construído passo a passo, e será explicado o modelo mental por trás de cada elemento acrescentado, bem como sua tradução matemática no modelo de simulação.

Na transição do diagrama causal para o de fluxo, nem sempre são aproveitados todos os elementos do primeiro. O desenvolvimento do modelo é um processo que a cada momento vai sendo melhorado na medida em que as relações vão sendo questionadas. Assim, alguns elementos presentes no causal foram aglutinados no diagrama de fluxo. Outros foram divididos em dois ou mais e também houve aqueles que foram introduzidos para melhor caracterizar o modelo matemático. No entanto, todos os conceitos básicos de paralelismo, retrabalho e influência do cliente estão presentes nos dois diagramas.

Nesta etapa, bem como na anterior na qual foi construído o diagrama causal, foi utilizado o programa de simulação Vensim PLE32 versão 4.0d. Vale lembrar que será modelada apenas a fase de engenharia, que foi onde a influência do cliente além da inicialmente esperada mais se fez notar.

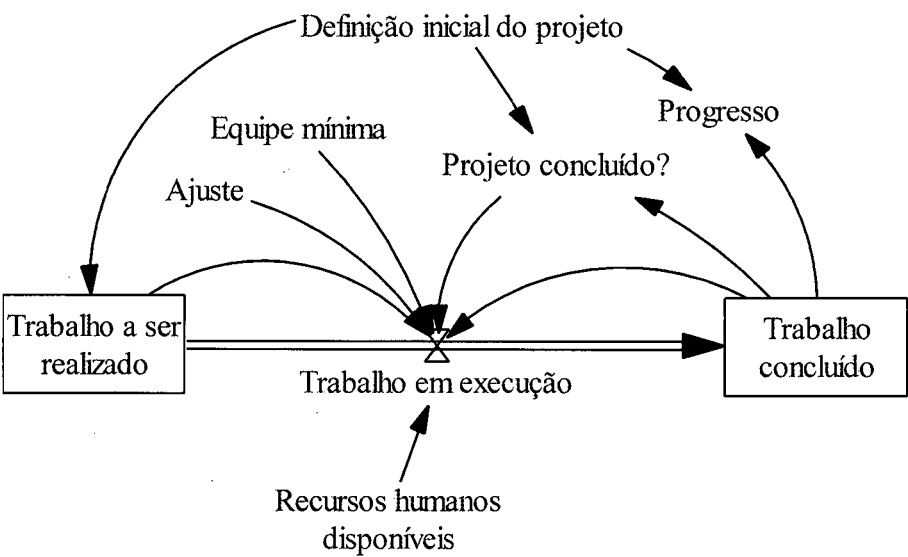
### 5.1. O Modelo Básico (Proposta)

A modelagem inicia-se com a representação mais básica possível de como funciona o processo de desenvolvimento de um projeto. No entanto, por ser a mais simples, esta é a maneira mais comum de se pensar no fluxo de trabalho no momento de se preparar uma proposta.

Como mostra o Esquema 20, o processo constitui-se de um estoque de trabalho a ser realizado que vai sendo transformado, através do trabalho em execução, em trabalho concluído. Tanto o primeiro como o último são variáveis de

estado do sistema, enquanto que o trabalho em execução é a taxa com que um se transforma no outro.

As variáveis de estado, nesta primeira etapa da construção do modelo, são as quantidades de trabalho programado ou realizado, que são medidas em homem-horas (HH). A unidade de tempo é dia (d) e a taxa de transformação é medida em homem-horas por dia (HH/d).

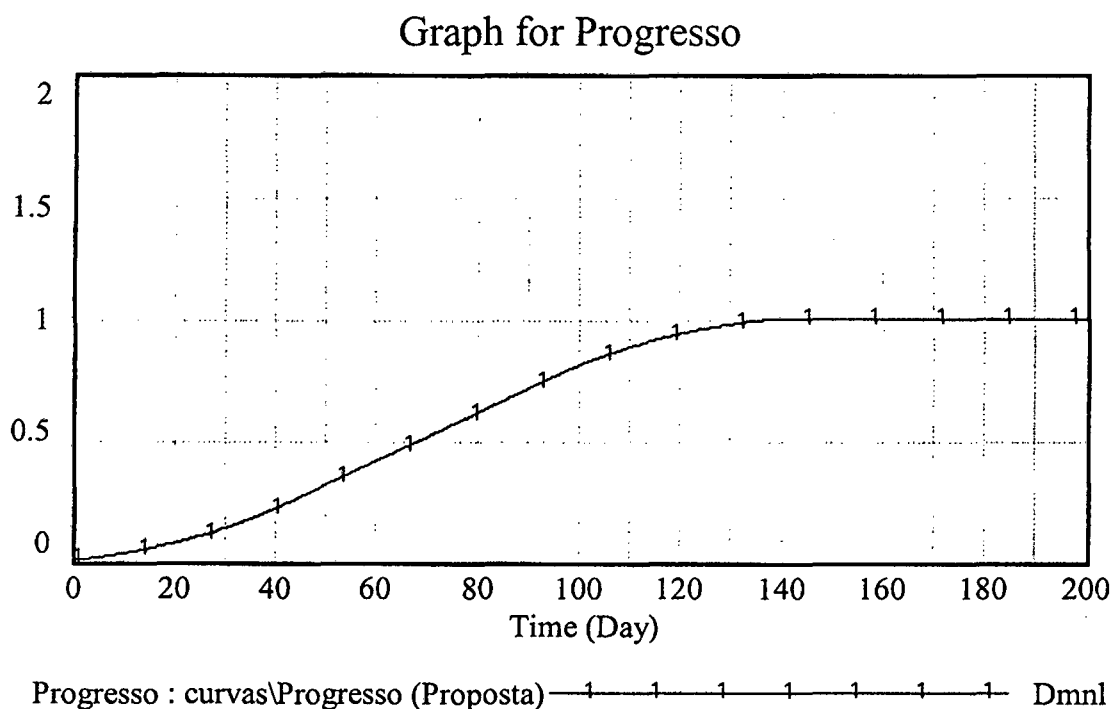


Esquema 20 - Modelo Básico - Fundamentos da Proposta

Os retângulos representam as variáveis de estado, os símbolos de válvula representam as taxas de transformação das variáveis de estado e as demais são as variáveis auxiliares, em azul e as constantes, ou dados de entrada do projeto, em verde.

Os recursos humanos disponíveis e a equipe mínima indicam a máxima e a mínima capacidade de trabalho da equipe de engenharia para execução das atividades. A variável “Projeto concluído?” indica o momento em que o trabalho concluído atinge seu nível final igual ao da definição inicial do projeto. Neste momento o trabalho em execução assume valor zero e o processo pára.

A variável “Progresso” mostra a porcentagem do trabalho concluído a cada momento e possui a característica de uma curva “S”, como podemos ver no Gráfico 2. Esta curva foi baseada na curva de evolução da fase de engenharia estimada para o Projeto “M” durante a fase de proposta. A calibração do formato da



**Gráfico 2 - Curva S de evolução do projeto**

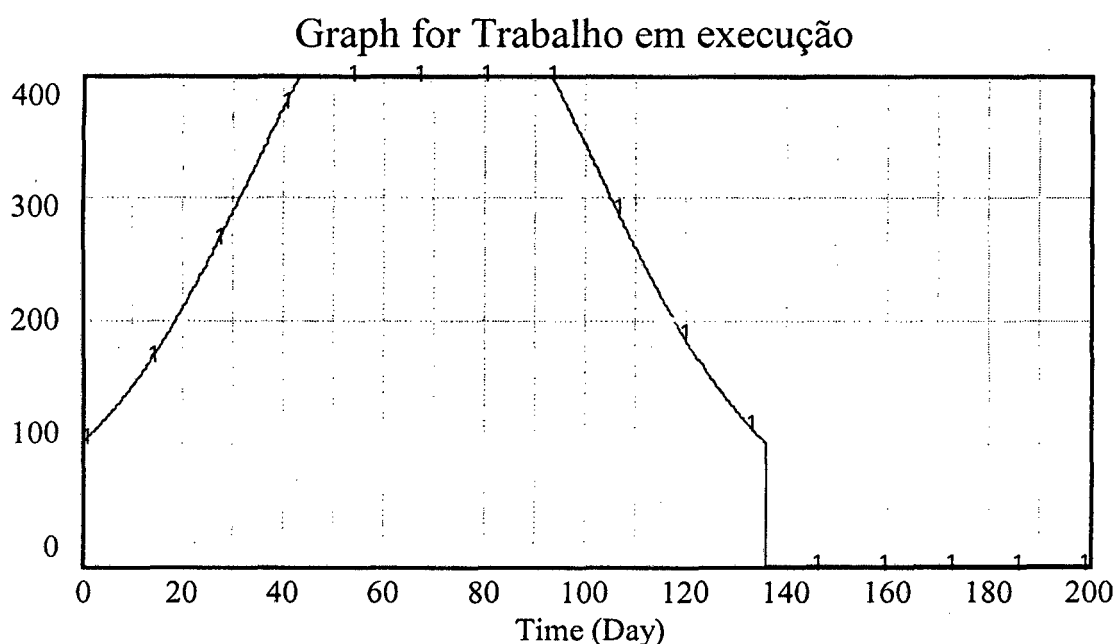
curva é feita através da variável “ajuste”, que, uma vez definida, permanecerá inalterada até o modelo final.

Durante a fase de preparação da proposta, numa tentativa de alcançar o melhor prazo previsto para superar a concorrência, é comum se pécár por um excesso de otimismo. A equipe estima o tempo necessário para execução das atividades sem considerar interferências internas ou externas, ou seja, apenas a situação hipotética ideal. Ao final é acrescentada uma contingência que deverá ser a mínima possível e está baseada mais na percepção do vendedor com relação ao prazo que o cliente aceitará do que no histórico da ineficiência inerente ao processo. No caso do projeto parte das contingências foi consumida durante a fase de negociação, tornando a situação ainda pior.

O trabalho em execução mostra tanto a taxa de transformação do trabalho como, numa interpretação mais concreta, o tamanho da equipe necessária para execução do projeto a cada momento. A capacidade máxima de 400 HH/d dos recursos humanos disponíveis equivale a uma equipe de cinquenta engenheiros trabalhando oito horas por dia. Este era aproximadamente o tamanho da equipe de engenharia trabalhando no projeto “M”, nas três bases (Brasil, Inglaterra e Noruega)

durante a fase de maior intensidade do projeto. A equipe mínima foi considerada como sendo de 12,5 pessoas trabalhando oito horas, ou seja, 100 HH/d.

O Gráfico 3 mostra como varia esta demanda por mão de obra de engenharia durante o projeto. Normalmente este gráfico teria, em sua parte central, uma forma parabólica caso não houvesse a limitação de recursos e tenderia lentamente a zero, não fosse pela imposição de uma equipe mínima.



Trabalho em execução : curvas\Progresso (Proposta) — HH/dia

Gráfico 3 - Trabalho em execução ou demanda de recursos de engenharia durante o projeto

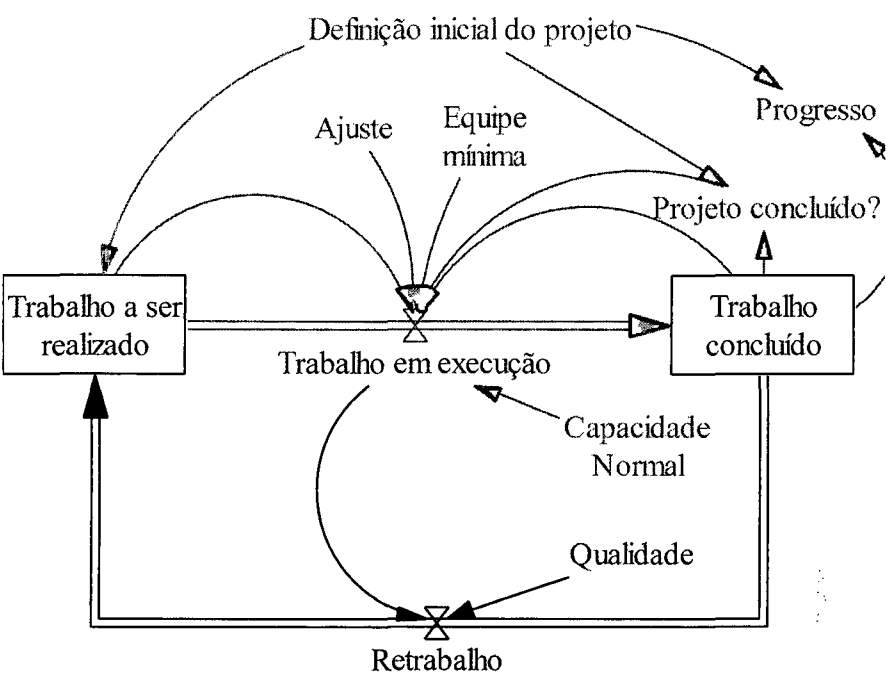
Com esta carga de trabalho e distribuição de recursos ao longo do projeto, o prazo estimado para conclusão dos trabalhos seria de 136 dias. A Tabela 2 ao final da seção 5.8 compara os resultados relevantes de todas as fases de desenvolvimento do modelo antes da introdução dos disparadores.

## 5.2. O Ciclo de Retrabalho

O modelo do projeto é complementado agora com o conceito de retrabalho, no qual se reconhece o efeito da qualidade. Parte do trabalho concluído

é retornado ao estoque de trabalho a ser executado devido à geração de erros durante o processo de desenvolvimento do projeto, que exigem retrabalho para corrigi-los. O conceito de qualidade aparece, portanto como sendo o trabalho executado corretamente dividido pelo trabalho executado.

No Esquema 21, pode-se ver a representação do ciclo de retrabalho. A taxa de retrabalho é dada pelo trabalho em execução multiplicado pelo complemento



Esquema 21 - O ciclo de retrabalho

da qualidade, ou seja, a porção de geração de erro. Neste modelo, a qualidade é considerada constante e foi utilizado o valor de 93%. Este é um valor empírico estimado pela Engenharia como sendo a melhor taxa média de revisões em documentos de projeto, quando os níveis de pressão interna e externa são os menores possíveis. Assim, este valor foi considerado como o valor máximo da qualidade. Ou seja, a taxa de 7% seria o erro inerente ao processo de desenvolvimento da engenharia. Mais adiante, o modelo será mais elaborado considerando a variação da qualidade em função de fatores endógenos e exógenos.

Neste diagrama do modelo, assim como em todos os seguintes, estão representados em cor os elementos que foram acrescentados ou alterados em relação à versão anterior. Em cinza estão os elementos que permanecem inalterados.



Neste modelo, devido a existência do retrabalho, a conclusão dos trabalhos da engenharia ocorre, como esperado, num prazo maior que no modelo anterior. Agora, o tempo para execução do projeto passa a ser de 146 dias. Dez dias a mais do que na situação sem a geração de erros. Veja o Gráfico 4 do trabalho em execução do modelo considerando o retrabalho.

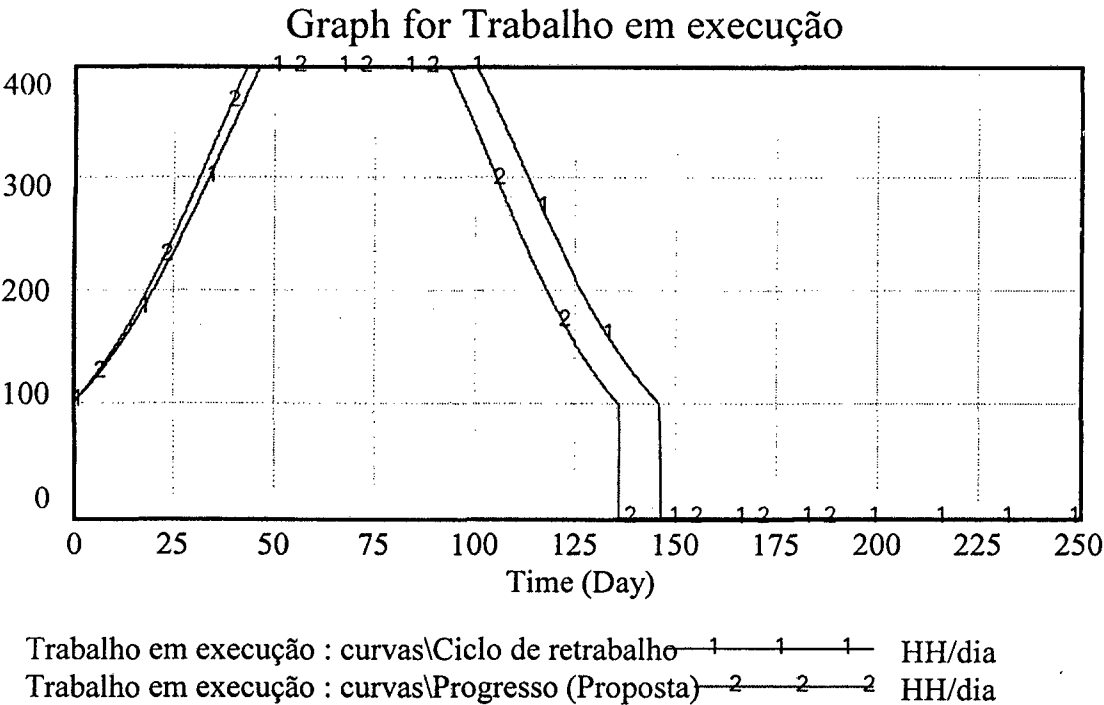
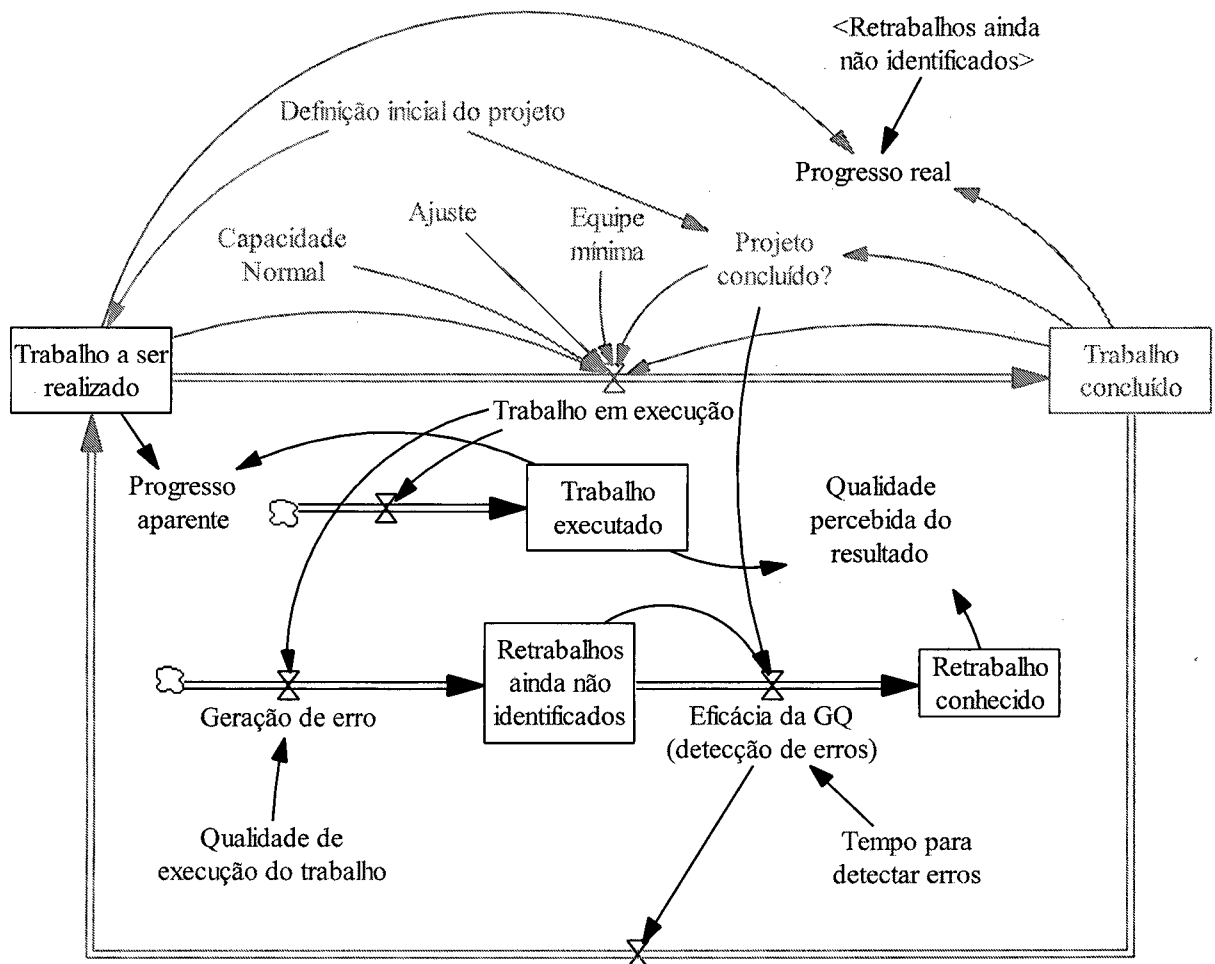


Gráfico 4 - Trabalho em execução considerando a ocorrência de retrabalho

**5.3. O Retrabalho Não Identificado**

No estágio seguinte de sofisticação do modelo, é introduzido o conceito de atraso na identificação do retrabalho. Ou seja, diferentemente de como foi expresso no modelo anterior, existe um espaço de tempo entre a geração do erro e a sua identificação. Este é um conceito importante, pois quanto mais se demora em encontrar um erro de projeto, maior podem ser as consequências por ele geradas em termos da extensão do retrabalho requerido para corrigi-lo.

Assim, os erros gerados são armazenados sob a forma de retrabalho ainda não identificado e são transformados em retrabalho conhecido de acordo com a eficácia da Garantia da Qualidade na identificação de erros. O atraso utilizado neste modelo é de primeira ordem, ou seja, o fluxo de saída (eficácia da GQ) é proporcional à variável de estado (retrabalhos ainda não identificados), tendo como fator de proporcionalidade o inverso do tempo para detectar erros que é o tempo médio de demora para a identificação do retrabalho, e que neste caso é de sessenta dias. O Esquema 22 apresenta o ciclo de retrabalho considerando a parcela não reconhecida do mesmo.



Esquema 22 - Ciclo considerando o retrabalho não identificado

Como existe uma parcela do trabalho executado que terá que ser refeita, da qual ainda não se tem conhecimento, o conceito de progresso do trabalho deverá ser mais especificado. Portanto, haverá o progresso real e o progresso aparente. O

primeiro não pode ser medido durante a execução do projeto, pois incorpora o retrabalho ainda não identificado como parte do trabalho a ser realizado. Por outro lado, o segundo, que é o progresso percebido e medido pela equipe de projeto considera o retrabalho ainda não identificado como trabalho concluído.

Da mesma maneira, a qualidade de execução do trabalho será diferente daquela medida reportada pela equipe de projeto, pois a qualidade percebida do resultado não reconhece o retrabalho ainda não identificado. Mais adiante veremos que as decisões de projetos são baseadas nas percepções da equipe com relação ao progresso e à qualidade, e não em seus respectivos valores reais.

Quando este modelo é utilizado para a simulação do projeto, verifica-se que o tempo requerido para a conclusão dos trabalhos é um pouco menor que no caso anterior. De fato como vemos no Gráfico 5, o projeto é considerado concluído depois de 143 dias, em lugar de 146, como anteriormente.

Este resultado ocorre devido ao fato de que quando o projeto é considerado concluído ainda existem retrabalhos que a equipe de projeto não teve

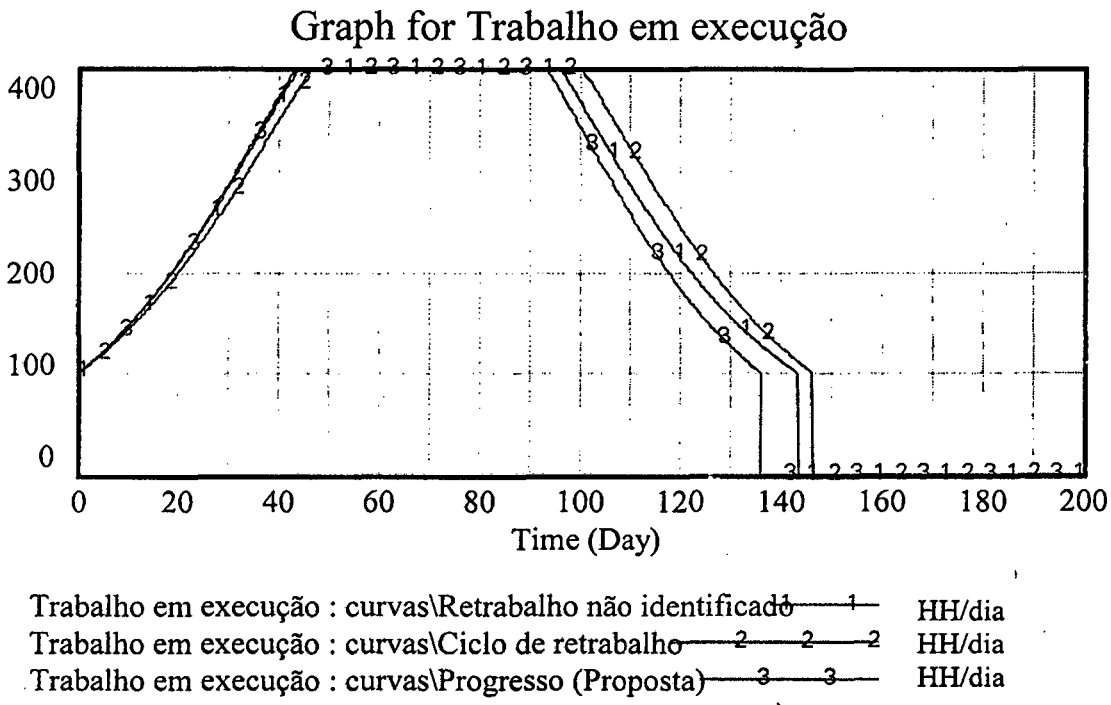
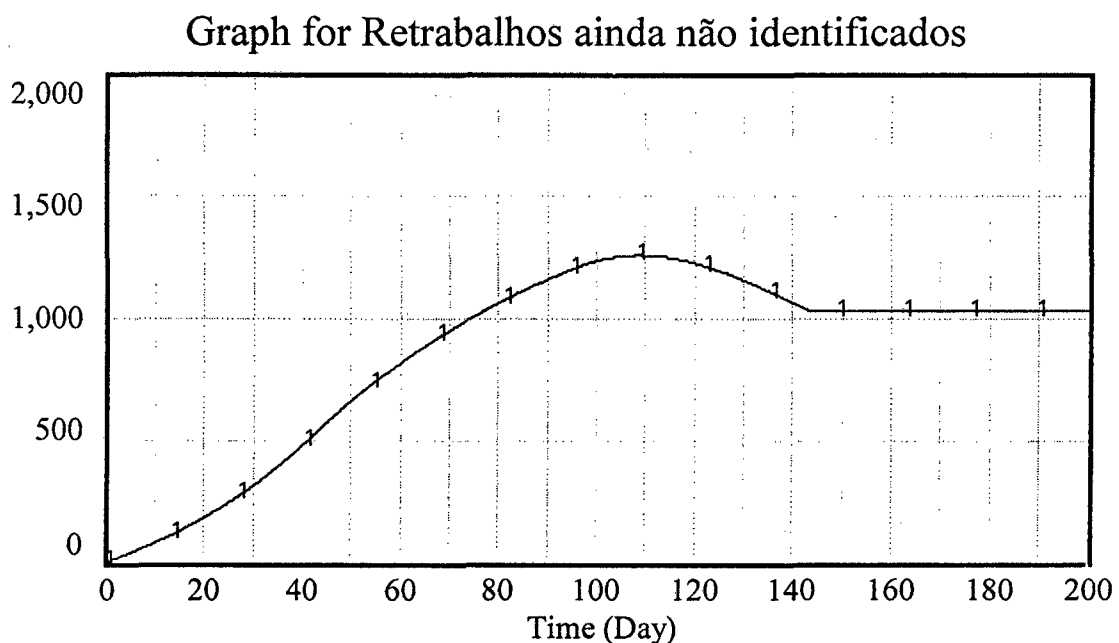


Gráfico 5 - Trabalho em execução com e sem a consideração de retrabalhos não identificados.

tempo de identificar. Estes retrabalhos vão aparecer posteriormente, nas fases de fabricação, montagem ou testes do equipamento e poderá ter consequências bastante negativas para o progresso. No entanto, o escopo desta modelagem limita-se à fase de engenharia e, portanto medimos o quanto de retrabalho será passado para as fases posteriores.

O Gráfico 6, mostra que no momento em que o projeto de engenharia é considerado concluído, ainda restam 1027 HH de retrabalhos não identificados.



Retrabalhos ainda não identificados : curvas\Retrabalho não identificado 1 HH

Gráfico 6 - Retrabalhos ainda não identificados

Para efeito de comparação dos diversos modelos, poderemos considerar a hipótese de que este montante de retrabalho no final do projeto, quando a equipe de engenharia é a equipe mínima (100 HH/d), seja identificado de uma só vez e durante a sua execução não sejam gerados mais erros. Assim, seriam necessários aproximadamente mais 10 dias para concluir o restante dos retrabalhos. O total ajustado seria então de 153 dias.

#### 5.4. O Moral da Equipe de Engenharia

Nesta fase de modelagem, será introduzida a contagem de tempo para que se possa verificar o atraso e modelar suas influências sobre os demais parâmetros. O cronograma acordado indica o estoque de dias contratualmente disponível para a execução do projeto. O cronograma inicial equivale ao prazo constante na proposta, e será utilizado o valor obtido na primeira simulação, que representava o modelo mental utilizado na elaboração da proposta (ver seção 5.1), ou seja 136 dias.

O progresso real e o progresso aparente, comparados com a porcentagem já decorrida do prazo disponível, fornecerão os valores do atraso real e do atraso previsto, respectivamente.

O moral da equipe de engenharia é uma variável adimensional, que indica a motivação do grupo. Esta é uma quantia difícil de ser mensurada por depender muito da percepção de cada indivíduo. Neste modelo foi considerado que este fator pode variar entre zero e um e influenciará diretamente a qualidade e execução do trabalho e a produtividade. Quanto maior o moral da equipe, maior será o aproveitamento do tempo útil de trabalho e menos erros serão gerados.

O moral da equipe de engenharia é influenciado pelo progresso aparente, quanto mais próximo do final, mais estimulada estará a equipe para concluir o trabalho, como mostrado no Esquema 23. A qualidade percebida também afeta positivamente o ânimo do grupo, pois, quanto menor for a quantidade de erros gerados, maior será a confiança no trabalho que está sendo realizado. No entanto, o atraso previsto prejudica o moral da equipe, que passa a ter a sensação de que seus esforços não estão surtindo o efeito desejado.

Além de depender do moral da equipe de engenharia, a qualidade de execução do trabalho é influenciada também pela quantidade de retrabalho conhecido em comparação com a definição inicial do projeto. Quanto maior esta porcentagem, maior serão as conseqüências dos retrabalhos no restante do projeto e mais erros poderão ser gerados, criando-se assim um ciclo de realimentação positiva, ou círculo vicioso.



dependente apenas do moral da equipe. Em condições normais, existe uma improdutividade inerente às limitações do processo e do ser humano. Das oito horas de trabalho de um indivíduo, nem todas são utilizadas diretamente na execução do trabalho do projeto. Parte é perdida em procedimentos internos, como reuniões de departamento, apontamento de horas, manutenção de computadores, instalação de *softwares*, pausas para descanso, etc. No entanto, esta improdutividade normal está inclusa na estimativa inicial do tempo requerido para execução de uma determinada atividade. No modelo, a produtividade nesta situação seria então unitária.

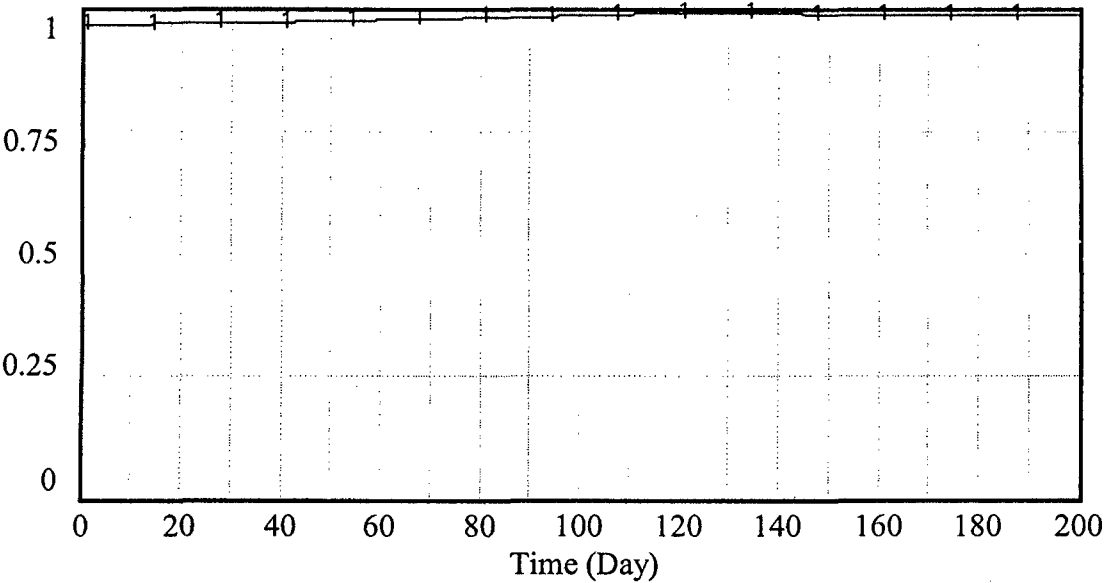
Quando o moral da equipe cai e, com ela a motivação para o trabalho, a produtividade cai proporcionalmente. Foi estimado empiricamente, que na situação extrema, em que o ânimo da equipe estava mais baixo, apenas 40% do tempo disponível era efetivamente utilizado com trabalho produtivo. Os 60% restantes eram gastos com reuniões para estabelecer planos de ação para recuperar atraso, soluções para corrigir erros de projeto ou simplesmente o trabalho era executado mais lentamente devido ao menor empenho da equipe.

Com esta nova estrutura do modelo, os resultados encontrados foram os seguintes: o tempo requerido para a conclusão do projeto foi de 146 dias, ficando ocultas 1092 HH de retrabalho. O que resultaria em um total ajustado de 157 dias.

O resultado diferiu pouco do modelo anterior, uma vez que o Moral da equipe de engenharia permaneceu quase constante e próximo da unidade (veja Gráfico 7), e conseqüentemente, a qualidade de execução do trabalho e a produtividade também não se alteraram muito em relação ao modelo anterior. De fato, em condições ideais em que não há pressões internas ou externas para que o cronograma seja respeitado, o ânimo da equipe é pouco variável. Veremos mais adiante que quanto mais o modelo se aproxima da realidade, maior a variação deste fator.

Por outro lado, nota-se uma diferença marcante entre as curvas do atraso percebido e do atraso real. O primeiro é calculado a partir da diferença entre o progresso programado na proposta e o progresso percebido durante o projeto. Vemos no Gráfico 8 que o atraso previsto cresce até pouco antes do centésimo dia e a partir daí cai. Isto ocorre devido ao fato de a curva de progresso da proposta começar a se aproximar da conclusão e, portanto, seu crescimento diminui, reduzindo sua diferença para a curva de progresso percebido.

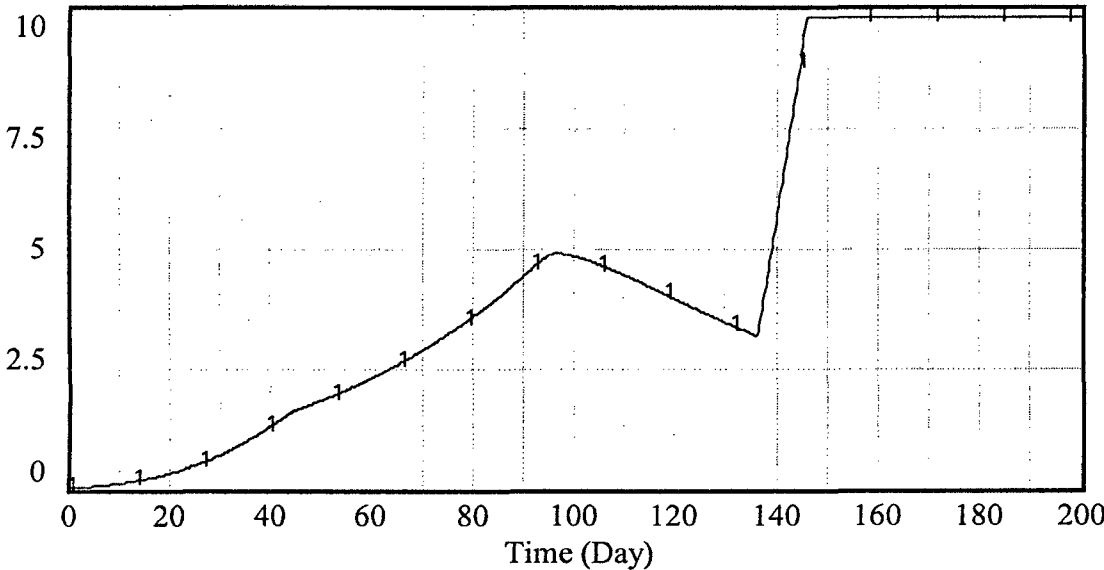
Graph for Moral da equipe de engenharia



Moral da equipe de engenharia : curvas\Moral da equipe 1 1 1 1 Dmnl

Gráfico 8 - Moral da equipe de engenharia

Graph for Atraso Previsto



Atraso Previsto : curvas\Moral da equipe 1 1 1 1 1 1 1 Dia

Gráfico 7 - Atraso Previsto



No momento em que o prazo contratual termina, à previsão de atraso vão se somando os dias efetivos de atraso que vão se acumulando. Assim, a curva volta a crescer. É importante lembrar que a equipe de projeto não tem consciência da existência do retrabalho não identificado, daí a origem do erro de previsão.

Por outro lado, para se chegar ao atraso real, calcula-se o tempo necessário para concluir o trabalho a ser realizado acrescido do retrabalho ainda não identificado.

No Gráfico 9, nota-se que o valor final do atraso real, no momento de conclusão do projeto, é de aproximadamente 21 dias. Acrescentando-se este atraso ao prazo estimado na proposta, 136 dias, temos o total de 157 dias, como vimos anteriormente no total ajustado.

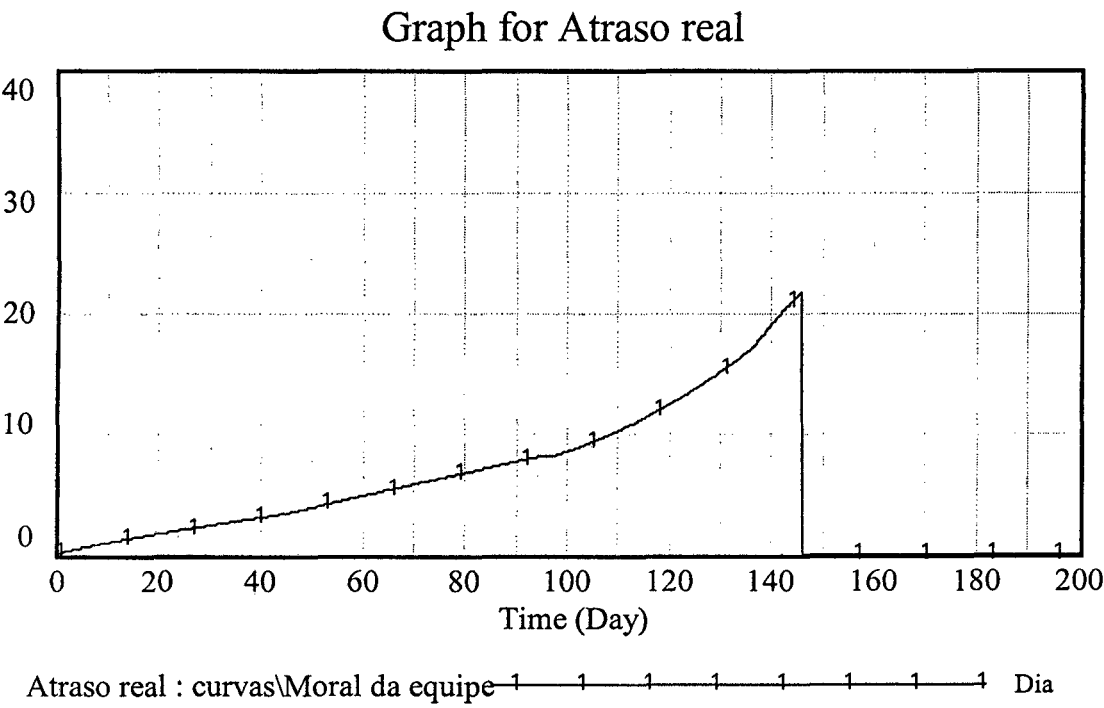


Gráfico 9 - Atraso real

### 5.5. A Pressão Interna para Cumprir o Cronograma

Até o momento, o modelo de simulação descreve uma equipe de projeto passiva diante da ocorrência do atraso. Nenhuma ação é tomada no sentido de tentar reverter a discordância entre o cronograma proposto e o progresso medido. Nesta seção e nas três subseqüentes, serão introduzidos os fatores de tomada de decisão.

O primeiro deles é a pressão interna para cumprir o cronograma. Esta é uma variável adimensional que varia entre zero e um e cresce com o atraso percebido em relação ao cronograma inicial e com a intolerância do cliente a ajustes no cronograma. Por outro lado, quando a qualidade percebida melhora, a pressão para cumprir o cronograma diminui (veja no Esquema 24 como estes elementos foram modelados).

A título de exemplo, a fórmula da pressão para cumprir o cronograma será detalhada abaixo. Os demais fatores adimensionais possuem estrutura de média ponderada semelhante a esta e, juntamente com os outros elementos, têm suas fórmulas descritas no Apêndice.

$$P_c = f(A_p/C_{ri}, I_c, Q_p) \quad (1)$$

Onde:

$P_c$  = Pressão interna para cumprir o cronograma

$A_p$  = Atraso previsto

$C_{ri}$  = Cronograma inicial

$I_c$  = Intolerância do cliente a ajustes no cronograma

$Q_p$  = Qualidade percebida do resultado

A composição numérica de uma variável tão subjetiva como esta, foi feita através da média ponderada, de acordo com a importância, das contribuições isoladas de cada fator que altera a pressão interna para cumprir o cronograma, como em (2):

$$P_c = \frac{3 \cdot P_c(A_p/Cri) + 2 \cdot P_c(I_c) + P_c(Q_p)}{6} \quad (2)$$

Onde:

$$\begin{aligned} P_c(A_p/Cri) &= 0 & p/ A_p \leq 0 \\ &= 1 & p/ A_p \geq 0,5 \cdot Cri \\ &= \frac{2 \cdot A_p}{Cri} & p/ 0 < A_p < 0,5 \cdot Cri \end{aligned} \quad (3)$$

$$P_c(I_c) = I_c \quad (4)$$

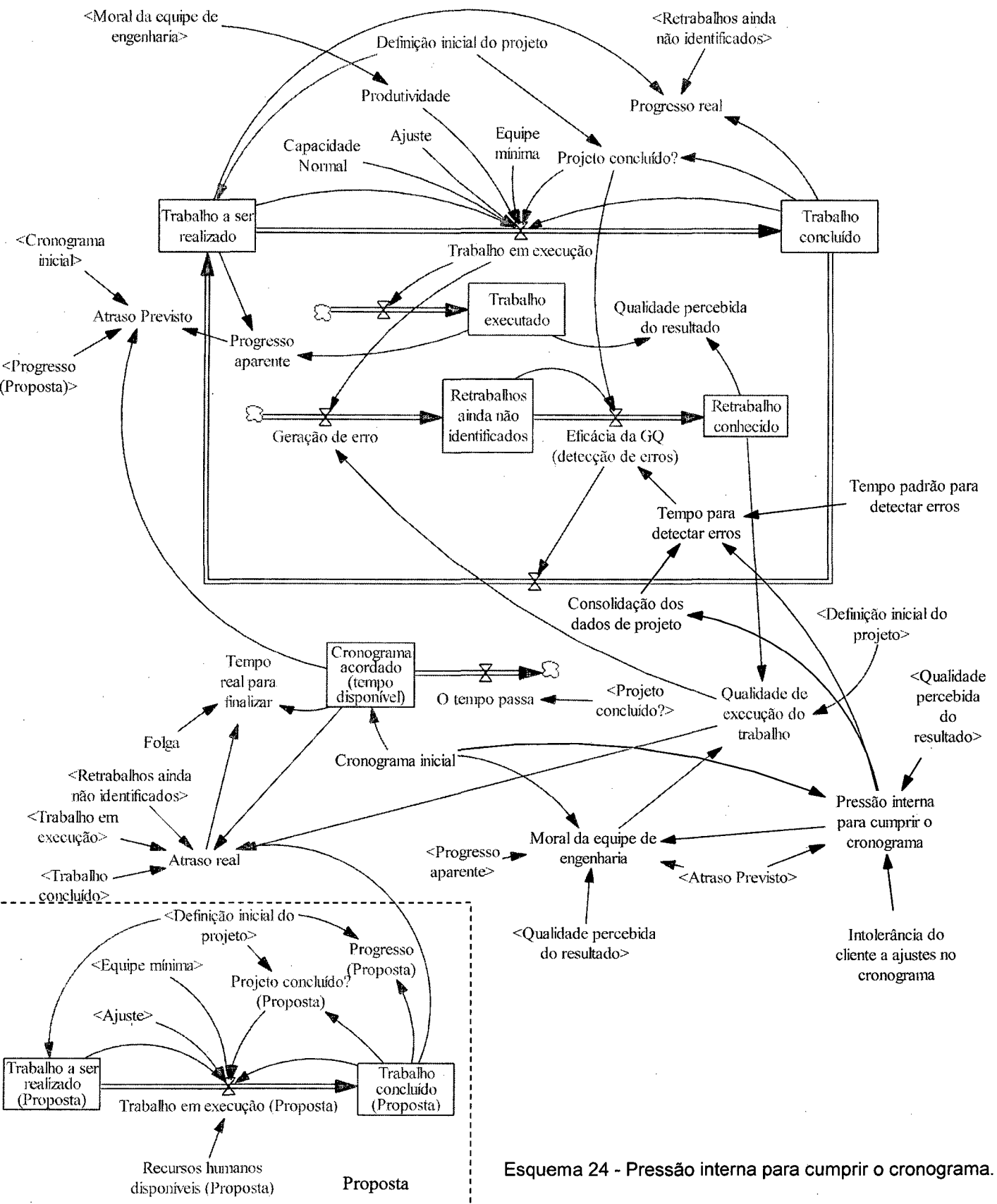
$$P_c(Q_p) = 1 - Q_p \quad (5)$$

Estas fórmulas são empíricas e foram criadas a partir de informações obtidas através de diversas entrevistas com o pessoal envolvido diretamente no projeto. Segundo eles, a pior situação concebível de atraso seria quando este fosse aproximadamente metade do prazo inicialmente previsto. Após este ponto, o atraso seria tão grande que haveria uma certa resignação, ou seja, qualquer pressão além da já existente não seria mais efetiva.

A pressão para cumprir o cronograma é diretamente proporcional à intolerância do cliente aos ajustes no cronograma. Quanto maior a disposição do cliente em aceitar dilatações no prazo de entrega, menor será a urgência em cumprir o cronograma estabelecido, já que seria possível uma negociação. Por outro lado, a pressão diminui com a melhoria da qualidade. Algo como: “de fato estamos atrasados, mas em compensação o serviço está sendo realizado com qualidade!”

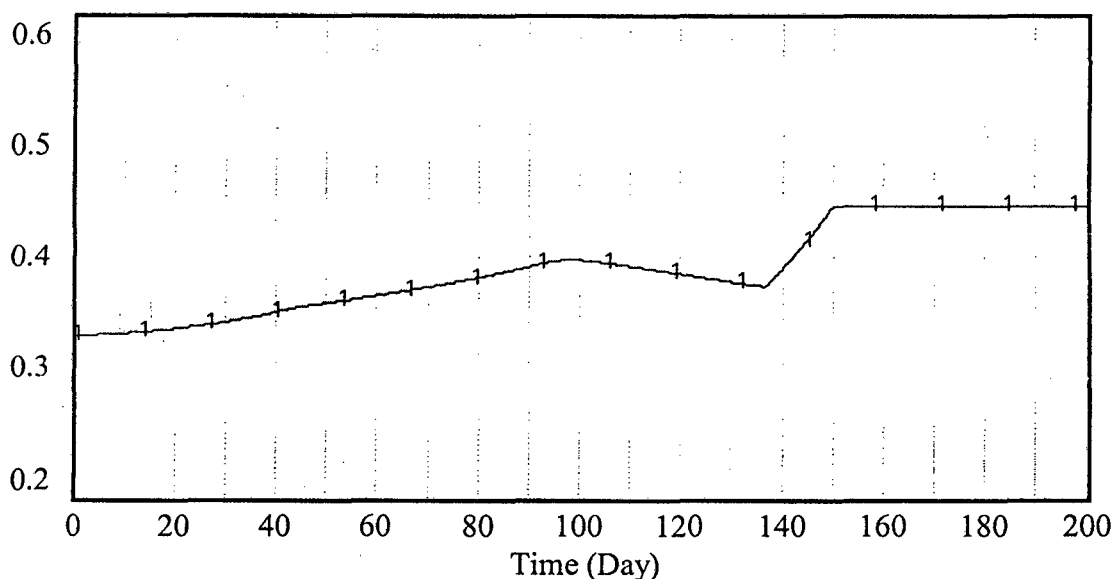
Os pesos da média ponderada das influências parciais também foram obtidos através de conversas com o pessoal envolvido no projeto, quando os entrevistados foram solicitados para ordenar os fatores de acordo com a maior ou menor influência.

O Gráfico 10 mostra a evolução da pressão para manter o cronograma. Vemos que a forma da curva assemelha-se à da curva do atraso previsto. Isto ocorre pelo fato de a qualidade percebida ainda apresentar uma variação muito pequena (entre 1 e 0,95) e da intolerância do cliente a ajustes no cronograma ser considerada, neste modelo, constante e unitária.



Esquema 24 - Pressão interna para cumprir o cronograma.

Graph for Pressão interna para cumprir o cronograma



Pressão interna para cumprir o cronograma : curvas\Pressão Cronograma— Dmnl

Gráfico 10 - Pressão interna para manter o cronograma

A pressão da gerência do projeto para manter o cronograma influenciará a princípio três fatores: a consolidação dos dados de projeto, o tempo para detectar erros e o moral da equipe de engenharia. Mais adiante serão introduzidos mais fatores dependentes da pressão para cumprir o cronograma.

Durante o desenvolvimento de um projeto, existe a necessidade de troca de informações entre as diversas equipes que trabalham em áreas diferentes. Os engenheiros que desenvolvem a estrutura do equipamento necessitam de informações da equipe de tubulações sobre as cargas envolvidas. A equipe de tubulações aguarda os dados vindos da equipe de processos sobre as vazões e pressões do sistema. O grupo de processos necessita de informações do cliente, e assim sucessivamente.

A elaboração do cronograma durante a fase de planejamento pressupõe um certo nível de consolidação dos dados que cada etapa do projeto necessitará. Projetos complexos como o do sistema de *manifold*, não poderiam ser desenvolvidos considerando que uma fase inicia-se quando uma precedente está totalmente concluída, garantindo total consolidação dos dados. Além de uma seqüência serial de atividades demandar um tempo maior do que quando existe um certo grau de

paralelismo, a natureza interativa de projetos complexos exige a convivência com níveis de consolidação dos dados inferiores à unidade. Uma fase do projeto gera informações para a etapa seguinte cuja saída de dados auxiliará a primeira a refinar os seus resultados, num processo conhecido como espiral de projeto.

No mundo das idéias, onde a proposta técnico-comercial foi concebida, o projeto fluiria sem que houvesse desvios do planejamento preestabelecido. Entretanto, no mundo real, quando as divergências do que havia sido pressuposto começam a aparecer, a gerência do projeto pressionará para que sejam aceitos níveis de consolidação dos dados menores que aqueles com que cada fase do projeto normalmente trabalha. Isto é feito com o intuito de poder adiantar fases posteriores ou seguir mesmo que informações necessárias provenientes de etapas anteriores estejam atrasadas.

A partir desta etapa de desenvolvimento do modelo, a consolidação dos dados do projeto será um fator adimensional que varia entre meio e um. A unidade seria o nível de consolidação previsto na proposta técnico-comercial e com base no qual o cronograma original foi criado e ocorre quando não há pressão alguma para cumprir o cronograma. Entretanto, quando esta for máxima, a consolidação aceita será metade da prevista inicialmente.

A simulação do modelo com a estrutura descrita nesta seção mostrou pouca variação do nível de consolidação dos dados do projeto (entre 0,944 e 0,926). Este resultado está de acordo com a realidade, uma vez que, a maior influência sobre este fator é externa, como veremos mais adiante.

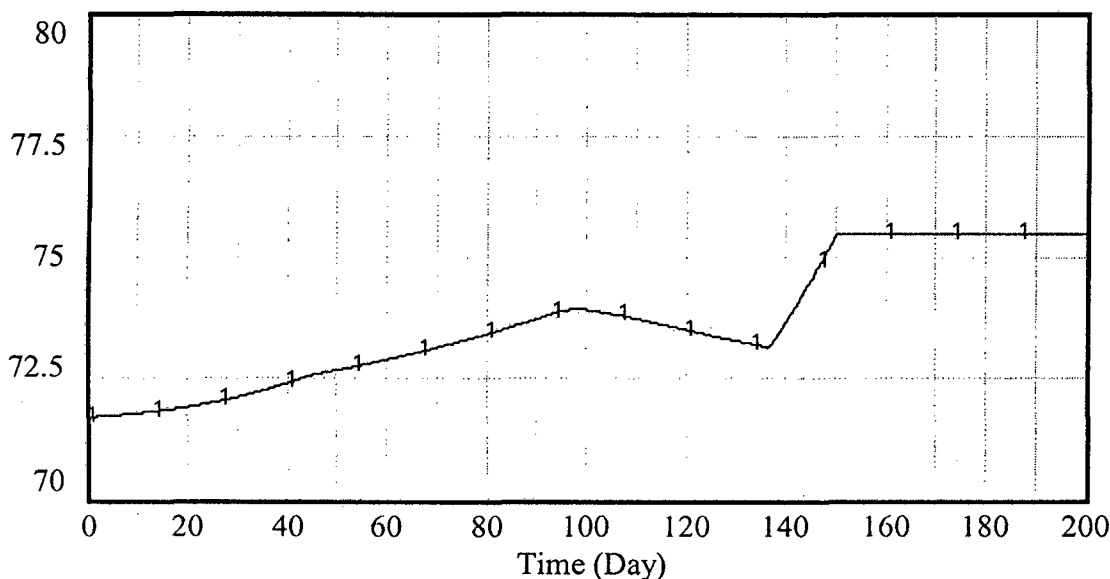
Com a urgência da gerência do projeto para que o atraso seja recuperado, a Garantia da Qualidade é pressionada para que as revisões dos desenhos sejam liberadas o mais rapidamente possível. Desta maneira, o trabalho de procura de erros é acelerado e sua eficácia cai. No modelo, esta situação foi representada através da influência da pressão para manter o cronograma sobre o tempo para detectar erros. Quanto maior a pressão, maior a demora para que os erros sejam evidenciados.

O nível de consolidação dos dados do projeto também influencia o tempo para detecção de erros. Quando o trabalho é realizado a partir de dados não consolidados que vão ser alterados posteriormente, maior será a possibilidade de geração de erros e maior será o trabalho e o tempo requerido para que a Garantia da Qualidade os identifique.

Como o nível de consolidação dos dados do projeto varia pouco na simulação deste modelo, a curva do tempo para detectar erros assemelha-se àquela da pressão para manter o cronograma, como pode ser verificado no Gráfico 11.

O tempo padrão para detectar erros foi estimado em sessenta dias,

Graph for Tempo para detectar erros



Tempo para detectar erros : curvas\Pressão Cronograma — 1 — 1 — 1 — 1 Dia

Gráfico 11 - Tempo para detectar erros

tomando-se por base a média do tempo entre cada revisão dos documentos gerados. Sobre este tempo padrão são acrescentadas as influências do nível de consolidação dos dados de projeto e da pressão para manter o cronograma.

A terceira influência da pressão para cumprimento do cronograma será sobre o moral da equipe de projeto. O stress gerado pela cobrança da gerência do projeto por mais resultados com o tempo afetará o ânimo dos membros da equipe, prejudicando a qualidade e a produtividade do trabalho.

Nesta simulação o moral da equipe variou pouco, permanecendo em torno de 0,93. No modelo final veremos que este fator é influenciado por nove outros. Porém, até o momento só foram modelados quatro: Progresso aparente, qualidade percebida, atraso previsto e pressão para cumprimento do cronograma. Assim, os demais fatores que aqui são considerados constantes e unitários ainda são mais preponderantes.

A simulação do modelo considerando a estrutura como descrita até este momento indica que o tempo requerido para conclusão do projeto será de 150 dias, restando um volume de retrabalho não reconhecido de 1428 HH. O tempo ajustado para conclusão seria então de 164 dias.

## 5.6. As Horas Extras

O próximo recurso que a gerência dispõe para interferir no andamento do projeto e tentar reverter a ocorrência do atraso é a liberação do trabalho da equipe de engenharia em horas extraordinárias. Esta é uma maneira de aumentar os recursos humanos disponíveis em termos de homem-horas por dia.

A liberação da execução de trabalho em regime de horas extras é uma das primeiras ações tomadas pela gerência do projeto e foi modelada como ocorrendo a partir do momento em que a pressão interna para cumprir o cronograma ultrapassa o valor de 0,2. A modelagem foi feita considerando os recursos humanos disponíveis como sendo uma variável de estado que é modificada pelas horas extras. Ou seja, os recursos humanos seriam um estoque de capacidade máxima de trabalho que inicia com a capacidade normal de trabalho, definida pela quantidade de pessoas na equipe, multiplicada pela quantidade de horas normais trabalhadas por dia. As horas extras aumentam esta capacidade de trabalho até o momento que a equipe trabalha cinquenta por cento a mais que a carga normal, ou seja doze horas por dia. O Esquema 25 mostra como a introdução de horas extras foi modelada.

O efeito da disponibilização de trabalho em horas extraordinárias pode ser visto no Gráfico 12. O topo da curva, que é limitado pela capacidade de recursos humanos disponíveis, toma uma forma inclinada já que este limite é crescente devido à utilização das horas extras.

O resultado, como vemos, é que o tempo requerido para a conclusão do projeto será reduzido, já que a taxa com que o trabalho a ser realizado é transformado em trabalho concluído aumentou. Agora, são necessários 128 dias para que o nível de trabalho concluído atinja o número de homem-horas estipulado na definição inicial do projeto.



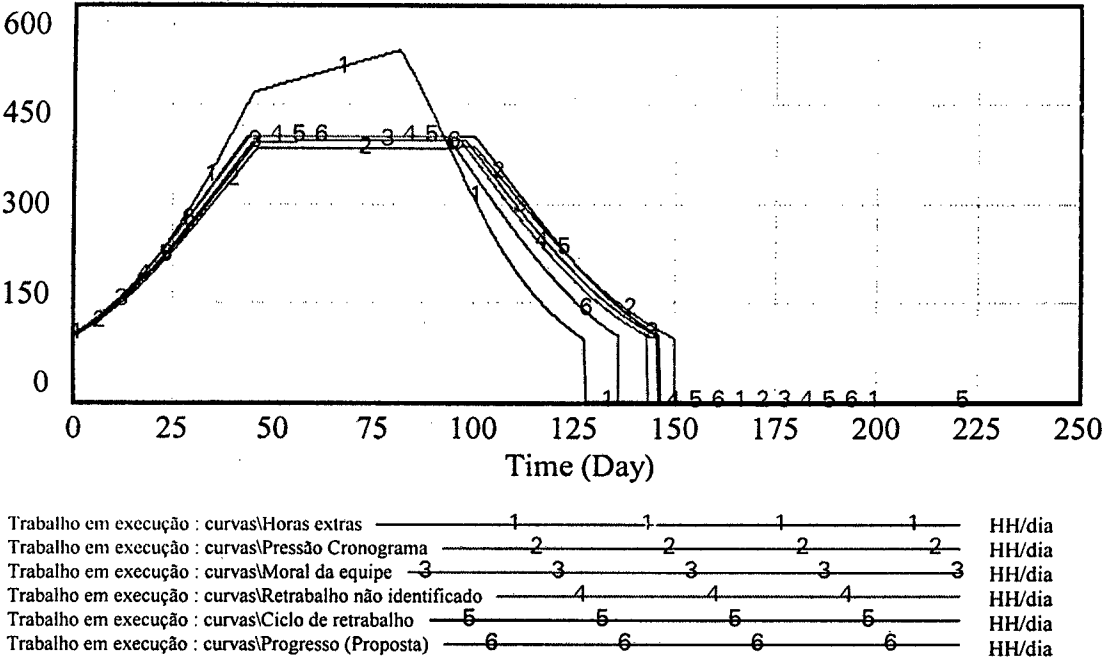
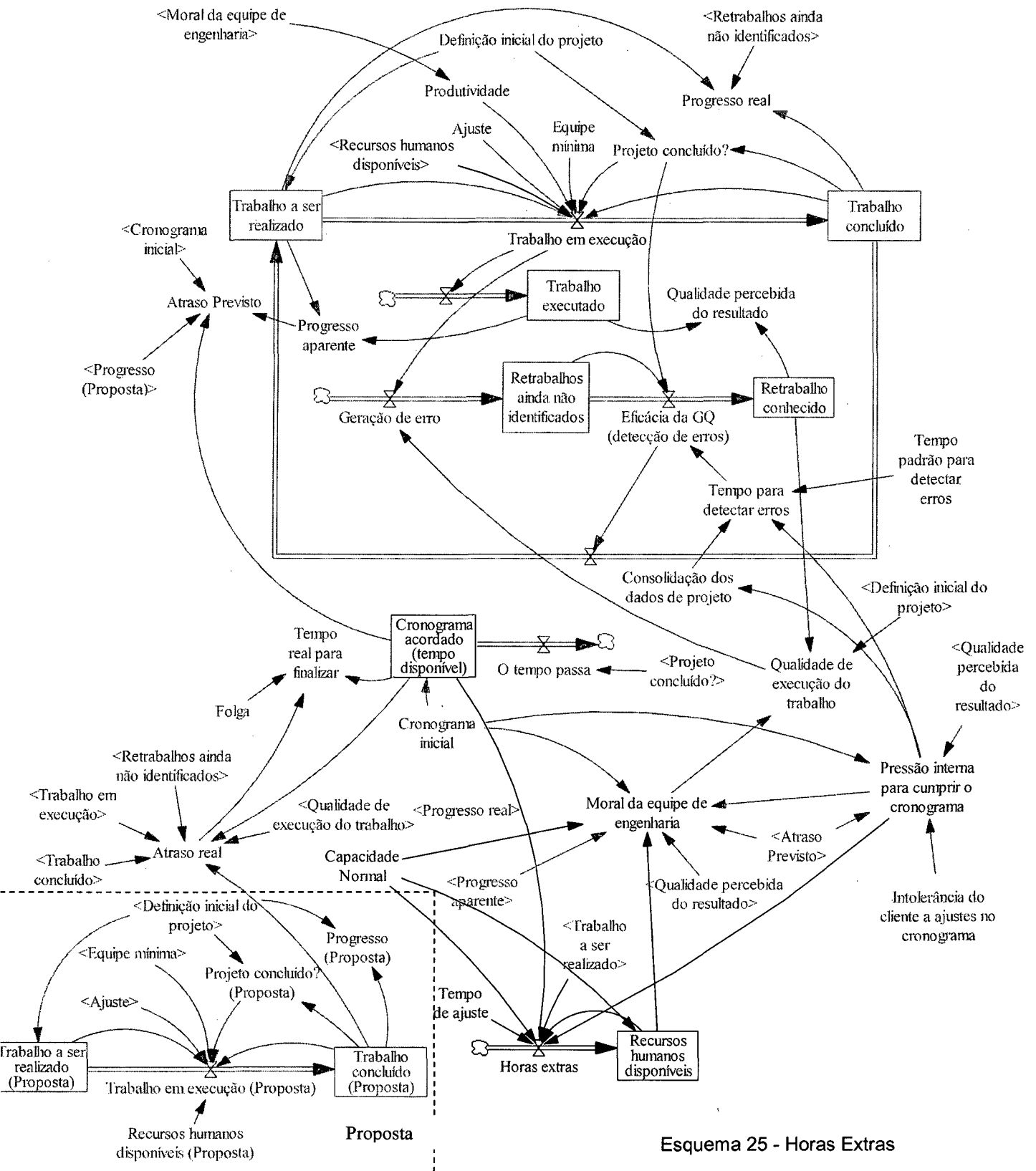


Gráfico 12 - Trabalho em execução considerando a utilização de horas extras

Por outro lado, o trabalho em regime de horas extraordinárias afetará o moral da equipe de engenharia no sentido de que, com o passar do tempo, o cansaço afetará a qualidade do trabalho devido à maior geração de erros. Assim, o retrabalho não identificado aumentará. O resultado da simulação mostrou que no momento em que o projeto é considerado concluído existem ainda 1902 HH de retrabalho ainda não identificado.

O tempo corrigido para conclusão do projeto será então de 147 dias, lembrando que este tempo é apenas para efeito de comparação e considera que o retrabalho não identificado será executado pela equipe mínima de projeto, sem a geração de novos erros (qualidade da execução dos trabalhos igual a um).

Portanto, apesar do aumento de retrabalho não identificado, a liberação do trabalho em horas extras resultou numa diminuição do tempo requerido para a execução do projeto. No modelo sem horas-extras, o tempo corrigido era de 164 dias.



Esquema 25 - Horas Extras

## 5.7. Os Ajustes no Cronograma

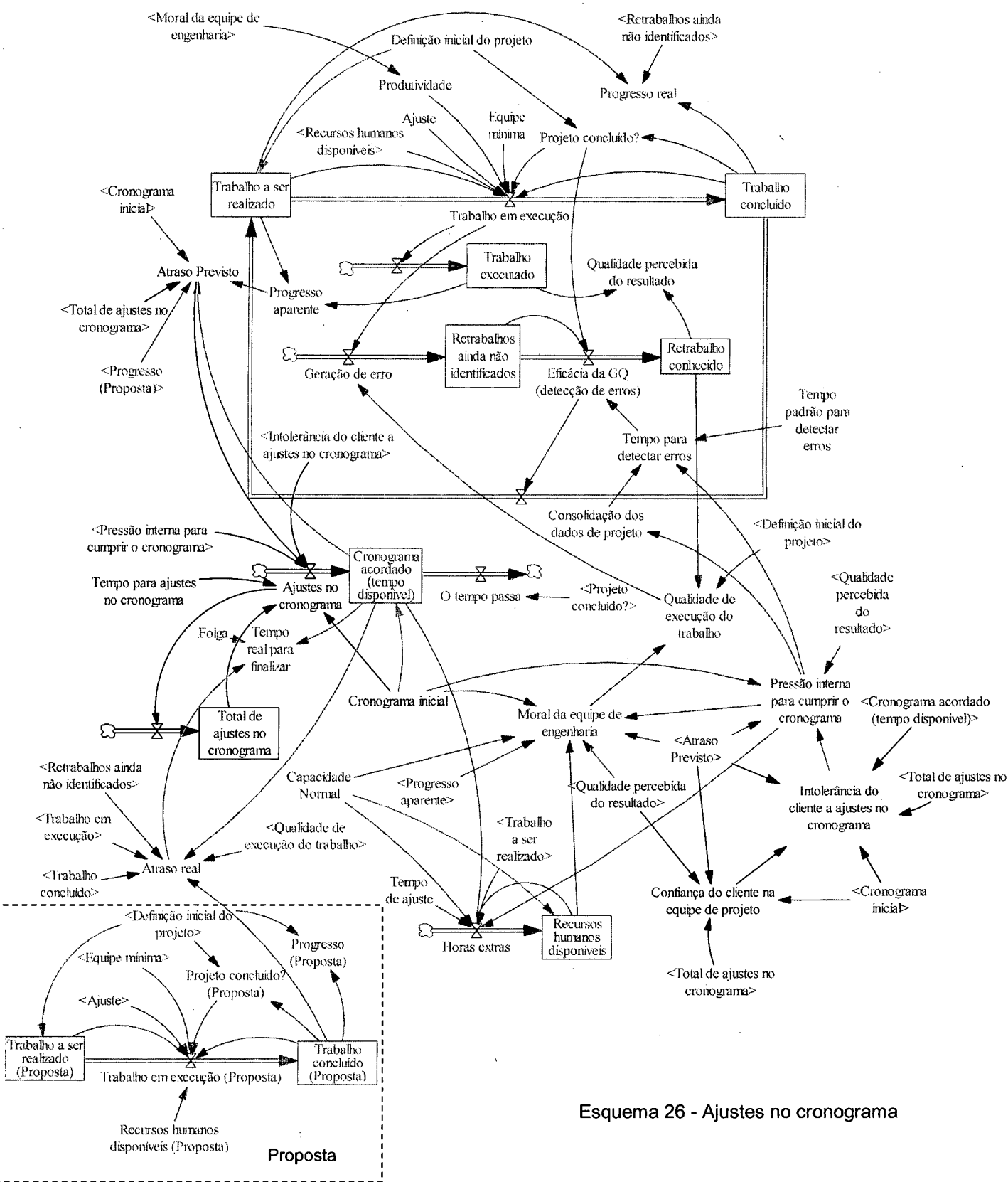
Com o decorrer do projeto e a piora na situação de atraso, uma alternativa que o gerente do projeto encontra para aliviar a pressão para cumprimento do cronograma é alterar o prazo final contratual, para reduzir a percepção de atraso. Certamente a data de entrega contratual só poderá ser modificada com a anuência do cliente. Este aceitará ou não a sugestão de alteração do prazo final dependendo da sua confiança na equipe de projeto. Caso o cliente não acredite que a equipe tenha condições de cumprir o que está sendo prometido agora, ele preferirá pressionar para que novas ações sejam tomadas.

Um fator que influencia a confiança do cliente na equipe de projeto é o atraso percebido em relação ao cronograma inicialmente acordado acrescido dos ajustes já aceitos pelo cliente. O outro é a qualidade percebida do trabalho. Um trabalho de boa qualidade pode ser um argumento positivo para se contrapor à percepção de atraso, que sempre é negativa.

A intolerância do cliente a ajustes do cronograma dependerá entre outros fatores da confiança na equipe de projeto. Quanto maior a confiança, maior será a abertura do cliente para negociações do prazo. Dependerá também de quanto resta do prazo acordado. Quanto mais perto da data contratual de entrega, maior será a intolerância do cliente para postergá-la.

Além da confiança na equipe e do prazo restante, o cliente também considerará os ajustes de cronograma já concedidos. Quanto mais freqüentes forem as solicitações da equipe de projeto para que o prazo de entrega seja dilatado, menor será a confiança do cliente na capacidade técnica e gerencial da contratada e maior será a intolerância para aceitar mais ajustes.

A intolerância do cliente, a pressão interna para cumprir o cronograma e o atraso previsto são os fatores que pesarão para o acordo sobre ajustes no cronograma. A contratada somente solicitará tais modificações quando a pressão para cumprir o cronograma estiver acima de 60%. O cliente não aceitará mais ajustes quando o total já concedido for equivalente à metade do prazo inicialmente acordado. O Esquema 26 mostra como estes novos fatores foram integrados ao modelo.



Esquema 26 - Ajustes no cronograma

No modelo, os ajustes ocorrem em saltos proporcionais à tolerância do cliente, à pressão para cumprimento do cronograma e ao atraso previsto.

Nas condições simuladas com o modelo como desenvolvido até o momento, ou seja, sem a influência externa vinda do cliente, a pressão para manter o cronograma não chegou ao nível necessário para disparar a negociação por um prazo maior. No entanto, os novos fatores influenciaram suficientemente no sistema para que o tempo requerido para conclusão do projeto fosse modificado. No Gráfico 13, nota-se que o trabalho em execução é interrompido depois de transcorridos 142 dias de projeto, indicando o momento em que ele é considerado concluído. Restam 1491 HH de retrabalho não identificado, o que nos fornece um prazo corrigido de 157 dias, portanto superior ao caso anterior.

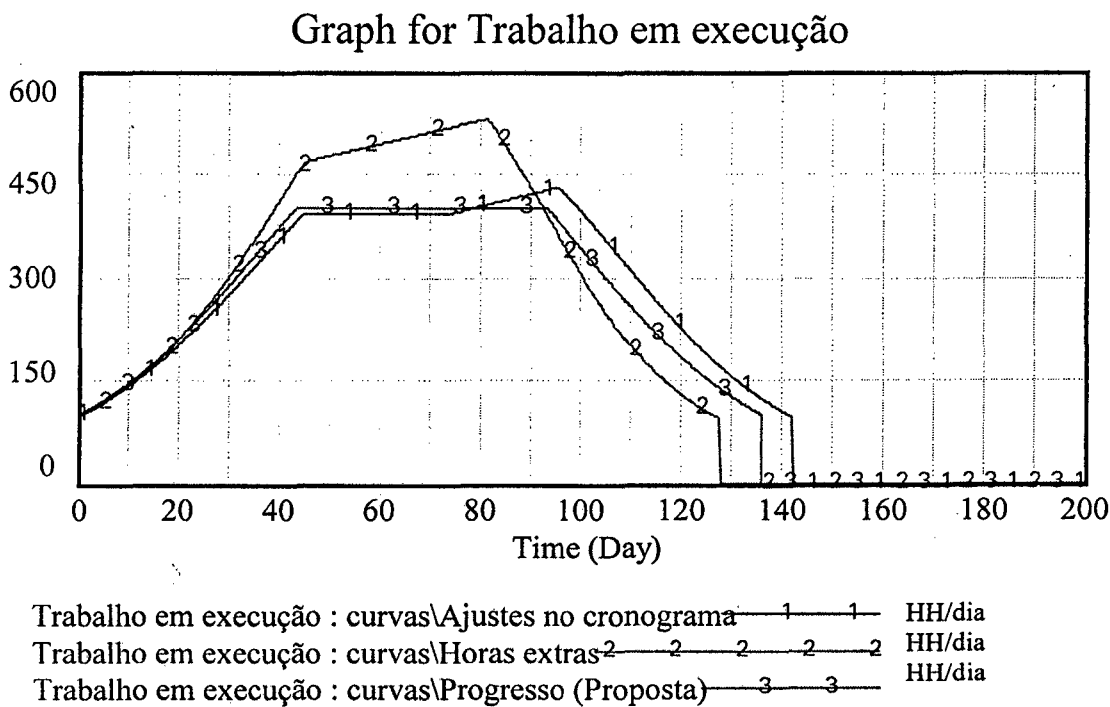


Gráfico 13 - Trabalho em execução com o fator "Ajustes no cronograma"

## 5.8. O Paralelismo

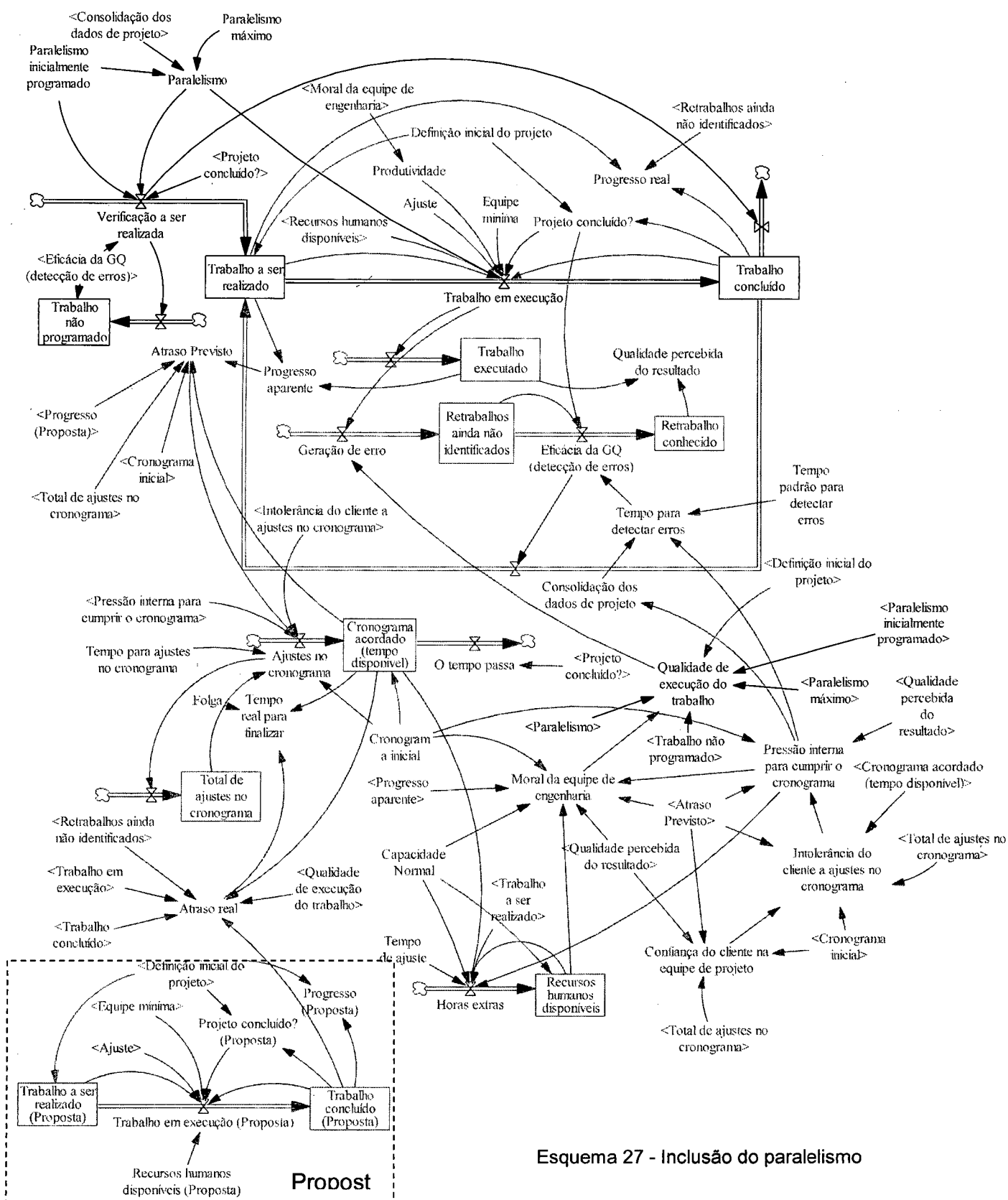
A última etapa para construção do modelo sem as interferências exógenas é a inclusão do paralelismo. Como vimos na seção 2.5, o paralelismo é medido através da razão entre a somatória dos tempos individuais de cada atividade e o tempo requerido para a execução de todo o conjunto de atividades.

O paralelismo mínimo ocorre quando as atividades estão em série, o início de uma não ocorre antes do término da precedente. Neste caso, o paralelismo é unitário. O paralelismo máximo ocorre quando todas as atividades iniciam-se e são concluídas dentro do período de execução da atividade mais longa.

A deliberação para que mais atividades sejam executadas paralelamente é mais um instrumento que a gerência do projeto dispõe no intuito de controlar o projeto e reverter situações de atraso.

Na fase de proposta, foi considerado um certo paralelismo compatível com um determinado nível de consolidação das informações do projeto previsto para o projeto. No modelo, consideraremos este como sendo o nível mínimo de paralelismo, correspondente à unidade. O nível máximo será considerado dois. Isto porque para se realizar atividades paralelas, necessitam-se mais recursos. Assim, quando o nível de paralelismo é dois, será requerida uma equipe duas vezes maior do que se o paralelismo fosse unitário. No modelo, este aumento do recurso utilizado aparece no trabalho em execução, lembrando que sempre o limite deste são os recursos humanos disponíveis.

Em suma, o paralelismo variará entre aquele inicialmente programado e o máximo de acordo com o complemento do nível de consolidação aceito pela engenharia para os dados do projeto. Quanto maior a consolidação de dados requerida, menos atividades poderão ser realizadas paralelamente, já que uma depende das informações provenientes das anteriores.



Esquema 27 - Inclusão do paralelismo

A presença de paralelismo maior do que o inicialmente previsto acarretará a necessidade da realização de atividades adicionais para a verificação das informações que estão sendo geradas a partir de dados não consolidados. Esta atividade de verificação aumentará o estoque de trabalho a ser realizado e consumirá os mesmos recursos que haviam sido previstos anteriormente para o desenvolvimento do projeto. Este mesmo volume que aumenta o trabalho a ser realizado, será subtraído do estoque de trabalho concluído, indicando que este trabalho adicional não contribui para o progresso do projeto, mas consome os mesmos recursos.

As atividades adicionais de verificação junto com o volume de retrabalho conhecido comporão o conjunto de atividades não programadas, que, como o paralelismo, influenciarão negativamente na qualidade de execução do trabalho. Todos estes novos parâmetros são mostrados no Esquema 27.

O acréscimo do paralelismo contribui pouco para a redução do tempo requerido para a conclusão do projeto que agora será de 141 dias. Este fato decorre da introdução de um volume adicional de trabalho devido à necessidade de verificação criada pelo paralelismo. Além disso, a influência do paralelismo na qualidade de execução dos trabalhos faz com que o volume de retrabalho não identificado aumente um pouco para 1491 HH. O tempo corrigido para conclusão do projeto será então de 156 dias.

O modelo apresentado aqui contém todos os elementos identificados pela equipe de projeto que influenciam no desenvolvimento dos trabalhos, com exceção dos disparadores, que serão introduzidos nas seções seguintes.

O atraso incorrido até aqui é de responsabilidade da contratada, já que não há interferência externa vinda dos clientes. Os dois fatores relacionados ao cliente presentes no modelo, intolerância para ajustes no cronograma e confiança na equipe de projeto, não representam influência direta do cliente, mas parâmetros que balizarão as decisões da equipe de projeto.

Um dos disparadores que será introduzido a seguir, modela as solicitações de aumento do escopo que serão distribuídas ao longo do projeto e totalizarão um aumento de dez por cento no escopo do projeto. Para podermos responder à pergunta qual é a contribuição do cliente no aumento do prazo requerido para conclusão do projeto, é necessário ter como parâmetro de comparação o resultado no caso de acrescentarmos o aumento do escopo na



definição inicial do projeto. Afinal, o que queremos mostrar, neste caso, é que modificações de escopo no decorrer do projeto causam um impacto maior do que se fossem planejadas desde o início.

Portanto para esta comparação, o modelo apresentado nesta seção foi simulado considerando o aumento de escopo de dez por cento na definição inicial do projeto. O resultado foi um tempo para conclusão de 155 dias e um nível de retrabalho não reconhecido de 1583 HH. O tempo corrigido será então de 171 dias. Tabela 2 resume o resultado dos modelos descritos até o momento.

Tabela 2 - Resultado da simulação dos modelos descritos nas seções 5.1 a 5.8.

<i><b>Seção</b></i>	<i><b>Descrição</b></i>	<i><b>Tempo para conclusão do projeto (dias)</b></i>	<i><b>Retrabalho não Identificado (HH)</b></i>	<i><b>Tempo corrigido* (dias)</b></i>
5.1	Proposta	136,3	-	-
5.2	Retrabalho	146,5	-	-
5.3	Retrabalho não ident.	143,5	1027	153,8
5.4	Moral da equipe	146,1	1092	157,0
5.5	Pressão interna para cumprir cronograma	150,3	1428	164,6
5.6	Horas extras	128,0	1902	147,0
5.7	Ajustes no cronograma	142,5	1417	156,7
5.8	Paralelismo (40000HH)	141,5	1491	156,4
	(44000HH)	155,0	1583	170,8

\* O tempo corrigido para conclusão do projeto é apenas para efeito de comparação dos diferentes resultados e considera que o retrabalho não identificado será executado pela equipe mínima de projeto, sem a geração de novos erros (qualidade da execução dos trabalhos igual a um).

## 5.9. O Primeiro Disparador – Interferência do Cliente na Engenharia

Nesta seção e nas subseqüentes serão introduzidos no modelo os disparadores, que são os fatores que representam a influência do cliente, portanto externa ao projeto, que interferem de alguma maneira na dinâmica do sistema. Cada disparador será descrito e sua influência será verificada isoladamente e no final será

feita uma simulação com todos os disparadores ativos simultaneamente, representando o caso mais próximo da realidade.

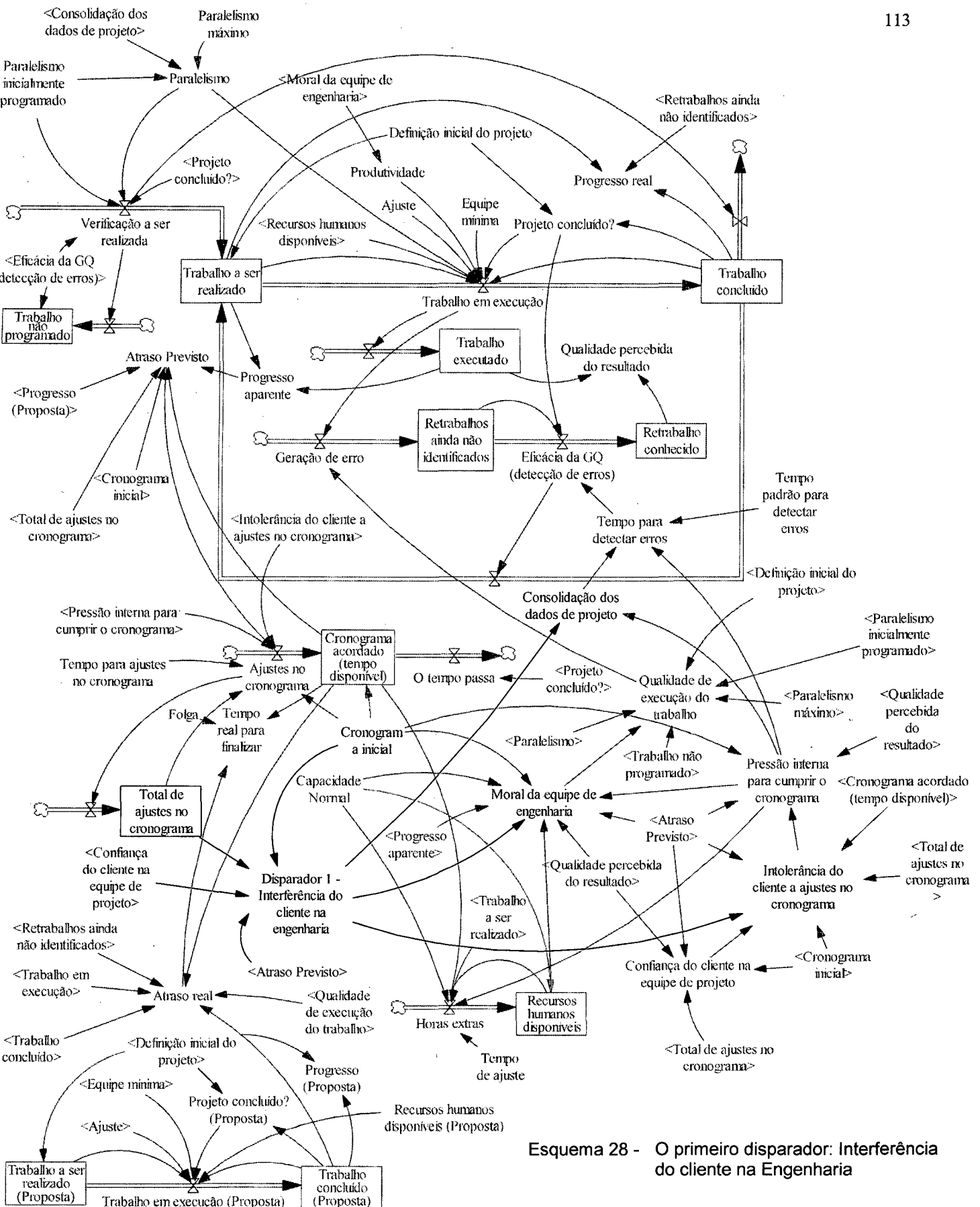
A interferência do cliente nas decisões de projeto depende da sua confiança na equipe da contratada, de sua percepção de atraso em relação ao cronograma inicial e do total de ajustes já consentidos.

Tal interferência se traduz principalmente no planejamento dos trabalhos da equipe de engenharia, solicitando que as seqüências sejam revistas, assim como na decisão sobre o grau de paralelismo a ser utilizado. Assim, se uma informação está atrasada, por que não iniciar a atividade seguinte sem ela e completá-la posteriormente quando o dado esperado estiver disponível?

Sem a visão global do trabalho a ser realizado e focando problemas pontuais, o cliente não terá condições de avaliar qual o nível de consolidação de dados requerido para cada fase do projeto, nem tampouco o quanto a sua sugestão afetará este parâmetro.

Como vemos no Esquema 28, o moral da equipe também será influenciado pela interferência do cliente na engenharia. A equipe sentirá estar perdendo sua autonomia de decisão de como executar seu trabalho, o que afetará negativamente o ânimo do grupo, prejudicando a produtividade e a qualidade de execução das atividades.

No entanto ao simularmos o modelo com a presença do primeiro disparador, vemos que a redução da confiança do cliente na equipe de projeto e o atraso percebido não foram suficientemente grandes para despertar no cliente a intenção de interferir no trabalho da engenharia. Este resultado é intuitivo, uma vez que correndo o projeto dentro de uma relativa normalidade, não haveria por que do cliente desejar intervir. Mais adiante veremos que, quando todos os disparadores estão ativos, o atraso e a queda da confiança na equipe são tais que o primeiro disparador é acionado para piorar ainda mais a situação.



## 5.10. O Segundo Disparador – Alterações em Especificações e Escopo

Conforme o projeto prossegue, o cliente pode adquirir experiência em projetos semelhantes em outros fornecedores ou simplesmente tomar conhecimento de novas tecnologias emergentes, as quais desejaria incorporar ao seu novo produto. Assim, as especificações, que são os dados de entrada do projeto, são modificadas e também são solicitadas alterações no escopo de fornecimento.

Estas alterações podem ocorrer de duas maneiras. A primeira delas seria através de pequenas mudanças e acréscimos de escopo durante todo o decorrer do desenvolvimento da fase de engenharia que isoladamente não provocariam grandes impactos, mas quando acumulados podem ter efeitos desastrosos e só perceptíveis quando já tomaram um vulto considerável.

A outra maneira seria a solicitação de uma grande modificação ou um pacote de modificações de uma só vez. Quando isso ocorre, fica clara a situação de alteração de escopo que requer uma revisão contratual. Por esta razão, para o cliente, é mais vantajosa a primeira alternativa, já que pequenas alterações normalmente podem ser absorvidas no custo do projeto. Além disso, os motivadores da necessidade do cliente de modificar o projeto, geralmente não aparecem de uma vez só, mas ocorrem conforme a evolução natural da tecnologia.

No nosso modelo, o segundo disparador está representado por uma variável de estado que é o estoque de trabalho que a equipe de projeto deverá realizar para incorporar as modificações que vão sendo solicitadas pelo cliente. Como este modelo simula uma situação que já ocorreu no passado, a quantidade de modificações solicitadas e o trabalho necessário para incluí-las no projeto são conhecidos. No Projeto “M” houve uma demanda de aproximadamente 4000 HH, o que representa um acréscimo de 10% na definição original do projeto. É importante esclarecer que esta quantidade de trabalho foi estimada seguindo a mesma filosofia utilizada para chegar-se à definição inicial do projeto, ou seja, não foram consideradas as ineficiências do sistema como o ciclo de retrabalho, paralelismo, etc. Veremos ao final desta seção os valores mais realísticos resultantes da simulação com o modelo apresentado.

Na primeira situação simulada, este trabalho adicional será distribuído ao longo da segunda metade do projeto. A calibragem desta curva, para que se

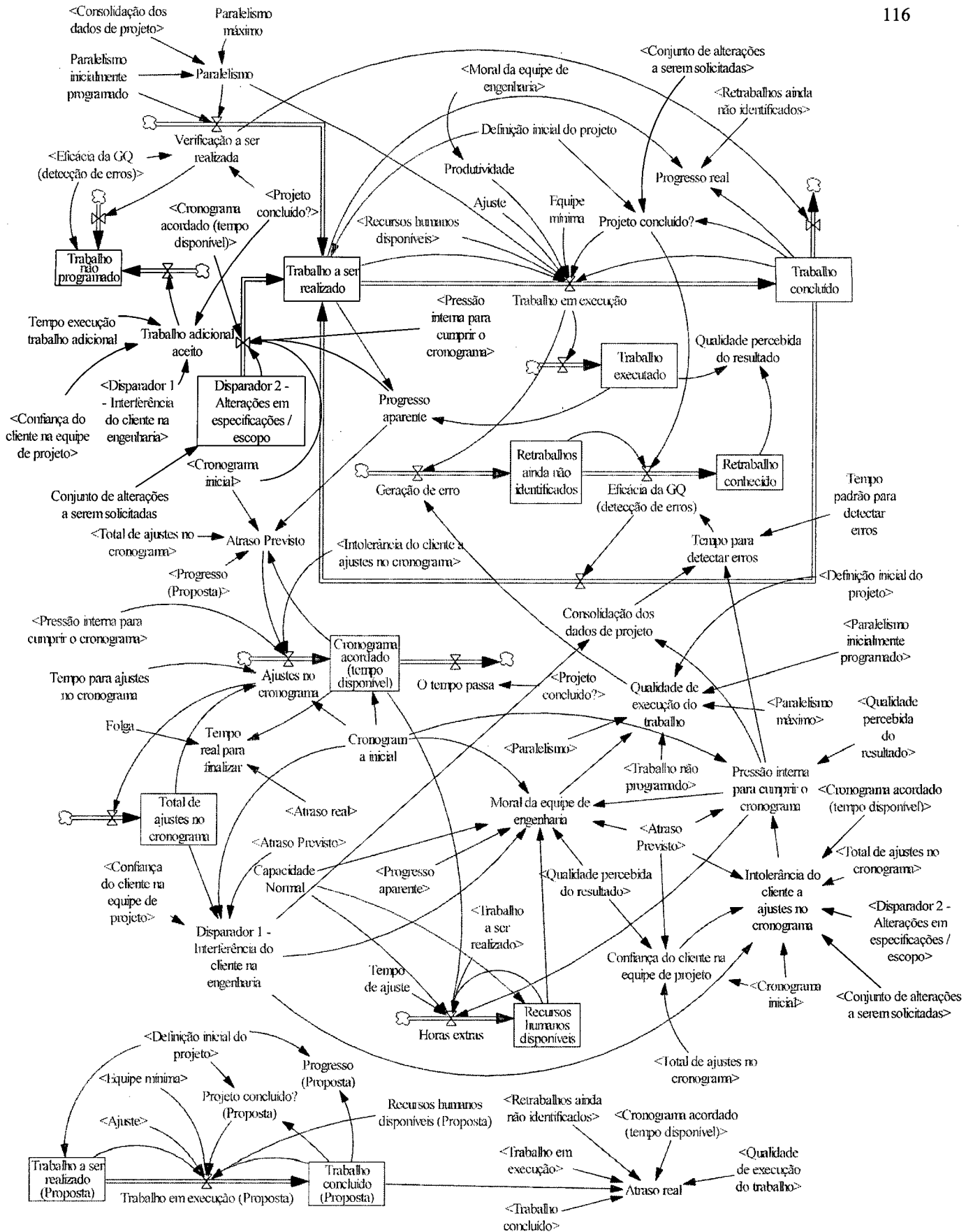
aproxime ao máximo do caso real, foi feita através da alteração dos valores da variável “Tempo para execução do trabalho adicional” e “Conjunto das alterações a serem solicitadas”.

O trabalho adicional aceito será a taxa com que as solicitações de alteração de escopo vão sendo acordadas entre ambas as partes e incorporadas ao estoque de trabalho a ser realizado. Esta taxa aumentará com a pressão para cumprimento do cronograma pois, quanto maior ela for, mais a equipe aceitará solicitações do cliente, com o intuito de barganhar um aumento de prazo.

Outro fator que amplifica a aceitação de trabalho adicional é o grau de interferência do cliente na engenharia. Tomando parte das decisões do projeto, ele terá mais espaço para defender a idéia da necessidade de alterações no escopo.

Por outro lado, quanto maior for a confiança do cliente na equipe da contratada, menos necessidade ele sentirá de solicitar alternativas diferentes para o projeto, já que acredita que os engenheiros estão focados em encontrar as melhores soluções. O progresso aparente também contribuirá para a redução do trabalho adicional aceito. Quanto mais perto do final do projeto, menos disposição se tem de ambas as partes de aumentar o escopo de trabalho e, conseqüentemente o prazo. Finalmente, a razão com que o estoque de solicitações de alteração de escopo esvazia-se depende do volume deste mesmo estoque. Ou seja, no início quando há uma grande quantidade de solicitações a serem feitas, a taxa com que isto ocorre é maior e vai se reduzindo conforme os itens requeridos vão sendo aceitos. O Esquema 29 mostra como estes elementos foram incorporados ao modelo.

O trabalho adicional acrescentado pelo segundo disparador aumentará o estoque geral de trabalho a ser realizado para que o projeto seja concluído. Assim sendo, é interessante compararmos o resultado da simulação deste modelo com aquele obtido sem a interferência do cliente, porém com a definição inicial do projeto 10% maior. Ou seja, qual seria o comportamento do sistema se em lugar de aumentar o escopo do projeto aos poucos, os trabalhos já se iniciassem com um escopo maior?



Esquema 29 - O segundo disparador: Alterações em especificações / escopo

A Tabela 3 compara os resultados obtidos:

Tabela 3 - Comparação dos resultados com e sem o segundo disparador.

	A	B	C	D=B+C/100	E	F=C+E	G=F-A	H=B-B(sem interferência do cliente)	I=F-F(sem interferência do cliente)
	Definição do projeto (HH)	Tempo para conclusão (dias)	Retrabalho não identificado (HH)	Tempo corrigido (dias)	Trabalho total executado (HH)	Trabalho total para concluir o projeto (HH)	Trabalho não considerado (HH)	Pleito	
								Prazo (dias)	Qte. trab. (HH)
Sem interferência do cliente	40000	141	1492	156	42216	43708	3708	-	-
	44000	155	1584	171	46569	48153	4153	14	4445
Alterações concentradas	44000	151	1768	169	46616	48384	4384	10	4676
Alterações distribuídas	44000	173	1423	187	47889	49312	5312	32	5604

As duas primeiras linhas da tabela acima mostram os resultados da simulação sem a interferência do cliente, representada pelo segundo disparador. Na primeira delas, foi considerado o escopo original de projeto, ou seja, o que é de responsabilidade da contratada. Os cinco dias de atraso em relação ao prazo contratual de 136 dias e as 3708 HH não consideradas no contrato não poderão ser cobradas do cliente, já que traduzem as ineficiências internas do sistema de elaboração de proposta e execução do projeto.

Na segunda linha, ainda sem a interferência do cliente, foi considerado um escopo original 10% maior, ou um aditivo contratual logo no primeiro dia de projeto. Este aumento de escopo seria então responsável por 14 dias de acréscimo no prazo e um custo maior equivalente a 4445 HH e não 4000 HH como um pensamento linear nos induziria a concluir.

A terceira linha mostra a situação em que o escopo adicional de trabalho aparece aproximadamente na metade do período de projeto e as modificações foram incorporadas de uma só vez. A extensão do prazo foi menor do que no caso anterior, porém foi requerida uma maior utilização de horas extras, já que a quantidade total de trabalho aumentou devido à maior geração de retrabalho não identificado.

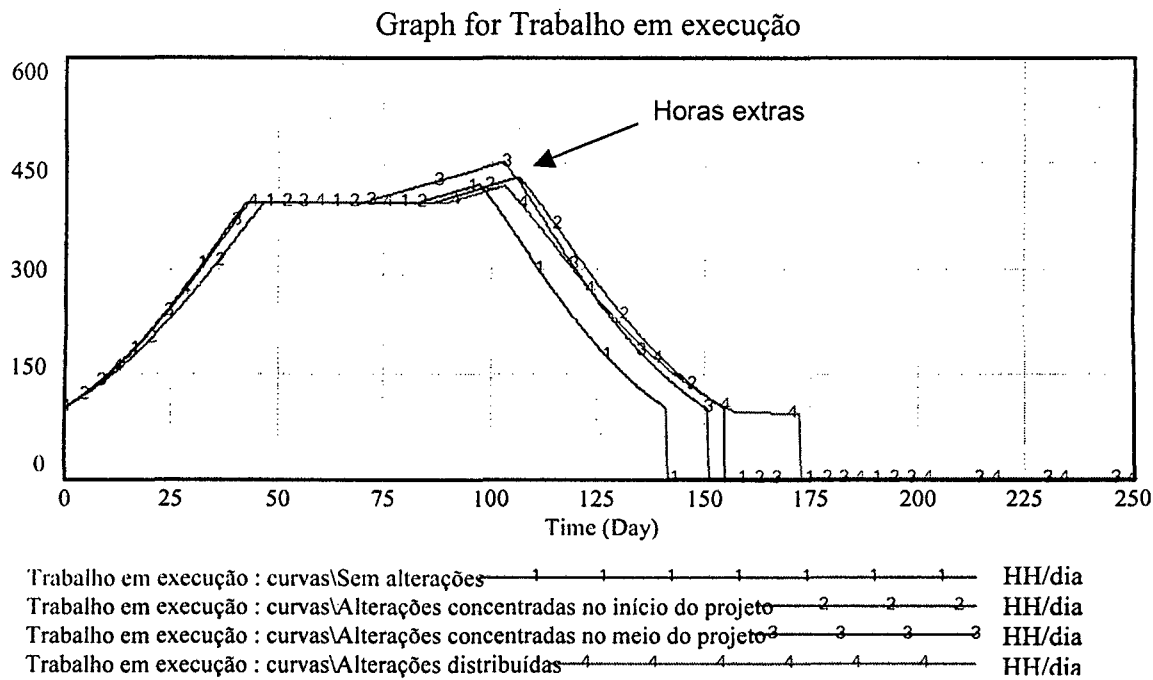


Gráfico 14 - Comparação entre diferentes situações de alteração de escopo

Na última linha, a situação simulada é aquela em que as alterações são distribuídas ao longo da segunda metade do projeto. Esta é a situação mais crítica, pois diferentemente da anterior, devido à diluição do aumento de escopo durante um período prolongado não há a percepção da necessidade de trabalho em regime de horas extras, empurrando o prazo para adiante. Quando o aumento de escopo ocorre todo de uma vez só, a gerência do projeto libera imediatamente as horas extras e a evolução do trabalho é acelerada. No Gráfico 14 do trabalho em execução, pode-se notar que a região de horas extras para este último caso é maior que para os demais. (As horas extras são indicadas neste gráfico pela inclinação da curva acima do patamar superior. Veja indicação no Gráfico 14).

**5.11. O Terceiro Disparador – Atraso em Comentários e Aprovação de Documentos**

O terceiro fator exógeno que gera interrupção e atraso no projeto é a demora do cliente em comentar e aprovar documentos de projeto. No processo de desenvolvimento do projeto de engenharia, a equipe precisa estar segura de que as



informações geradas são compatíveis com as expectativas do cliente, principalmente no que se refere a interfaces externas ao projeto sobre as quais a equipe não tem controle. Desta maneira, a participação do cliente no processo através da aprovação de documentos é de extrema importância e existe para garantir que não haverá mudanças no item aprovado após aquele momento.

Assim, existe um período dentro da programação dos trabalhos da Engenharia reservado para que o cliente examine, comente e aprove os documentos gerados. No Projeto “M” este período já era maior do que o usual nesta indústria: trinta dias em lugar de dez.

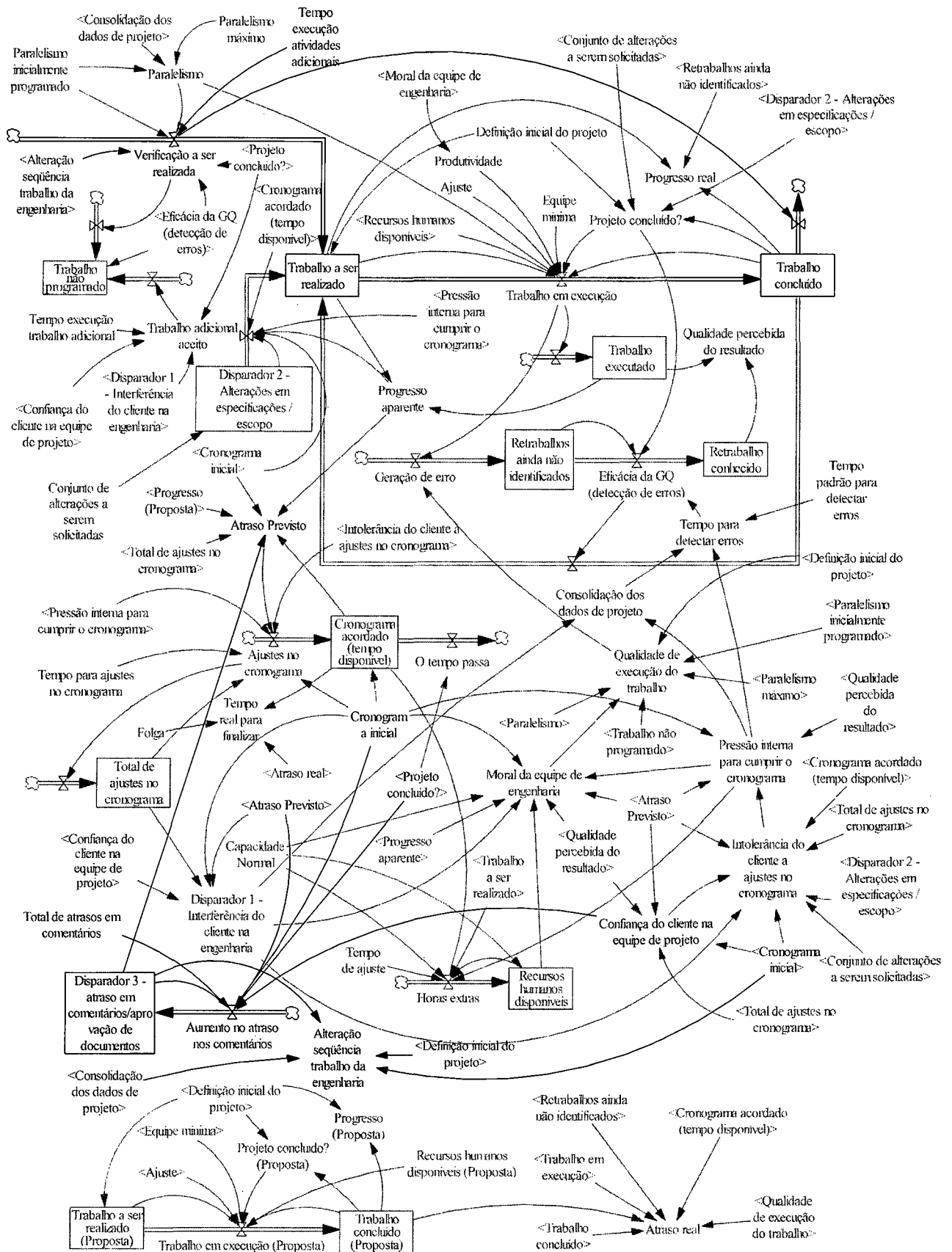
Quando a equipe de engenharia não recebe os comentários e a aprovação dentro do prazo planejado, é preciso tomar-se a decisão de continuar e correr o risco de haver modificações posteriores que poriam por terra o trabalho adiantado ou esperar e incorrer em atrasos.

Optar pela primeira alternativa implica em alterar a seqüência de trabalho da Engenharia, ou seja, eventos que ocorreriam após a aprovação de um determinado documento deverão ocorrer anteriormente. O que define a possibilidade de se alterar a seqüência planejada é o grau de consolidação dos dados de projeto com o qual a equipe de engenharia está disposta a trabalhar. Em fases do projeto em que a exigência por dados consolidados é maior, é preferível esperar pela aprovação a correr o risco de mudanças posteriores. Quando esta exigência é menor segue-se o trabalho, com alterações em sua seqüência.

Alterar a seqüência de trabalho previamente estabelecida não ocorre sem conseqüências, uma vez que haverá a necessidade de realizar-se mais atividades de verificação do projeto. Quando a informação atrasada do cliente chegar, todo o trabalho dependente dela executado durante o período de atraso deverá ser revisto. Esta é uma atividade adicional incorporada ao estoque de trabalho a ser realizado pela equipe de engenharia que não contribui para a evolução do projeto, porém consome os mesmos recursos.

No Esquema 30, o terceiro disparador é introduzido. Como o atraso tem efeito cumulativo, ele foi modelado como sendo uma variável de estado, cuja taxa de variação depende da confiança do cliente na equipe de engenharia, do atraso percebido do projeto e do atraso acumulado da aprovação de documentos. Quanto menor a confiança na equipe de engenharia, maior será o tempo que o cliente utilizará para analisar a documentação. A percepção dos atrasos, tanto do projeto





Esquema 30 - Disparador 3 – Atraso em comentários e aprovação de documentos

Tabela 4 - Comparação dos resultados com e sem o terceiro disparador.

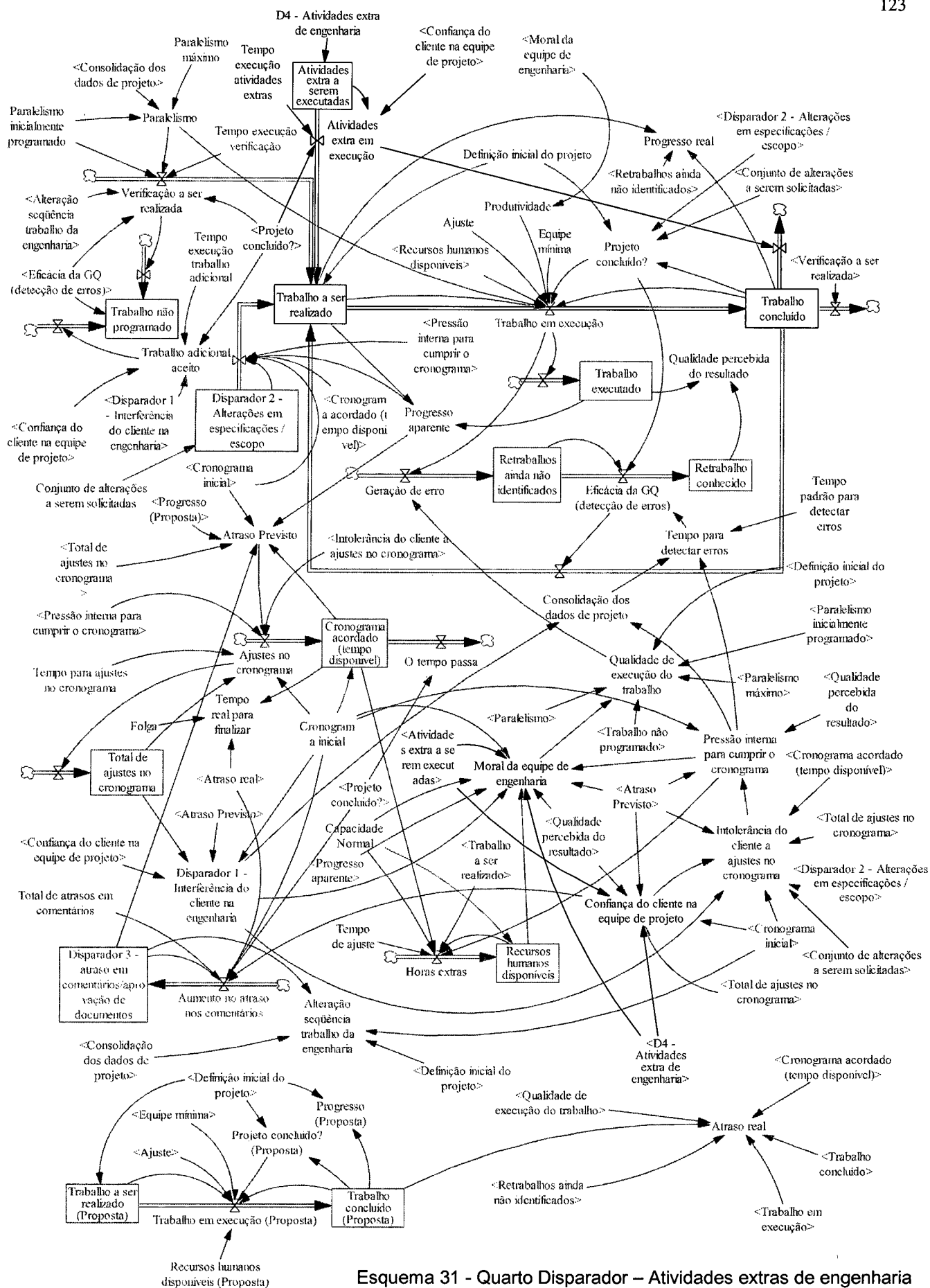
	A	B	C	D=B+C/100	E	F=C+E	G=F-A	H=B-B(sem interferência do cliente)	I=F-F(sem interferência do cliente)
	Definição do projeto (HH)	Tempo para conclusão (dias)	Retrabalho não identificado (HH)	Tempo corrigido (dias)	Trabalho total executado (HH)	Trabalho total para concluir o projeto (HH)	Trabalho não considerado (HH)	Pleito	
								Prazo (dias)	Qte. trab. (HH)
Sem interferência do cliente	40000	141	1492	156	42216	43708	3708	-	-
Atraso na aprovação de documentos	40000	144	1793	162	43964	45757	5757	3	2049

5.12. O Quarto Disparador – Atividades Adicionais de Engenharia

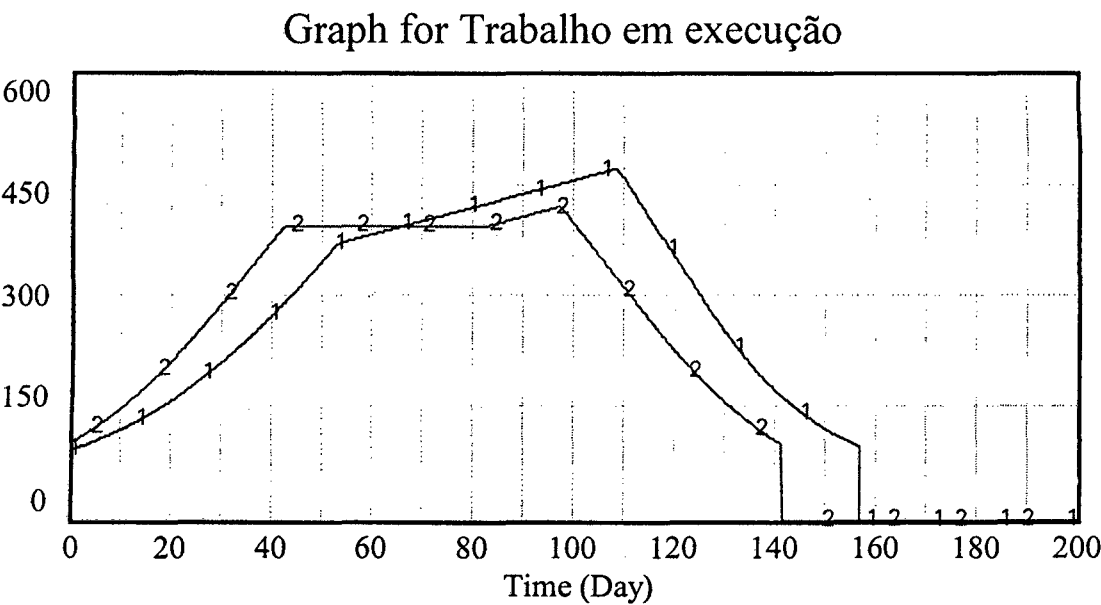
O último disparador a ser introduzido no modelo representa as atividades adicionais de engenharia que o cliente solicita durante o decorrer do projeto. Tais atividades podem ser relatórios de progresso, esclarecimentos técnicos adicionais, relatórios comparando a tecnologia utilizada com outra emergente, etc. São, portanto, aquelas atividades não programadas que ocupam o tempo da equipe de engenharia sem que isso acrescente nada ao progresso do projeto.

A solicitação de atividades adicionais é dependente do nível de confiança que o cliente deposita na equipe de engenharia. Quanto menor for esta confiança, mais o cliente sentirá a necessidade de ter comprovações de que o projeto está caminhando conforme o esperado.

A execução deste tipo de atividade adicional afetará o moral da equipe de engenharia que, além de perceber pouco progresso no trabalho diretamente ligado ao projeto, sentirá que sua capacidade técnica está sendo questionada. Por outro lado, quanto mais solicitações forem atendidas, melhor será o nível de confiança do cliente na equipe de projeto. O Esquema 31 mostra como estes elementos foram modelados.



O Gráfico 16 compara o trabalho em execução com e sem o quarto disparador e a Tabela 5 indica os demais resultados relevantes para as duas situações.



Trabalho em execução : curvas\Atividades adicionais de engenharia    HH/dia  
Trabalho em execução : curvas\Sem interferências do cliente    HH/dia

Gráfico 16 - Trabalho em execução com e sem o quarto disparador

Tabela 5 - Comparação dos resultados com e sem o terceiro disparador.

	A	B	C	D=B+C/100	E	F=C+E	G=F-A	H=B-B(sem interferência do cliente)	I=F-F(sem interferência do cliente)
	Definição do projeto (HH)	Tempo para conclusão (dias)	Retrabalho não identificado (HH)	Tempo corrigido (dias)	Trabalho total executado (HH)	Trabalho total para concluir o projeto (HH)	Trabalho não considerado (HH)	Pleito	
								Prazo (dias)	Qte. trab. (HH)
Sem interferência do cliente	40000	141	1492	156	42216	43708	3708	-	-
Atividades adicionais de engenharia	40000	157	2269	180	46227	48496	8496	16	4788

5.13. Simulação com Todos os Disparadores

Agora com o modelo completo, pode-se simular o efeito de todos os disparadores ocorrendo simultaneamente. O resultado, como podemos ver, não é

linear, ou seja, não é simplesmente a soma dos resultados obtidos na simulação com os disparadores atuando isoladamente.

Dois eventos novos ocorrem. O primeiro é a ativação do disparador um, a interferência do cliente na engenharia. Na simulação em que os demais disparadores não estão presentes, a confiança do cliente não chega a se reduzir suficientemente para que o cliente sinta a necessidade de interferir na engenharia. No entanto, com o efeito de todos os disparadores, o nível de confiança do cliente cai e o primeiro disparador começa a atuar.

Além disso, em nenhuma simulação anterior havia ocorrido a negociação do prazo. Agora, a pressão para cumprir o cronograma atinge um nível crítico e o gerente do projeto solicita ao cliente uma extensão do prazo. O acréscimo consentido pelo cliente dependerá de seu nível de tolerância aos ajustes no cronograma, bem como o total de acréscimos já consentidos anteriormente. Conforme a simulação, total de ajustes no cronograma aceito pelo cliente foi de sessenta e seis dias.

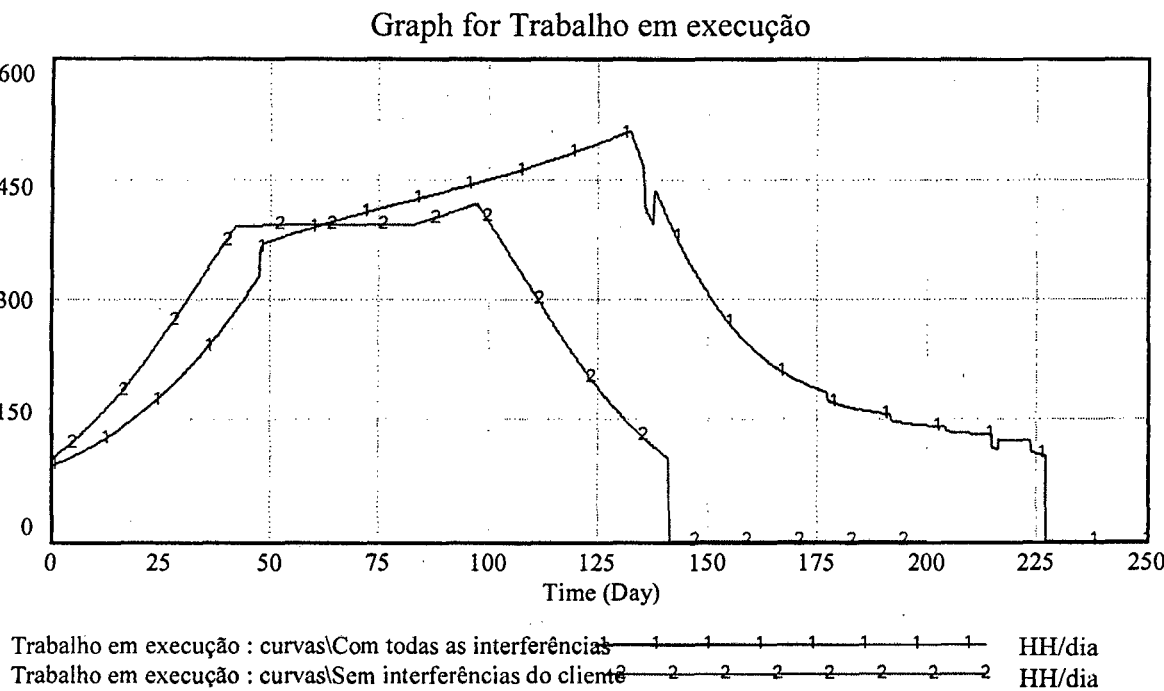


Gráfico 17 - Trabalho em execução com e sem as interferências do cliente

O Gráfico 17 compara o trabalho em execução com e sem as interferências do cliente. O tempo para conclusão do projeto aumentou de 141 para 225 dias.

No Apêndice são apresentados os gráficos de todas as variáveis relevantes desta simulação, assim como suas respectivas fórmulas e na Tabela 6 abaixo são mostrados os principais resultados comparando-os com as simulações anteriores.

Tabela 6 - Comparação dos resultados sem interferência do cliente, com os disparadores individualmente e simultaneamente.

	A	B	C	D=B+C/100	E	F=C+E	G=F-A	H=B-B(sem interferência do cliente)	I=F-F(sem interferência do cliente)
	Definição do projeto (HH)	Tempo para conclusão (dias)	Retrabalho não identificado (HH)	Tempo corrigido (dias)	Trabalho total executado (HH)	Trabalho total para concluir o projeto (HH)	Trabalho não considerado (HH)	Pleito	
								Prazo (dias)	Qte. trab. (HH)
Sem interferência do cliente	40000	141	1492	156	42216	43708	3708	-	-
Disparador 1	40000	141	1492	156	42216	43708	3708	0	0
Disparador 2	44000	173	1423	187	47889	49312	5312	32	5604
Disparador 3	40000	144	1793	162	43964	45757	5757	3	2049
Disparador 4	40000	157	2269	180	46227	48496	8496	16	4788
Com todos os disparadores	44000	227	3988	267	66077	70065	26065	86	26357

Como vemos, a alteração contratual que a Empresa “A” deveria pleitear à Empresa “B” com base nesta simulação seria de um aumento de prazo de vinte dias (oitenta e seis de aumento total do prazo menos sessenta e seis dias já consentidos pelo cliente) e um aumento de custo equivalente às 26.357 HH trabalhadas adicionalmente devido às interferências do cliente.



## 6. CONCLUSÃO

Na seção 4.1, vimos que na elaboração de um documento pleiteando do cliente compensação por interrupção e atraso os seguintes aspectos devem ser abordados:

- a) Causalidade: mostrar quais fatores causaram os atrasos e interrupções e como estes fatores foram responsáveis pelo resultado negativo do projeto.
- b) Responsabilidade: mostrar que o cliente realmente foi responsável pelo resultado negativo.
- c) Quantificação: mostrar que os fatores causaram uma parcela específica do resultado negativo.

A modelagem utilizando a dinâmica dos sistemas como proposta neste trabalho cobriu os três itens. Através de entrevistas com o pessoal envolvido no projeto, foi possível identificar os fatores relevantes que afetam o sistema e como eles se inter-relacionam. O produto final desta fase foi o Diagrama Causal que serviu de base para a construção do modelo final.

A responsabilidade do cliente foi introduzida no modelo através dos disparadores. Estes elementos fazem a interface entre o sistema em estudo, no caso o Projeto "M", e o meio externo. Os quatro disparadores identificados pela equipe da contratada que gerenciou o projeto foram: a interferência do cliente na Engenharia, a alteração de especificações e escopo durante o projeto, o atraso do cliente na emissão de comentários e aprovação de documentos e a solicitação da execução de atividades extras de engenharia.

Finalmente, através do modelo completo, criado com o auxílio das ferramentas de Dinâmica do Sistema, foi possível quantificar a influência do cliente no resultado do projeto, tanto em termos de responsabilidade sobre o atraso, como em termos de custo adicional, ao medir a quantidade de trabalho em homem-horas acrescida pela interferência exógena.

O modelo foi construído passo a passo a partir de um estágio básico, que é o modo como o projeto é visto pela equipe de vendas que elabora a proposta. Por

falta de informações detalhadas sobre a dinâmica do projeto visto como um sistema, já que cada projeto nesta área de negócios é único, a equipe de vendas utiliza o modelo mental mais simples, como visto na seção 5.1. Sobre a sua estimativa, é acrescentada uma contingência, que em muitos casos já é consumida na negociação de venda como uma moeda de troca.

Sobre este modelo inicial, foram acrescentados os elementos considerados pelos participantes do projeto como relevantes para a caracterização do sistema. Nesta construção, também foram utilizados conceitos descritos na literatura pertinente, como é o caso dos ciclos de paralelismo, de retrabalho e de interferência do cliente, tratados nas seções 2.5, 2.6 e 2.7, respectivamente.

Desta maneira, foi criado o modelo neutro, ou seja, aquele que simula o projeto sem a influência do cliente. Se compararmos os resultados desta simulação com os do modelo básico utilizado na proposta, vemos que o erro de previsão não é muito grande. O atraso é de apenas cinco dias (141 dias contra os 136 propostos) e a diferença entre a quantidade de trabalho necessária para concluir o projeto e a estimativa inicial é de aproximadamente 9% (43.700 HH contra 40.000 HH propostas), que seria coberto pela contingência considerada.

De posse do modelo neutro, foi possível acrescentar a influência do cliente através da introdução dos disparadores. Foram feitas simulações com a presença de cada disparador isolado e depois com todos simultaneamente ativos. Na comparação do resultado destas simulações, é possível perceber claramente a não-linearidade do sistema. Se somarmos as contribuições de cada disparador para o atraso e o mesmo para a quantidade adicional de trabalho (veja as duas últimas colunas da Tabela 6) chegaremos aos valores de 51 dias de atraso e 12.441 HH adicionais. Este resultado difere consideravelmente se comparado ao obtido na simulação com todos os disparadores presentes: 86 dias de atraso e 26.357 HH adicionais.

Também é interessante notar que a interferência do cliente na engenharia nem sequer foi disparada na simulação em que aparecia isolada (ver seção 5.9). O terceiro disparador, atraso em comentário e aprovação de documentos, foi ativado, porém teve uma influência tímida no resultado, quando operava separadamente (ver seção 5.11).

Para ter uma noção da influência destes dois disparadores no sistema, pode-se fazer o exercício de simular o modelo sem a presença de um deles e

comparar com o resultado de quando todos estão presentes. No entanto, é importante lembrar mais uma vez que o modelo não é linear e esta comparação serve apenas para demonstrar que estes disparadores fazem diferença no modelo completo. A Tabela 7 mostra estes resultados.

Tabela 7 - Comparação dos resultados da simulação com todos os disparadores, sem o disparador 1 e sem o disparador 3.

	A	B	C	D=B+C/100	E	F=C+E	G=F-A	H=B-B(sem interferência do cliente)	I=F-F(sem interferência do cliente)
	Definição do projeto (HH)	Tempo para conclusão (dias)	Retrabalho não identificado (HH)	Tempo corrigido (dias)	Trabalho total executado (HH)	Trabalho total para concluir o projeto (HH)	Trabalho não considerado (HH)	Pleito	
								Prazo (dias)	Qte. trab. (HH)
Sem o Disparador 1	40000	181	2809	209	54903	57712	17712	40	14004
Sem o Disparador 3	40000	171	2878	200	52228	55106	15106	30	11398
Com todos os disparadores	44000	227	3988	267	66077	70065	26065	86	26357

Vemos que ao introduzir o disparador um, considerando os demais ativos, o tempo corrigido para conclusão do projeto sobe de 209 para 267 dias (28%) e o trabalho total requerido para conclusão do projeto cresce 21% de 57.712 HH para 70.065 HH. No caso do disparador 3, sua introdução causa mais impacto ainda: 34% sobre o prazo e 27% sobre o trabalho requerido.

Como resultado final, o modelo deve fornecer subsídio para a elaboração de um documento pleiteando compensação ao cliente referente à sua interferência no decorrer do projeto. Assim, neste caso estudado, deverá ser considerado um aumento de prazo de 20 dias (já que 66 dias foram consentidos durante o decorrer do projeto) e um aumento de custo equivalente às 26.357 HH adicionais.

No caso real, o Projeto “F” não englobava somente a fase de engenharia, mas também a de fabricação e testes dos três *manifolds* submarinos. No entanto, a negociação estava dividida em casos, sendo um deles a interferência do cliente na fase de engenharia do projeto. Esta divisão deu subsídios para a definição do escopo deste trabalho. A intenção original era, além de ser um trabalho acadêmico, de utilizar este modelo nas negociações reais. Porém, dois pontos contribuíram para que isso não acontecesse.

O primeiro é que para o modelo ser convincente numa negociação deste tipo, a outra parte deve estar segura de que sua estrutura é consistente e não se trata de uma “caixa-preta” à qual se fornecem os dados de entrada e obtém-se na saída o resultado mais conveniente. Para que o cliente tenha a confiança de que não é este o caso, ele terá que participar da elaboração do modelo e para que isso ocorra é necessário que ele esteja disposto a colaborar.

O segundo fator que contribuiu para que o modelo não fosse utilizado foi o rumo que as negociações tomaram. A discussão saiu da esfera contratual e passou para um âmbito mais elevado, levando-se em consideração as políticas e estratégias das duas empresas.

De qualquer maneira, a realização desta modelagem foi de suma importância para a compreensão do problema pela equipe envolvida neste projeto. Talvez o ponto principal tenha sido entender o papel do ciclo de retrabalho, e realizar que há situações em que decisões que à primeira vista contribuem para a redução do prazo, além de ter um custo alto, produzirão retrabalhos que só serão identificados mais adiante. Ao final, estas ações aparentemente benéficas, poderão prejudicar ainda mais o resultado do projeto.

Outra grande vantagem da utilização das ferramentas da Dinâmica dos Sistemas na criação de modelos da evolução de projetos é a possibilidade de se considerar fatores intangíveis como o moral da equipe de projeto, a pressão para cumprimento do cronograma e a confiança do cliente na equipe de projeto. Estes fatores não são considerados quando se utilizam técnicas tradicionais como PERT<sup>13</sup> e CPM<sup>14</sup>.

Outra diferença da Dinâmica dos Sistemas em relação aos métodos tradicionais é a possibilidade de se modelar decisões. No modelo aqui apresentado foi possível simular as ações do gerente do projeto frente ao nível de pressão para cumprimento do cronograma. Ele poderia decidir por liberar as horas extras, aumentar o paralelismo, reduzir o nível de exigência da Garantia da Qualidade, negociar prazo, ou tudo isso junto. Isto é possível graças ao enfoque dinâmico e macroscópico da Dinâmica dos Sistemas. Ela enxerga os processos e as relações entre os fatores que de alguma maneira os modificam enquanto que um estudo através de PERT e CPM analisa as atividades individualmente e suas relações de

---

<sup>13</sup> PERT – Program Evaluation and Review Technique (Técnica de Análise e Avaliação de Programas)

<sup>14</sup> CPM – Critical Path Method (Método do Caminho Crítico)

dependência com as demais. No entanto, estas inter-relações são estáticas, do tipo “atividade x inicia-se somente quando x-1 terminar” ou “x-1 deverá ser concluída juntamente com x+2” e assim por diante. O modelo sistêmico considera também a variável tempo e as não-linearidades do projeto causadas pelos ciclos de realimentação.

De certa maneira, estes métodos são complementares, uma vez que possuem enfoques diferentes. A Dinâmica dos Sistemas por ter uma abordagem holística é mais indicada para aplicações gerenciais, enquanto a visão mais específica e detalhada do PERT/CPM adequa-se melhor como apoio para decisões mais operacionais.

Para futuros trabalhos fica a sugestão de continuar a modelagem, que neste caso compreendeu a fase de engenharia do projeto, estendendo-a para as fases de fabricação, montagem e testes. Os elementos e a dinâmica entre eles seriam bastante semelhantes aos descritos neste trabalho, com a diferença que cada fase seguinte à de engenharia seria influenciada também pelo retrabalho não identificado nas etapas anteriores. Tais retrabalhos são então reconhecidos e afetarão o trabalho já realizado e considerado concluído daquela fase.

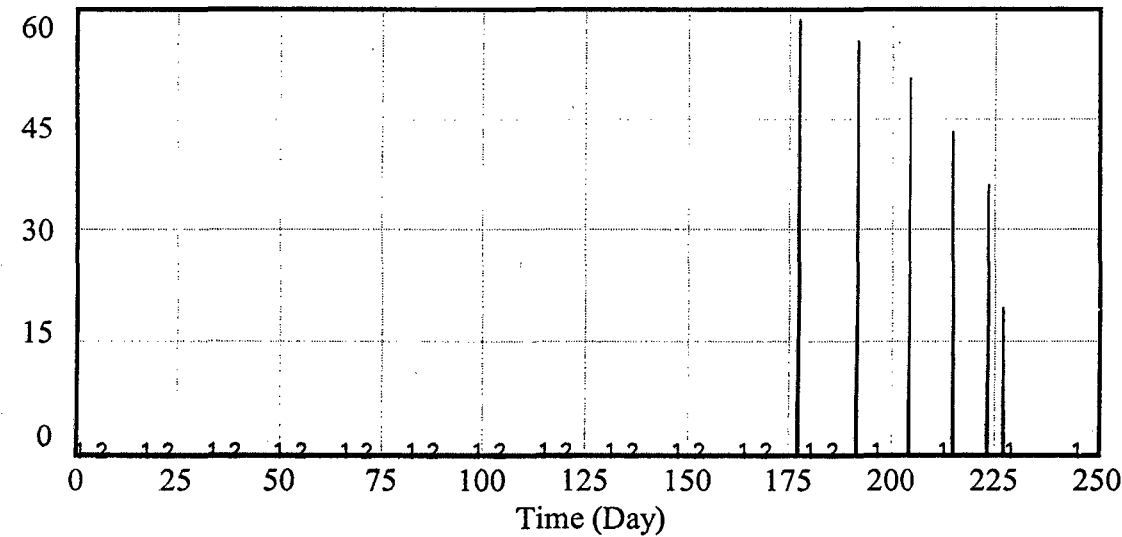
A Dinâmica dos Sistemas vem expandindo seu leque de aplicações por diversas áreas do conhecimento humano, dentre as quais está a Administração de Empresas. Este trabalho mostrou que esta disciplina pode ser utilizada como uma ferramenta que fornece subsídios para negociações *post mortem* de projetos de grande porte. Esta é uma abordagem pouco conhecida que ainda pode ser bastante explorada.

APÊNDICE – FÓRMULAS E GRÁFICOS

Neste apêndice são apresentadas as fórmulas utilizadas em cada variável do modelo completo, incluindo os disparadores. Também são mostrados os respectivos gráficos resultantes da simulação sem os disparadores (conforme descrito na seção 5.8) e da simulação com todos os disparadores ativos (como descrito em 5.13).

- (01) Ajuste = 0.25  
Units: Dmnl
- (02) Ajustes no cronograma = IF THEN ELSE (Total de ajustes no cronograma / Cronograma inicial >= 0.5, 0, IF THEN ELSE (Pressão interna para cumprir o cronograma >= 0.6, IF THEN ELSE ((1-Intolerância do cliente a ajustes no cronograma) \* Pressão interna para cumprir o cronograma \* Atraso Previsto > 0, STEP (4 \* (1-Intolerância do cliente a ajustes no cronograma) \* Pressão interna para cumprir o cronograma \* Atraso Previsto, 1), 0), 0) / Tempo para

Graph for Ajustes no cronograma



Ajustes no cronograma : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 Dmnl  
Ajustes no cronograma : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 Dmnl

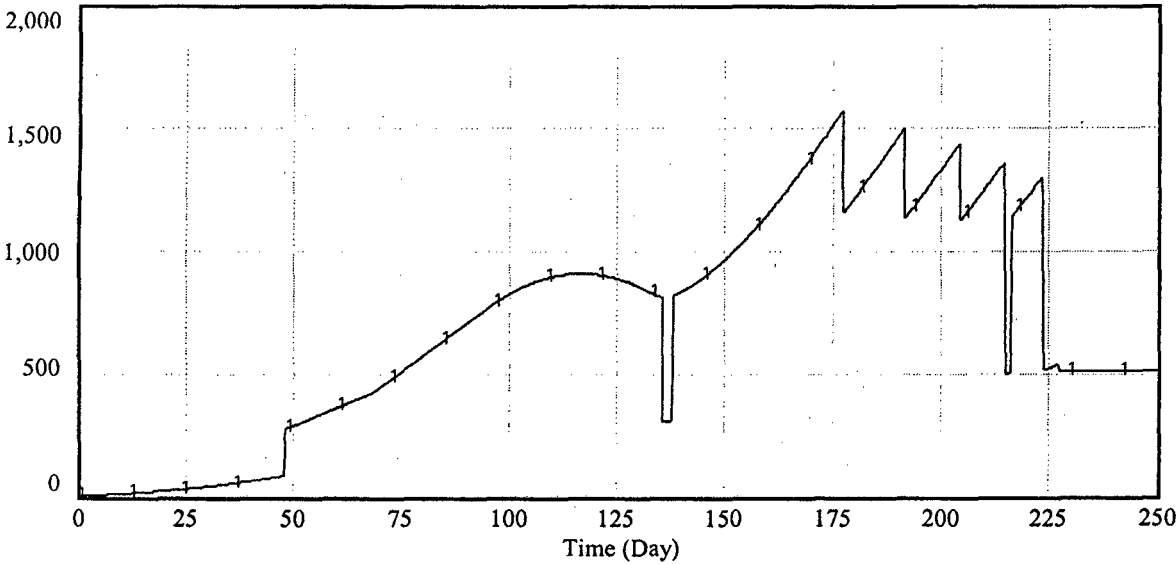
ajustes no cronograma)

Units: Dmnl

(03) Alteração seqüência trabalho da engenharia = "Disparador 3 - atraso em comentários/aprovação de documentos" \* (1-Consolidação dos dados de projeto) \* Definição inicial do projeto / Cronograma inicial

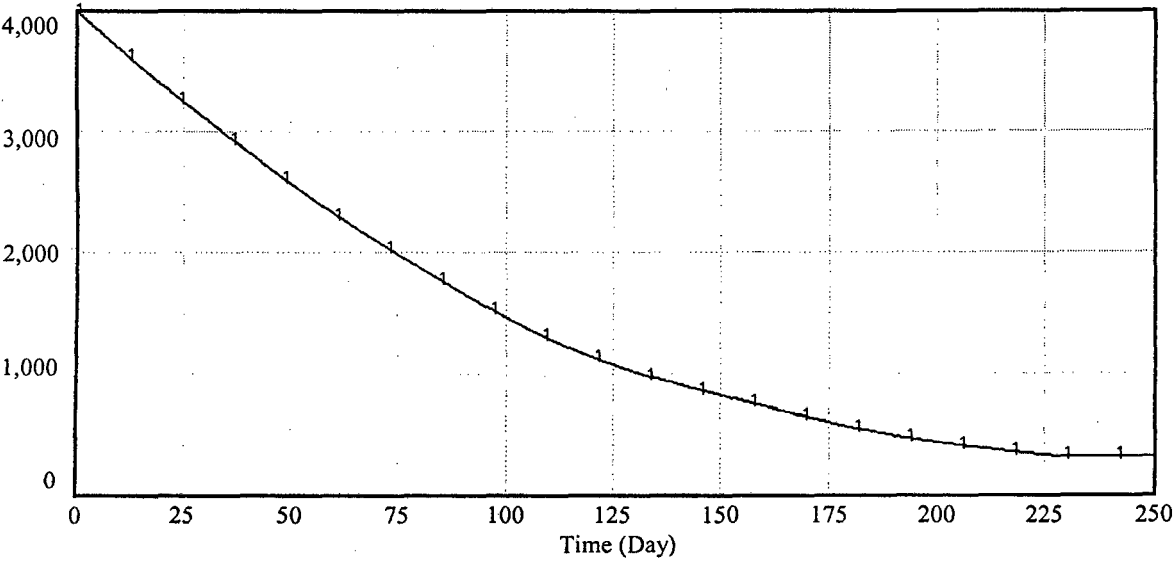
Units: HH

Graph for Alteração seqüência trabalho da engenharia



Alteração seqüência trabalho da engenharia : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 HH  
Alteração seqüência trabalho da engenharia : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 HH

Graph for Atividades extra a serem executadas



Atividades extra a serem executadas : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 HH  
Atividades extra a serem executadas : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 HH





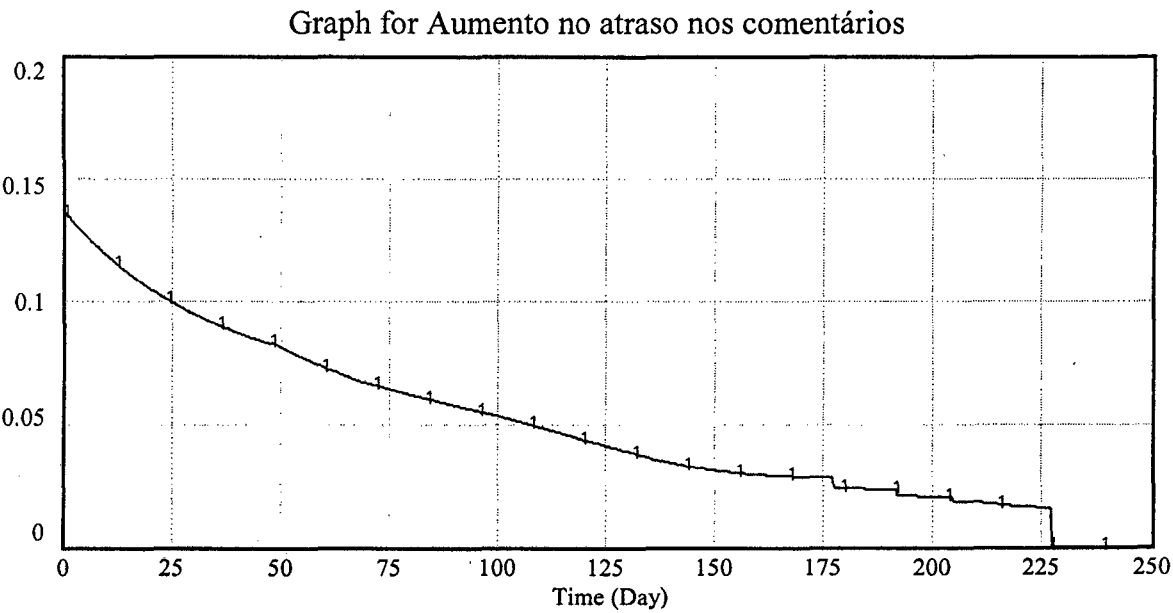


Qualidade de execução do trabalho / Trabalho em execução, ("Trabalho concluído (Proposta)" - Trabalho concluído + Retrabalhos ainda não identificados) / Qualidade de execução do trabalho / Trabalho em execução - "Cronograma acordado (tempo disponível)")

Units: Dia

(08) Aumento no atraso nos comentários = "Projeto concluído?" \* (Total de atrasos em comentários - "Disparador 3 - atraso em comentários/aprovação de documentos") / (Cronograma inicial + Atraso real) / Confiança do cliente na equipe de projeto

Units: Dmnl



Aumento no atraso nos comentários : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 Dmnl  
Aumento no atraso nos comentários : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 Dmnl

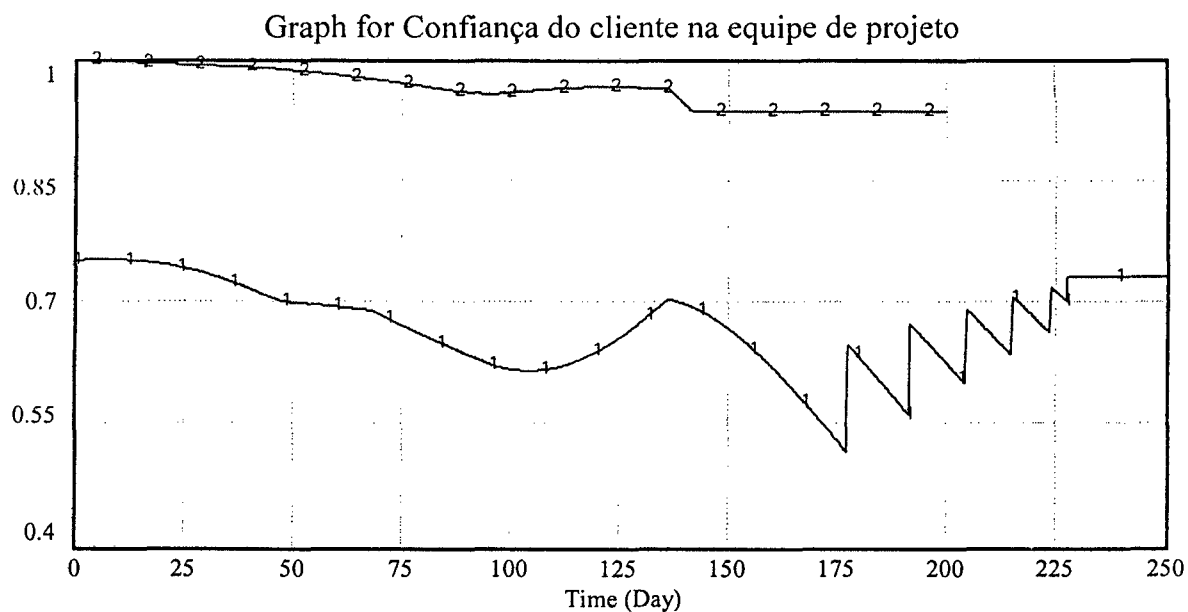
(09) Capacidade Normal = 400

Units: HH/Dia

(10) Confiança do cliente na equipe de projeto = (IF THEN ELSE (Qualidade percebida do resultado > 0.5, 2 \* Qualidade percebida do resultado - 1, 0) + 2 \* (IF THEN ELSE (Atraso Previsto <= 0, 1, IF THEN ELSE (Atraso Previsto >= 0.5 \* (Cronograma inicial + Total de ajustes no cronograma), 0, 1 - 2 \* Atraso Previsto / (Cronograma inicial + Total de ajustes no cronograma)))) + (1 -

Atividades extra a serem executadas / "D4 - Atividades extra de engenharia"))/4

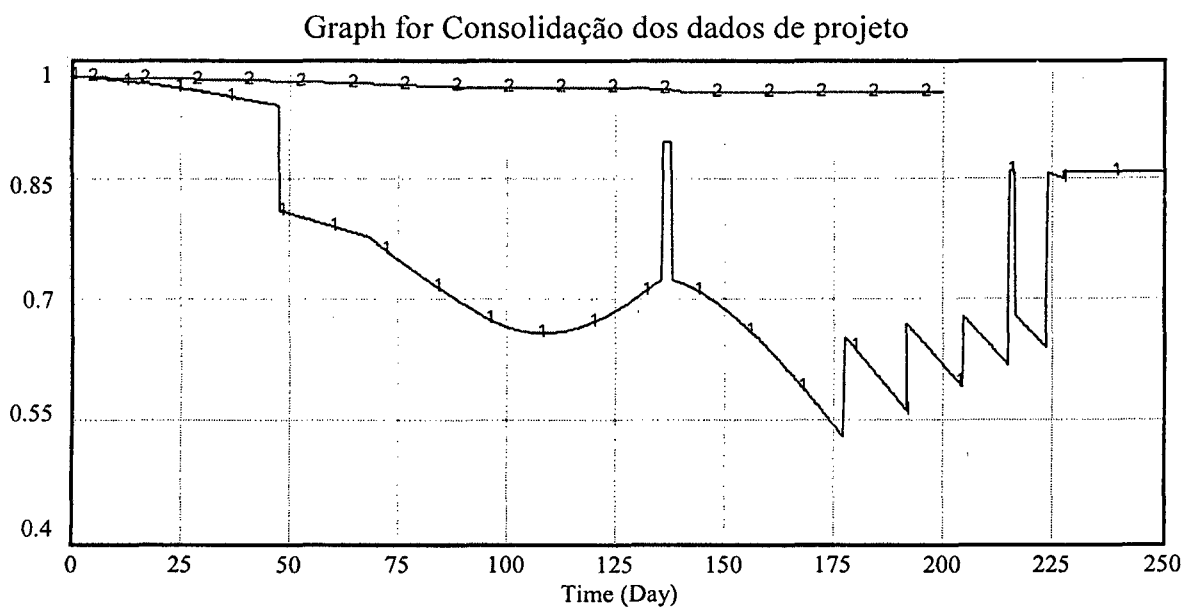
Units: Dmnl



Confiança do cliente na equipe de projeto : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 Dmnl  
 Confiança do cliente na equipe de projeto : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 Dmnl

(11) Conjunto de alterações a serem solicitadas = 5000

Units: HH



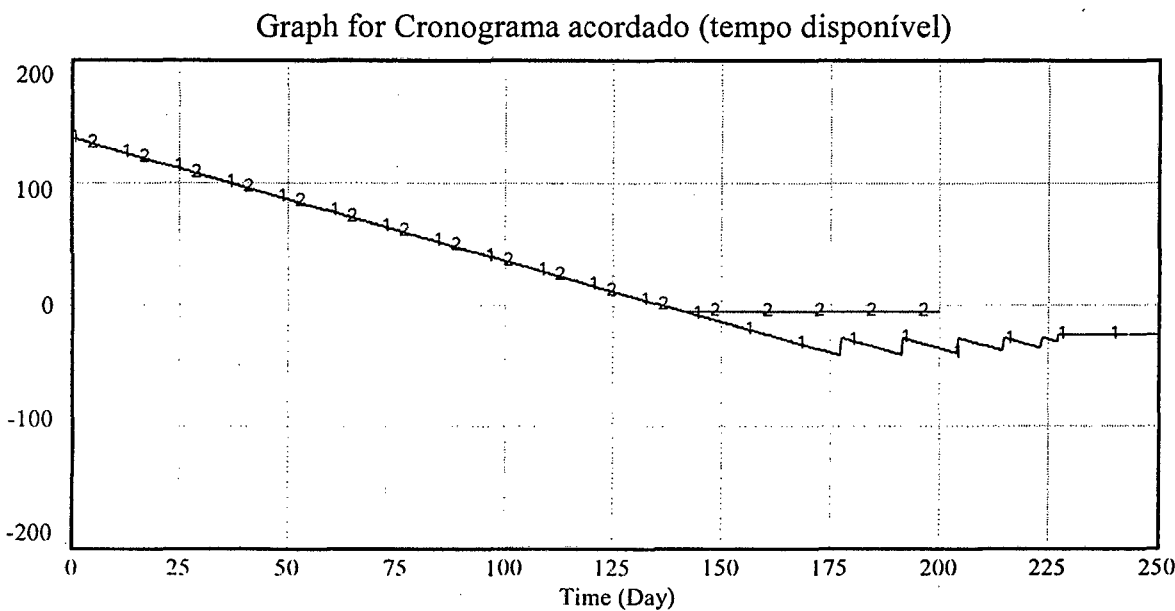
Consolidação dos dados de projeto : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 Dmnl  
 Consolidação dos dados de projeto : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 Dmnl

(12)  $\text{Consolidação dos dados de projeto} = ((1 - 0.5 * \text{Pressão interna para cumprir o cronograma}) + (1 - \text{"Disparador 1 - Interferência do cliente na engenharia"}))/2$

Units: Dmnl

(13)  $\text{"Cronograma acordado (tempo disponível)"} = \text{INTEG}(\text{Ajustes no cronograma} - \text{O tempo passa, Cronograma inicial})$

Units: Dia



"Cronograma acordado (tempo disponível)" : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 Dia  
"Cronograma acordado (tempo disponível)" : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 Dia

(14) Cronograma inicial = 136.3

Units: Dia

(15) "D4 - Atividades extra de engenharia" = 4000

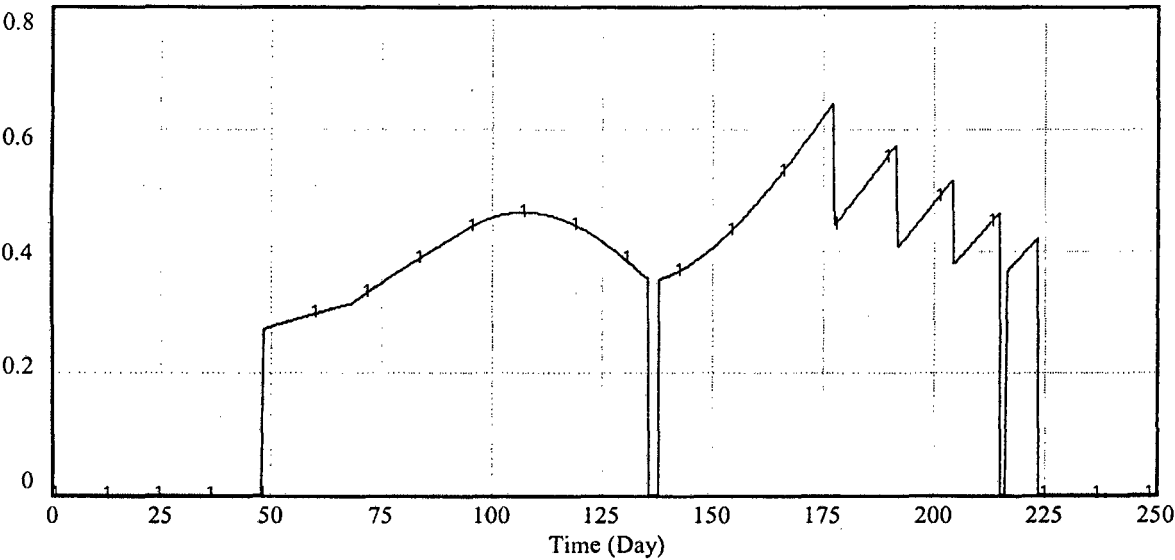
Units: HH

(16) Definição inicial do projeto = 40000

Units: HH

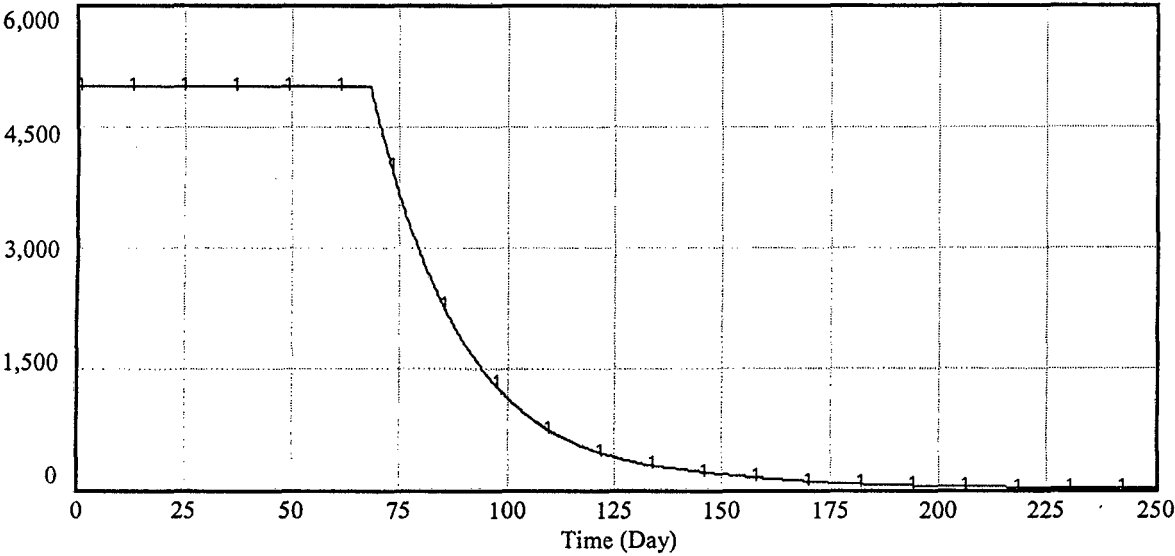
(17) "Disparador 1 - Interferência do cliente na engenharia" = IF THEN ELSE (Confiança do cliente na equipe de projeto >= 0.7, 0, IF THEN ELSE (Atraso Previsto <= 0, 1 - Confiança do cliente na equipe de projeto, IF THEN ELSE (Atraso Previsto >= 0.5 \* (Cronograma inicial + Total de ajustes no cronograma), 1, (1 - Confiança do cliente na equipe de projeto + 2 \* Atraso Previsto / (Cronograma inicial + Total de ajustes no cronograma)) / 2)))  
Units: Dmnl

Graph for Disparador 1 - Interferência do cliente na engenharia



"Disparador 1 - Interferência do cliente na engenharia" : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 Dmnl  
"Disparador 1 - Interferência do cliente na engenharia" : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 Dmnl

Graph for Disparador 2 - Alterações em especificações / escopo

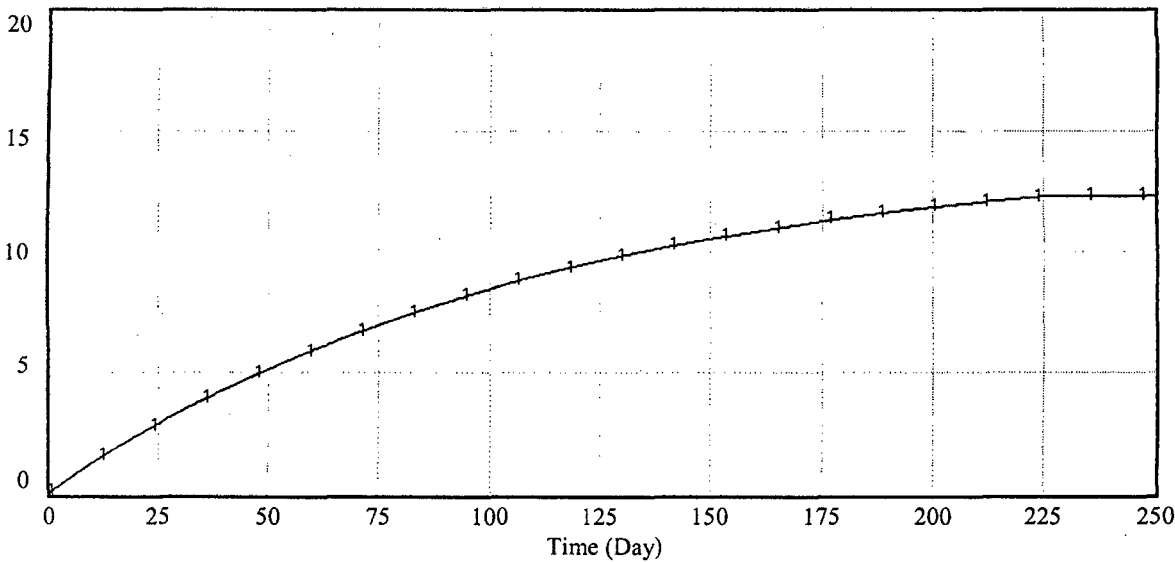


"Disparador 2 - Alterações em especificações / escopo" : curvas\Com todas as interferências 1 1 HH  
"Disparador 2 - Alterações em especificações / escopo" : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 HH

(18) "Disparador 2 - Alterações em especificações / escopo" = INTEG (-Trabalho adicional aceito, Conjunto de alterações a serem solicitadas)  
Units: HH

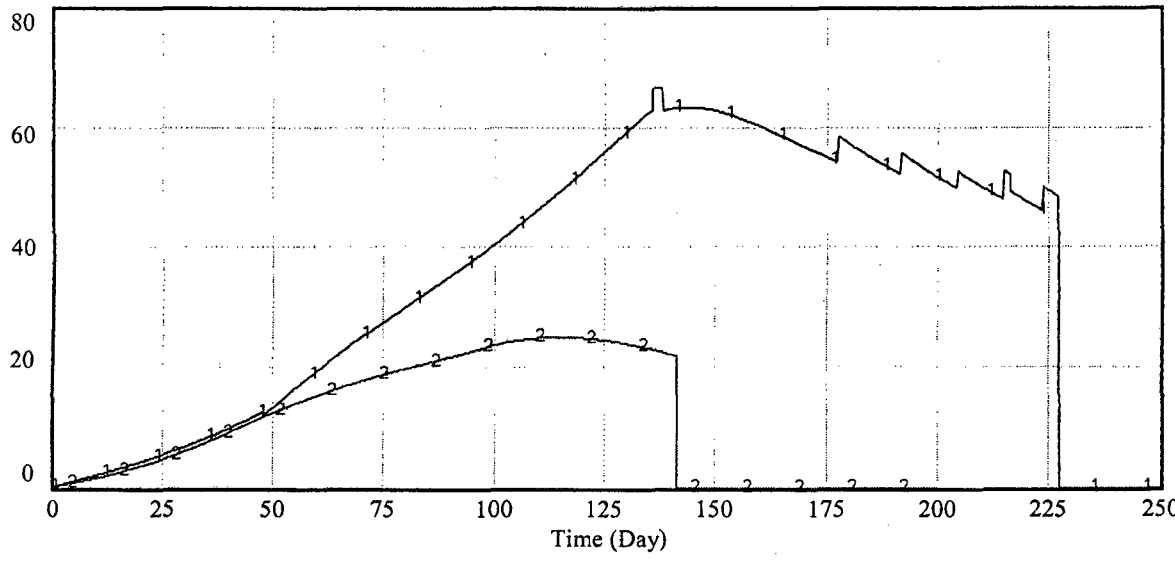
(19) "Disparador 3 - atraso em comentários/aprovação de documentos" = INTEG (Aumento no atraso nos comentários, 0)  
Units: Dia

Graph for Disparador 3 - atraso em comentários/aprovação de documentos



"Disparador 3 - atraso em comentários/aprovação de documentos" : curvas\Com todas as interferências1 Dia  
"Disparador 3 - atraso em comentários/aprovação de documentos" : curvas\Sem interferências do cliente2 Dia

Graph for Eficácia da GQ (detecção de erros)



"Eficácia da GQ (detecção de erros)" : curvas\Com todas as interferências1 HH/Dia  
"Eficácia da GQ (detecção de erros)" : curvas\Sem interferências do cliente2 HH/Dia

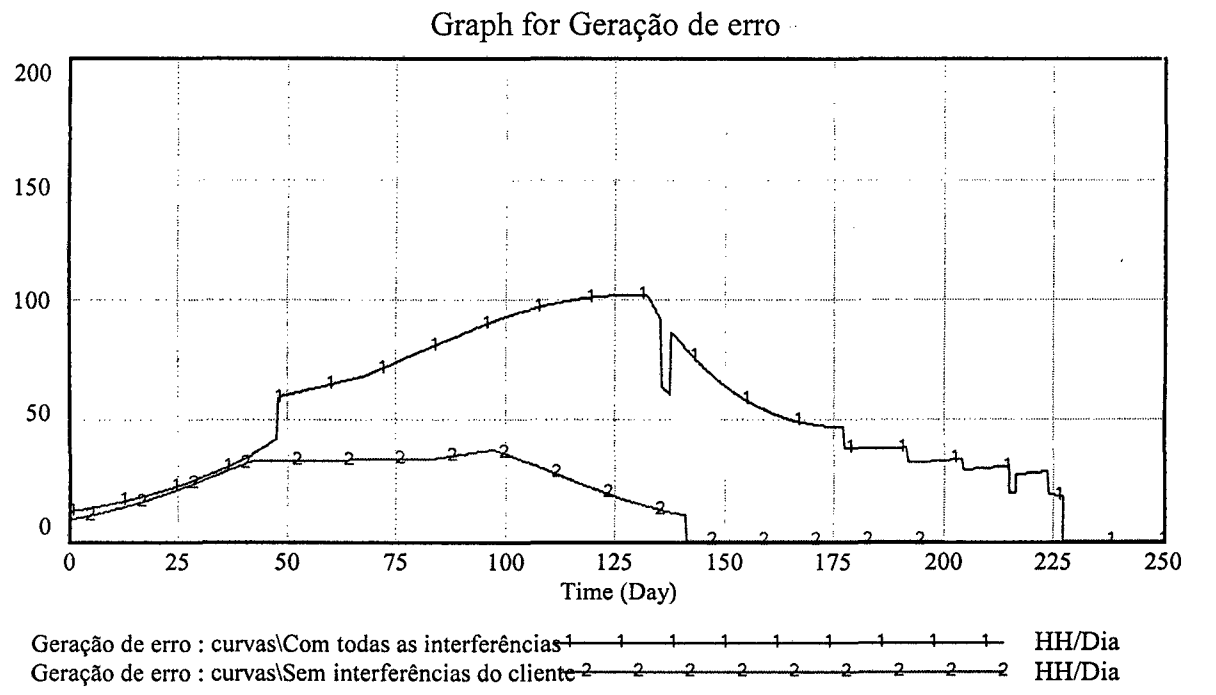
(20) "Eficácia da GQ (detecção de erros)" = "Projeto concluído?" \* Retrabalhos  
ainda não identificados / Tempo para detectar erros  
Units: HH/Dia

(21) Equipe mínima = 100  
Units: HH/Dia

(22) FINAL TIME = 250  
Units: Day  
The final time for the simulation.

(23) Folga = 5  
Units: Dia

(24) Geração de erro = Trabalho em execução \* (1 - Qualidade de execução do  
trabalho)  
Units: HH/Dia

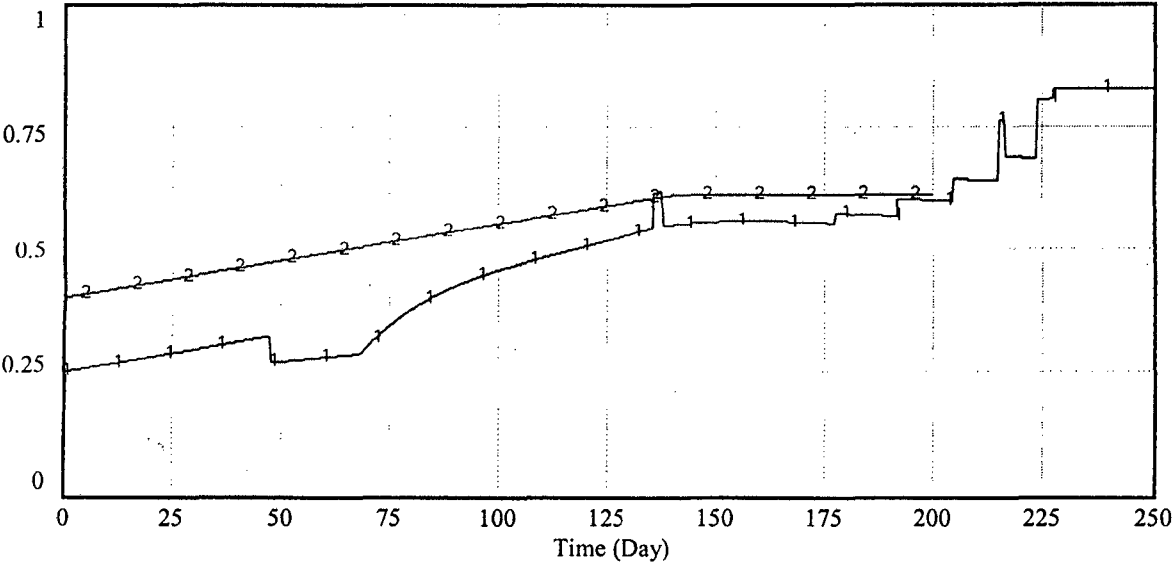


(25) Horas extras = IF THEN ELSE (Pressão interna para cumprir o cronograma <  
0.2, 0, IF THEN ELSE (Recursos humanos disponíveis >= 1.5 \* Capacidade





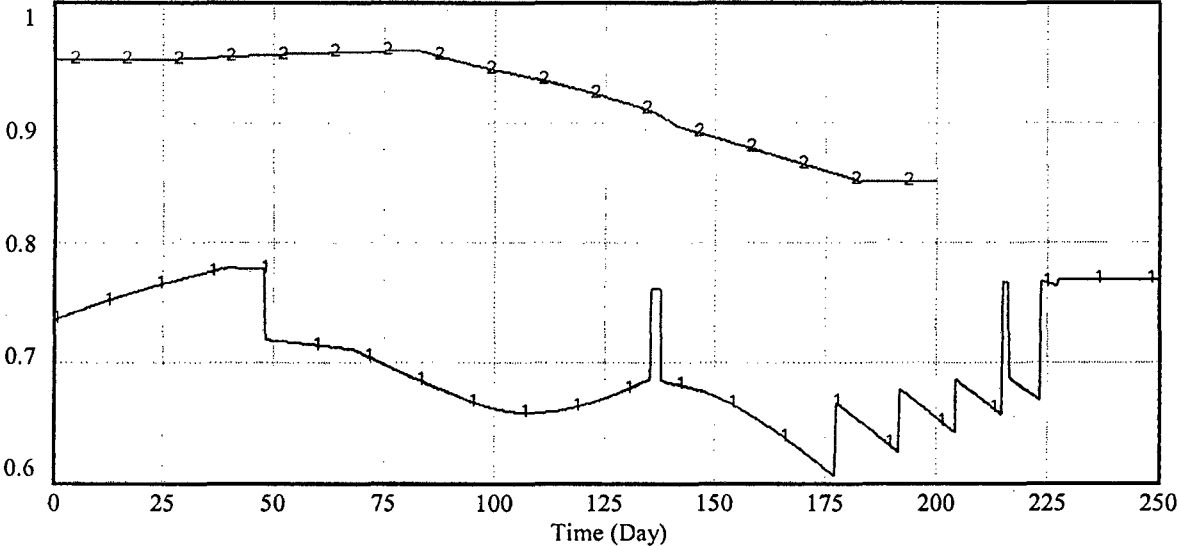
Graph for Intolerância do cliente a ajustes no cronograma



Intolerância do cliente a ajustes no cronograma : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 Dmnl  
Intolerância do cliente a ajustes no cronograma : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 Dmnl

(27) Intolerância do cliente a ajustes no cronograma = ((1 - Confiança do cliente na equipe de projeto) + (1 - ("Cronograma acordado (tempo disponível)" + Atraso Previsto) / (Cronograma inicial + Atraso Previsto))) + 1 - "Disparador 1 - Interferência do cliente na engenharia" + 1 - "Disparador 2 - Alterações em especificações / escopo" / Conjunto de alterações a serem solicitadas + 4 \* (Total de ajustes no cronograma / Cronograma inicial) ^ 2) / 5  
Units: Dmnl

Graph for Moral da equipe de engenharia



Moral da equipe de engenharia : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Dmnl  
Moral da equipe de engenharia : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 Dmnl

(28) 
$$\text{Moral da equipe de engenharia} = ((0.3 * \text{Progresso aparente} + 0.7) + \text{Qualidade percebida do resultado} + \text{IF THEN ELSE} (\text{Atraso Previsto} / (\text{Atraso Previsto} + \text{Cronograma inicial}) \leq 0, 1, \text{IF THEN ELSE} (\text{Atraso Previsto} / (\text{Atraso Previsto} + \text{Cronograma inicial}) \geq 1, 0, 1 - (\text{Atraso Previsto} / (\text{Atraso Previsto} + \text{Cronograma inicial})))) + (1 - \text{Pressão interna para cumprir o cronograma}) + (1 - 2 * (\text{Recursos humanos disponíveis} - \text{Capacidade Normal}) / \text{Capacidade Normal}) + 2 * (1 - \text{"Disparador 1 - Interferência do cliente na engenharia"}) + 2 * (1 - \text{Atividades extra a serem executadas} / \text{"D4 - Atividades extra de engenharia"})) / 9$$

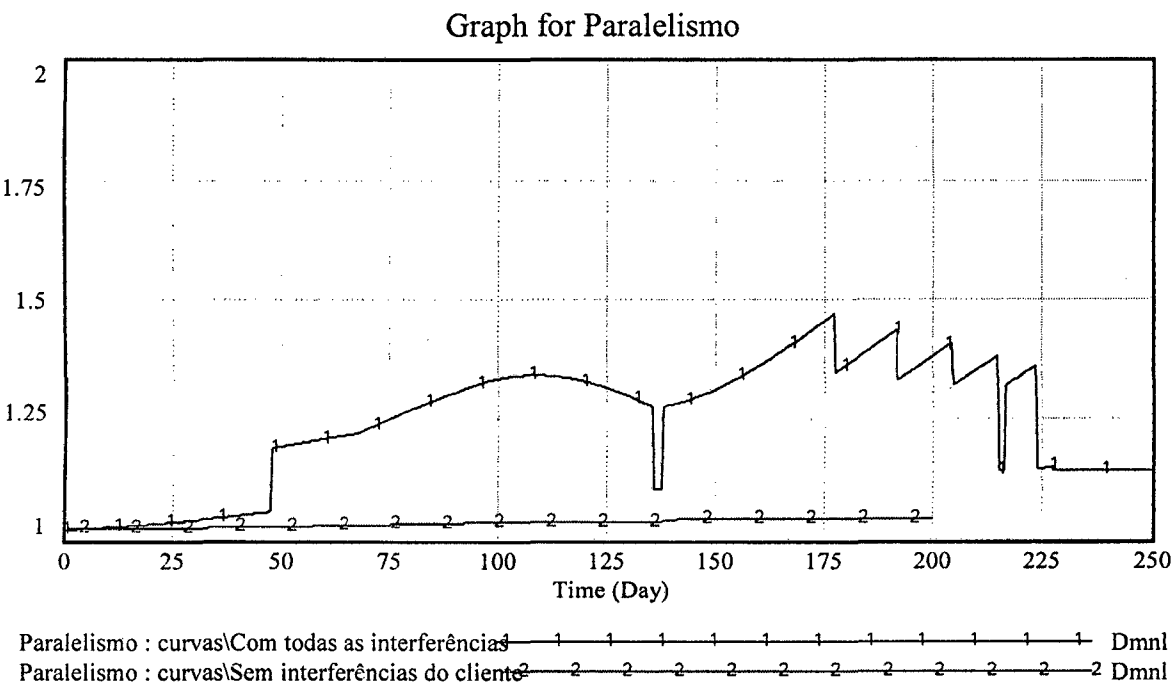
Units: Dmnl

(29) 
$$\text{O tempo passa} = \text{"Projeto concluído?"}$$

Units: Dmnl

(30) 
$$\text{Paralelismo} = ((1 - \text{Consolidação dos dados de projeto}) * (\text{Paralelismo máximo} - \text{Paralelismo inicialmente programado}) + \text{Paralelismo inicialmente programado})$$

Units: Dmnl



(31) 
$$\text{Paralelismo inicialmente programado} = 1$$

Units: Dmnl

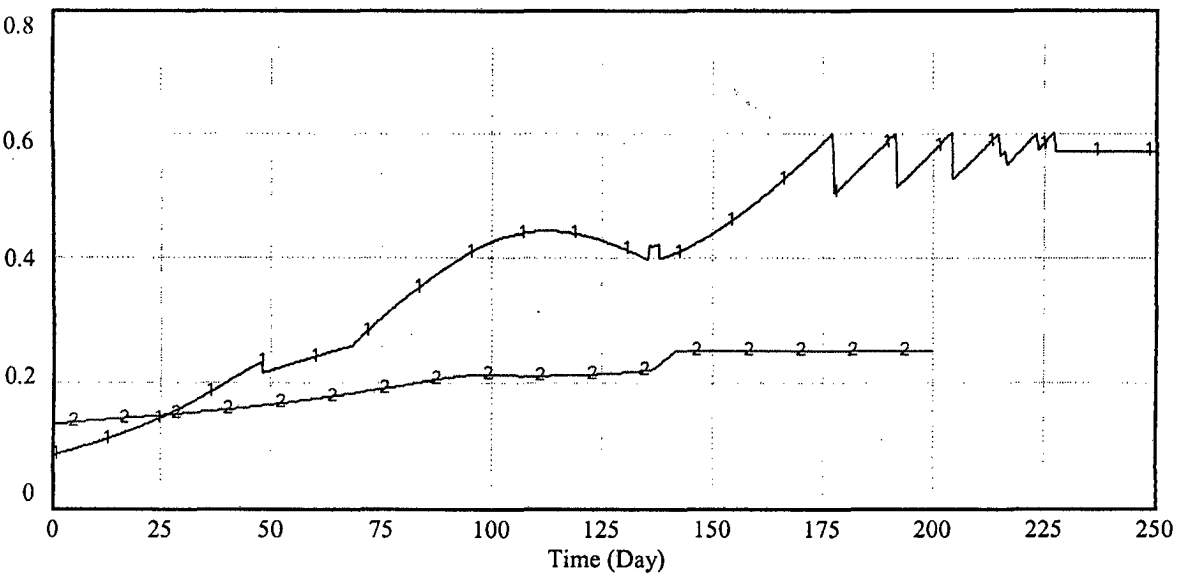
(32) Paralelismo máximo = 2

Units: Dmnl

(33) Pressão interna para cumprir o cronograma = (3 \* IF THEN ELSE (Atraso Previsto <= 0, 0, IF THEN ELSE (Atraso Previsto >= 0.5 \* Cronograma inicial, 1, Atraso Previsto / 0.5 / Cronograma inicial)) + 2 \* Intolerância do cliente a ajustes no cronograma + 1 - Qualidade percebida do resultado) / 6

Units: Dmnl

Graph for Pressão interna para cumprir o cronograma



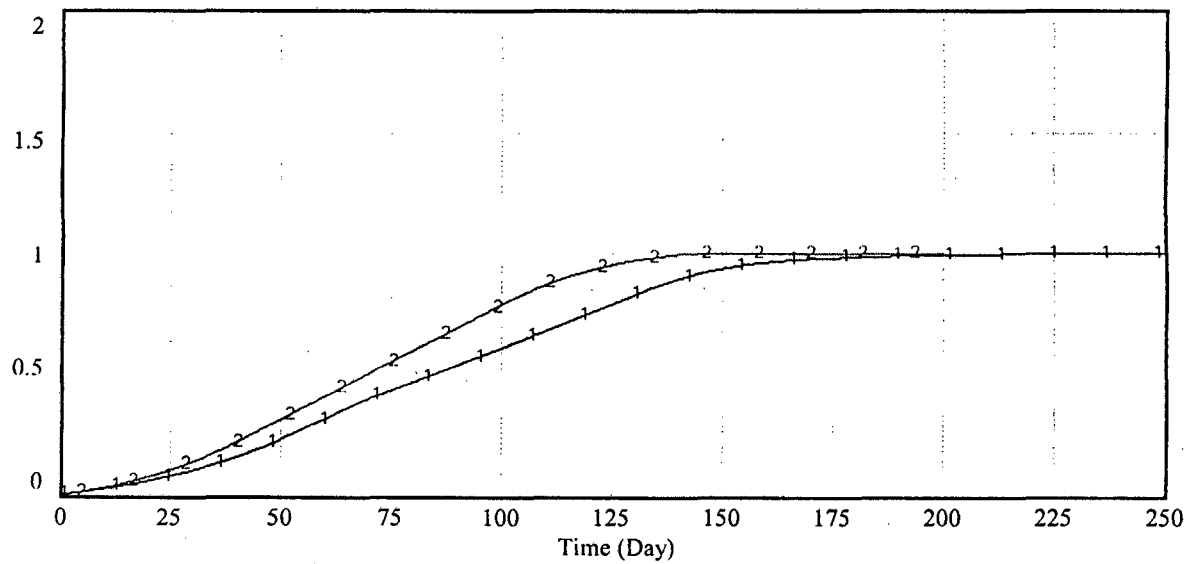
Pressão interna para cumprir o cronograma : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 Dmnl  
Pressão interna para cumprir o cronograma : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 Dmnl

(34) Produtividade = 0.4 \* Moral da equipe de engenharia + 0.6

Units: Dmnl



Graph for Progresso aparente

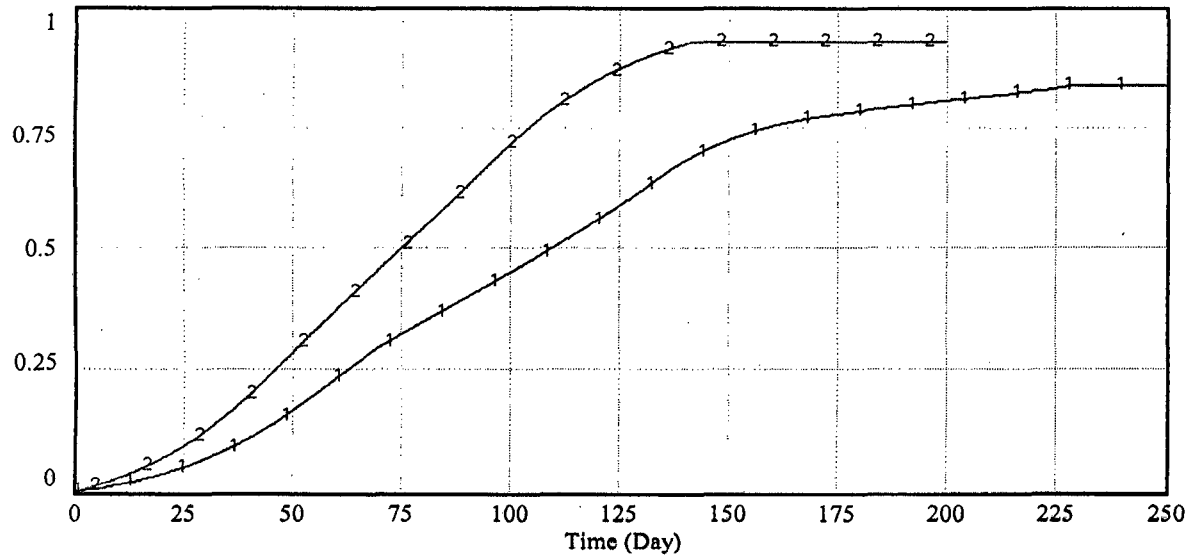


Progresso aparente : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Dmnl  
Progresso aparente : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 Dmnl

(37) 
$$\text{Progresso real} = \frac{(\text{Trabalho concluído} - \text{Retrabalhos ainda não identificados})}{(\text{Retrabalhos ainda não identificados} + \text{Trabalho a ser realizado} + \text{Trabalho concluído})}$$

Units: Dmnl

Graph for Progresso real



Progresso real : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Dmnl  
Progresso real : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 Dmnl

- (38) "Projeto concluído?" = IF THEN ELSE (Trabalho concluído < Definição inicial do projeto + Conjunto de alterações a serem solicitadas - "Disparador 2 - Alterações em especificações / escopo", 1, 0)

Units: Dmnl

- (39) "Projeto concluído? (Proposta)" = IF THEN ELSE ("Trabalho concluído (Proposta)" < Definição inicial do projeto, 1, 0)

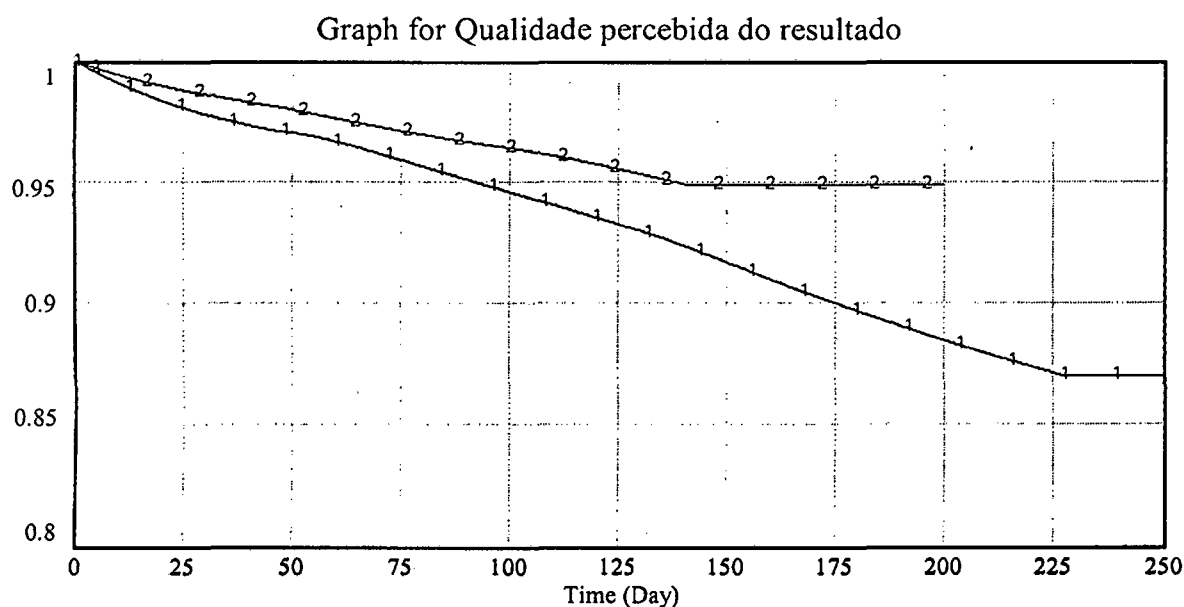
Units: Dmnl

- (40)  $\text{Qualidade de execução do trabalho} = 0.43 * (4 * \text{Moral da equipe de engenharia} + 1 - \text{Trabalho não programado} / \text{Definição inicial do projeto} + 3 * (1 - (\text{Paralelismo} - \text{Paralelismo inicialmente programado}) / (\text{Paralelismo máximo} - \text{Paralelismo inicialmente programado}))) / 8 + 0.5$

Units: Dmnl

- (41) Qualidade percebida do resultado = 1 - (Retrabalho conhecido / Trabalho executado)

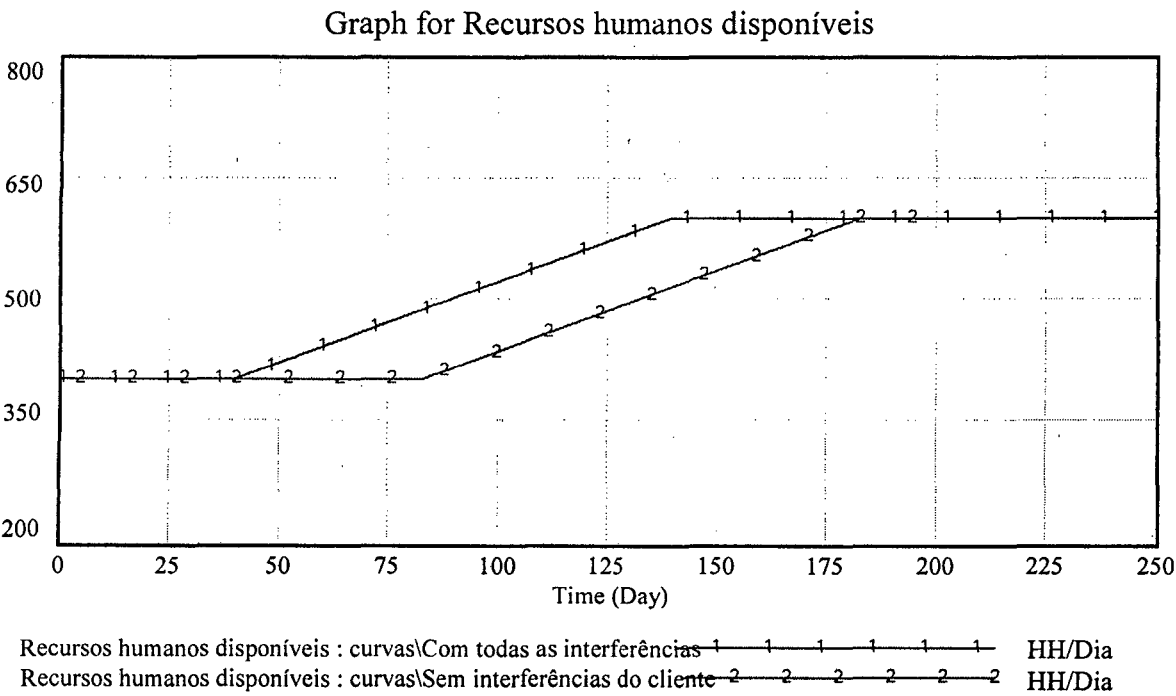
Units: Dmnl



Qualidade percebida do resultado : curvas\Com todas as interferências  Dmnl

Qualidade percebida do resultado : curvas\Sem interferências do cliente — 2 — 2 — 2 — 2 — 2 — 2 — 2 Dmnl

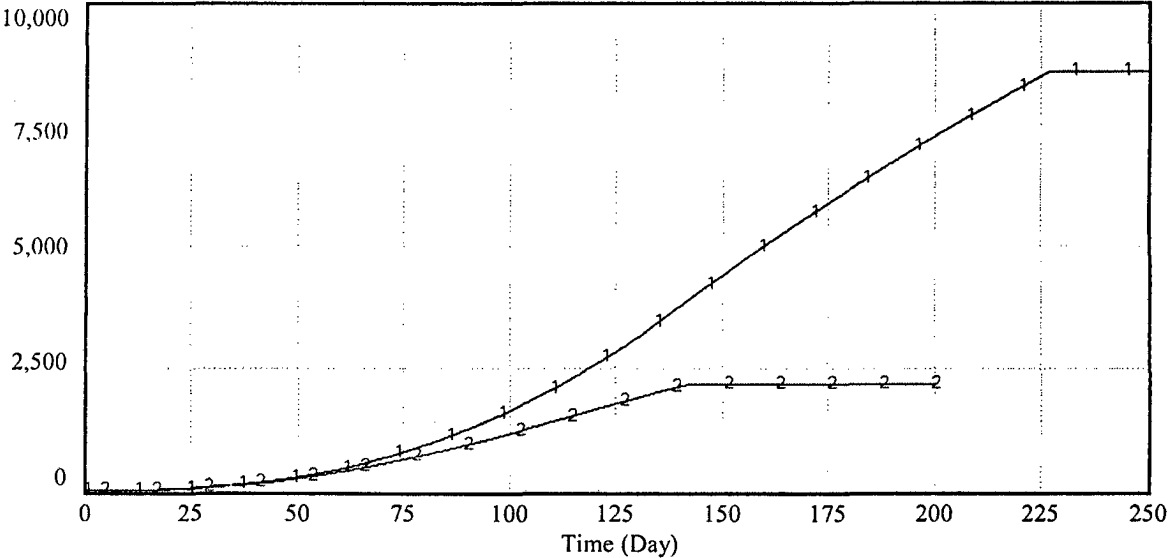
(42) Recursos humanos disponíveis = INTEG (Horas extras, Capacidade Normal)  
Units: HH/Dia



(43) "Recursos humanos disponíveis (Proposta)" = 400  
Units: HH/Dia

(44) Retrabalho conhecido = INTEG ("Eficácia da GQ (detecção de erros)", 0)  
Units: HH

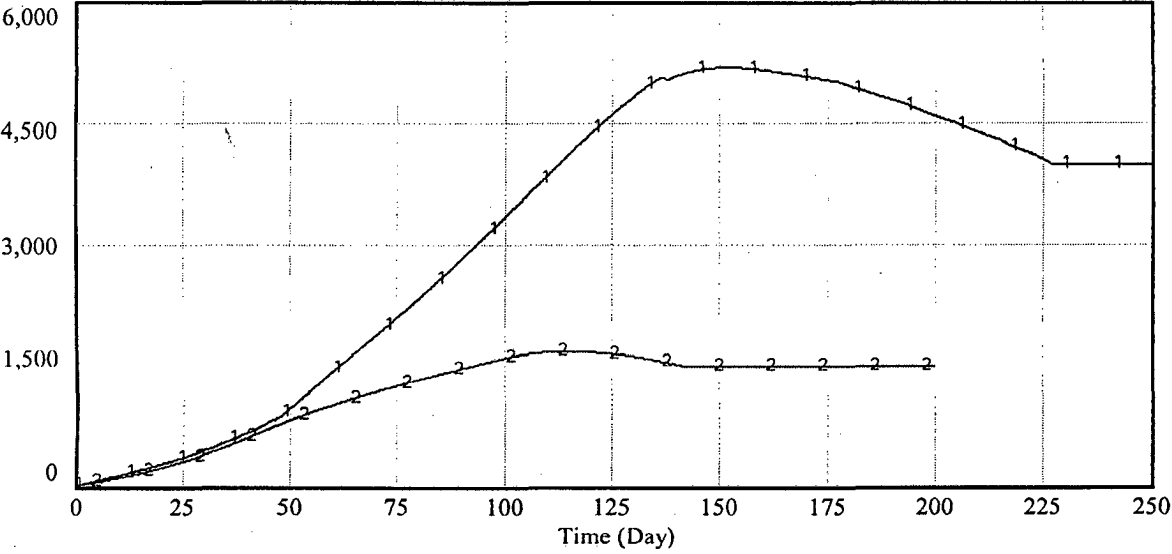
Graph for Retrabalho conhecido



Retrabalho conhecido : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 HH  
Retrabalho conhecido : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 HH

(45) Retrabalhos ainda não identificados = INTEG (Geração de erro - "Eficácia da GQ (detecção de erros)", 0)  
Units: HH

Graph for Retrabalhos ainda não identificados



Retrabalhos ainda não identificados : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 HH  
Retrabalhos ainda não identificados : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 HH

(46) SAVEPER = TIME STEP  
Units: Day



The frequency with which output is stored.

(47) Tempo de ajuste = 100

Units: Dia

(48) Tempo execução atividades extras = 30

Units: Dia

(49) Tempo execução trabalho adicional = 9

Units: Dia

(50) Tempo execução verificação = 20

Units: Dia

(51) Tempo padrão para detectar erros = 60

Units: Dia

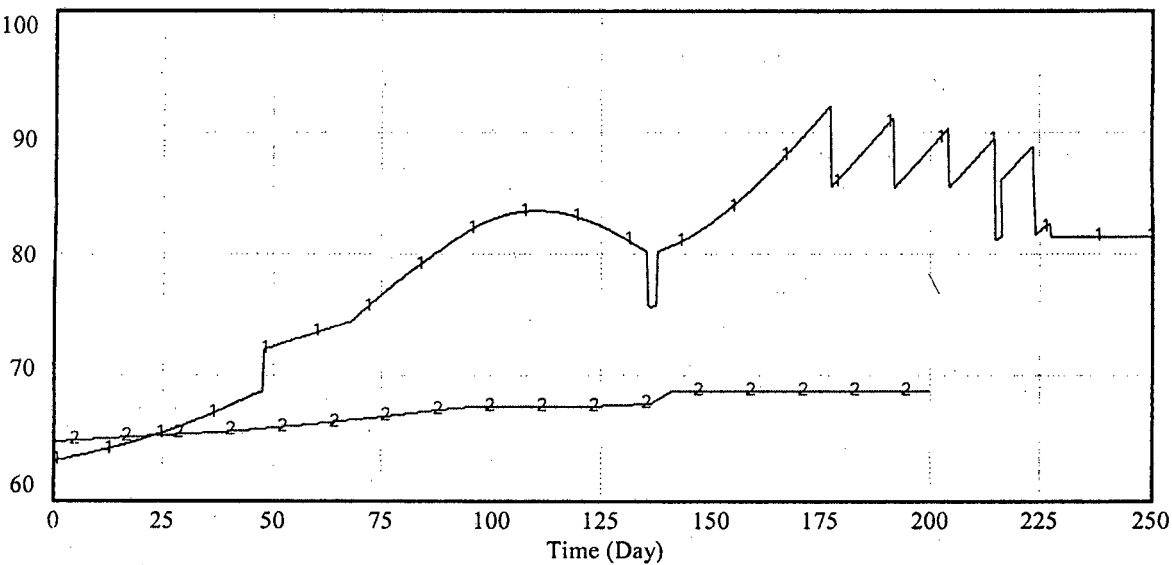
(52) Tempo para ajustes no cronograma = 1

Units: Dia

(53) Tempo para detectar erros = Tempo padrão para detectar erros \* (1 + (Pressão interna para cumprir o cronograma + 1 - Consolidação dos dados de projeto) / 2)

Units: Dia

Graph for Tempo para detectar erros



Tempo para detectar erros : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Dia  
Tempo para detectar erros : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 Dia

(54) Tempo real para finalizar = Atraso real + "Cronograma acordado (tempo disponível)" + Folga

Units: Dia

(55) TIME STEP = 0.25

Units: Day

The time step for the simulation.

(56) Total de ajustes no cronograma = INTEG (Ajustes no cronograma, 0)

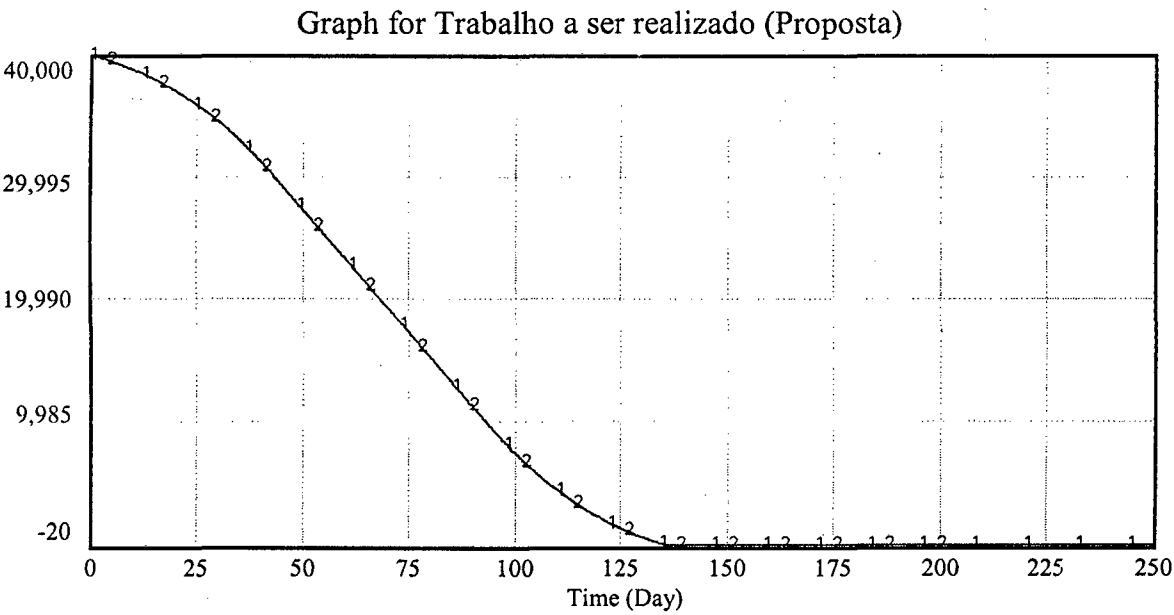


(58) Trabalho a ser realizado = INTEG (-Trabalho em execução + "Eficácia da GQ (detecção de erros)" + Verificação a ser realizada + Trabalho adicional aceito + Atividades extra em execução, Definição inicial do projeto)

Units: HH

(59) "Trabalho a ser realizado (Proposta)" = INTEG (-"Trabalho em execução (Proposta)", Definição inicial do projeto)

Units: HH

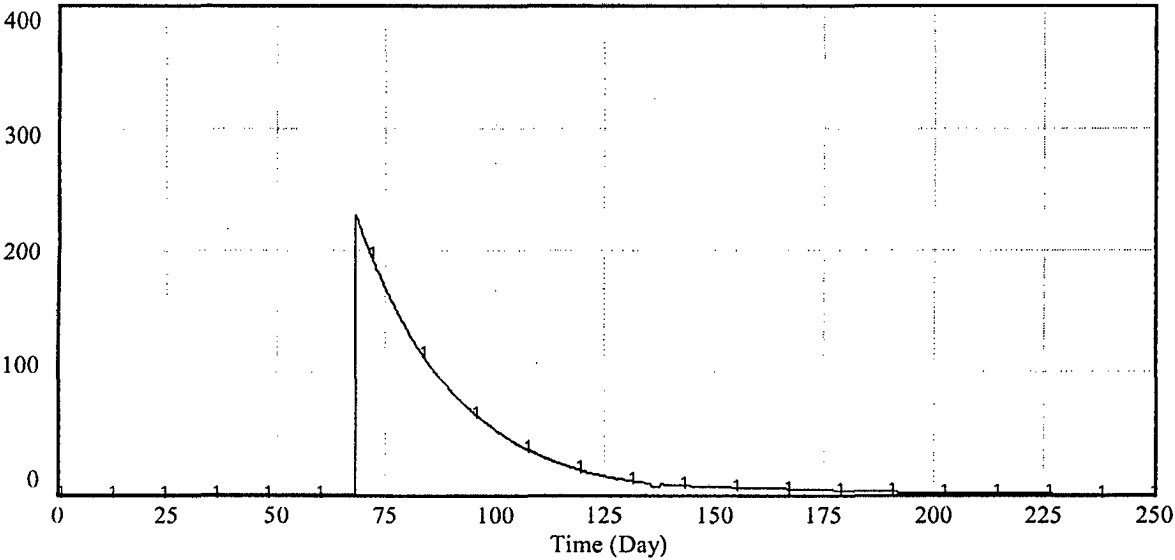


"Trabalho a ser realizado (Proposta)" : curvas\Com todas as interferências<sup>1</sup> — 1 — 1 — 1 — 1 — 1 — HH  
"Trabalho a ser realizado (Proposta)" : curvas\Sem interferências do cliente<sup>2</sup> — 2 — 2 — 2 — 2 — 2 — HH

(60) Trabalho adicional aceito = "Projeto concluído?" \* IF THEN ELSE ("Cronograma acordado (tempo disponível)" / Cronograma inicial > 0.5, 0, IF THEN ELSE ("Disparador 2 - Alterações em especificações / escopo" <= 0, 0, (2 \* Pressão interna para cumprir o cronograma + 1 - Confiança do cliente na equipe de projeto + 3 \* (1 - Progresso aparente) + 2 \* "Disparador 1 - Interferência do cliente na engenharia") \* "Disparador 2 - Alterações em especificações / escopo" / (8 \* Tempo execução trabalho adicional))))

Units: HH/Dia

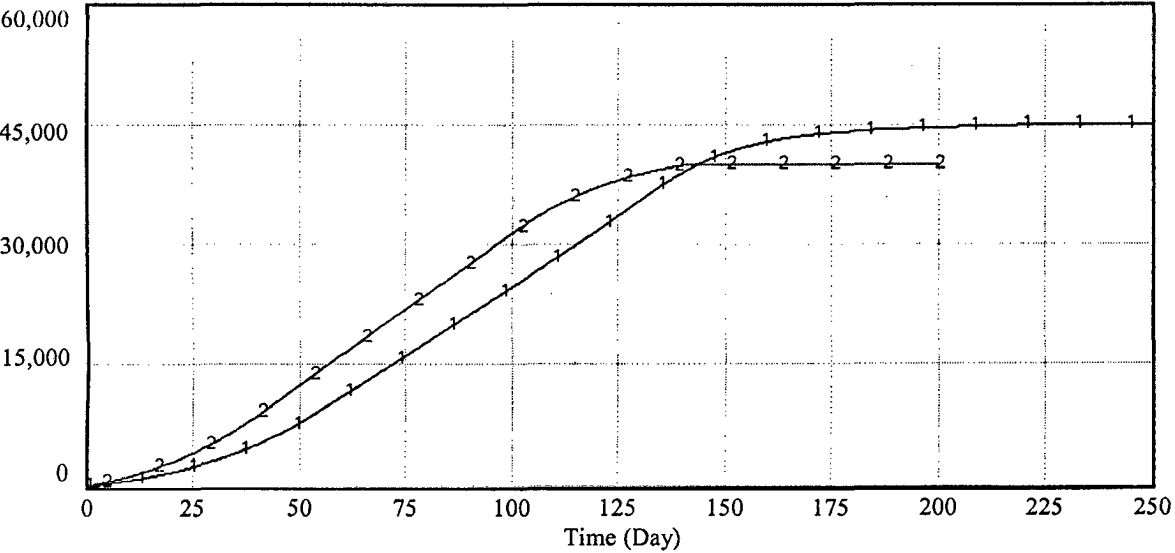
Graph for Trabalho adicional aceito



Trabalho adicional aceito : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 HH/Dia  
Trabalho adicional aceito : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 HH/Dia

(61) Trabalho concluído = INTEG (Trabalho em execução - "Eficácia da GQ (detecção de erros)" - Verificação a ser realizada - Atividades extra em execução, 1)  
Units: HH

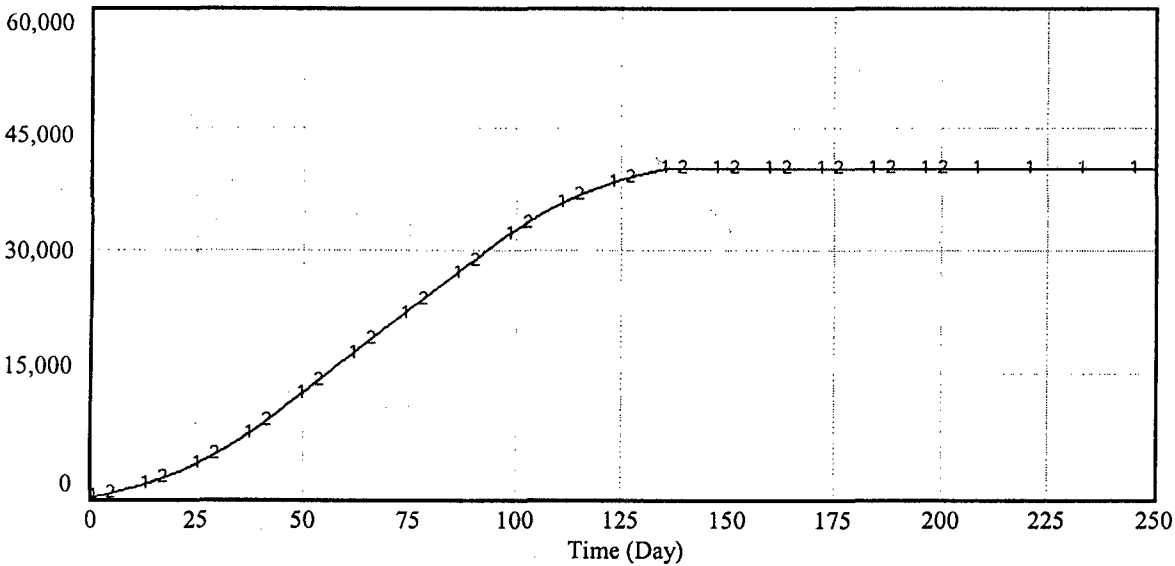
Graph for Trabalho concluído



Trabalho concluído : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 HH  
Trabalho concluído : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 HH

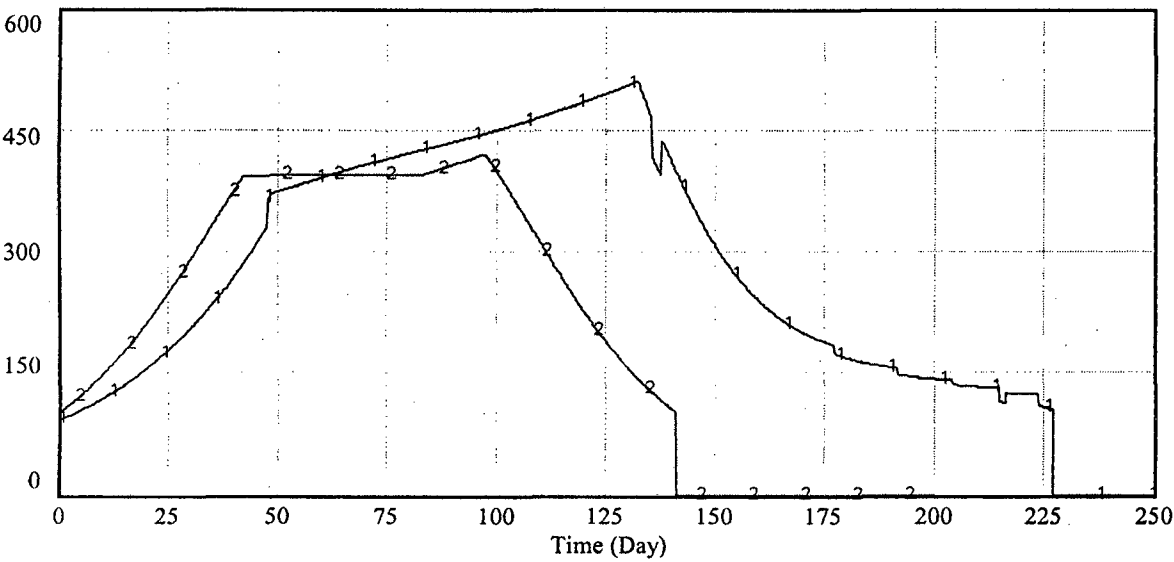
(62) "Trabalho concluído (Proposta)" = INTEG ("Trabalho em execução (Proposta)", 1)  
Units: HH

Graph for Trabalho concluído (Proposta)



"Trabalho concluído (Proposta)" : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 HH  
"Trabalho concluído (Proposta)" : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 HH

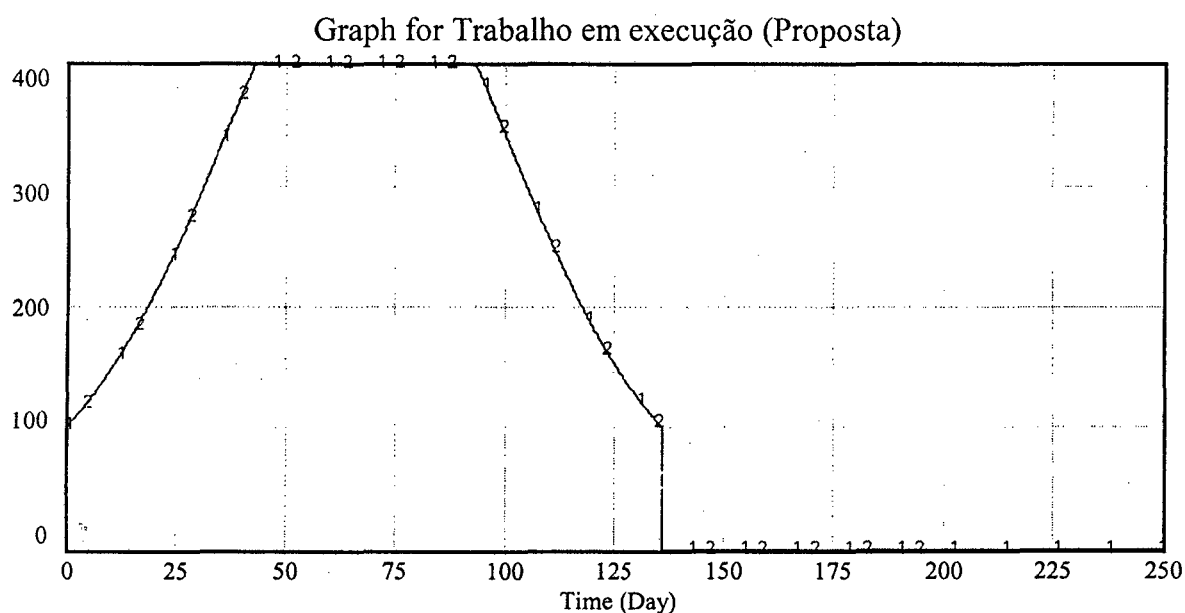
Graph for Trabalho em execução



Trabalho em execução : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 HH/Dia  
Trabalho em execução : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 HH/Dia

- (63) Trabalho em execução = IF THEN ELSE (Trabalho a ser realizado < 0, 0, "Projeto concluído?" \* Produtividade \* IF THEN ELSE (Paralelismo \* (Equipe mínima + Recursos humanos disponíveis \* Trabalho a ser realizado \* Trabalho concluído / (Trabalho a ser realizado + Trabalho concluído) ^ 2 / Ajuste) <= Recursos humanos disponíveis, IF THEN ELSE (Paralelismo \* (Equipe mínima + Recursos humanos disponíveis \* Trabalho a ser realizado \* Trabalho concluído / (Trabalho a ser realizado + Trabalho concluído) ^ 2 / Ajuste) >= Equipe mínima, Paralelismo \* (Equipe mínima + Recursos humanos disponíveis \* Trabalho a ser realizado \* Trabalho concluído / (Trabalho a ser realizado + Trabalho concluído) ^ 2 / Ajuste), Equipe mínima), Recursos humanos disponíveis))

Units: HH/Dia



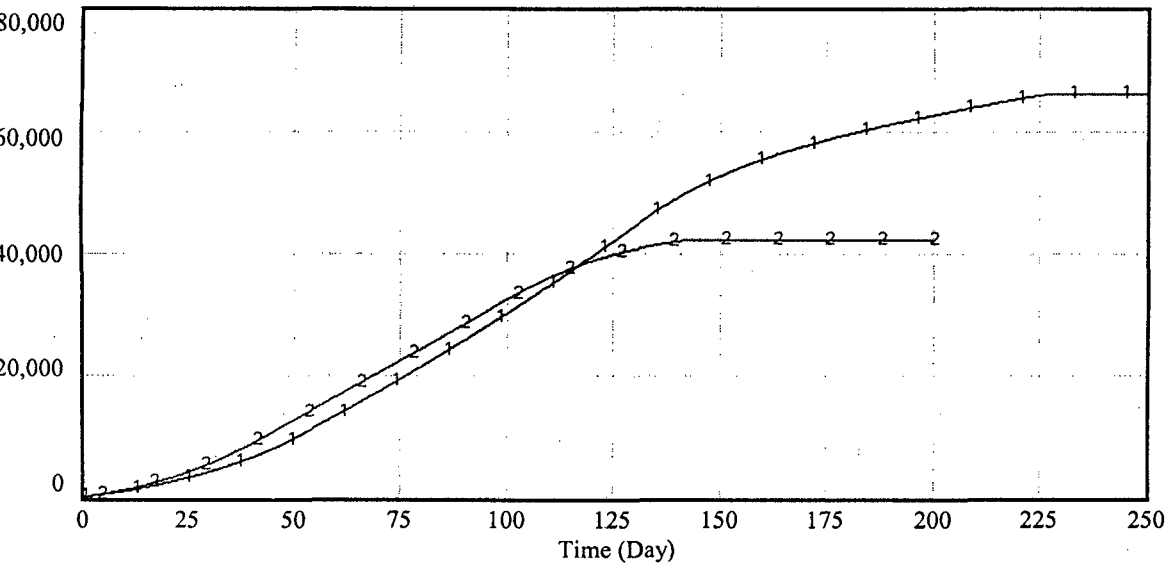
"Trabalho em execução (Proposta)" : curvas\Com todas as interferências 1—1—1—1—1 HH/Dia  
 "Trabalho em execução (Proposta)" : curvas\Sem interferências do cliente 2—2—2—2—2 HH/Dia

- (64) "Trabalho em execução (Proposta)" = "Projeto concluído? (Proposta)" \* IF THEN ELSE (Equipe mínima + "Recursos humanos disponíveis (Proposta)" \* "Trabalho a ser realizado (Proposta)" \* "Trabalho concluído (Proposta)" / ("Trabalho a ser realizado (Proposta)" + "Trabalho concluído (Proposta)") ^ 2 / Ajuste <= "Recursos humanos disponíveis (Proposta)", IF THEN ELSE (Equipe mínima + "Recursos humanos disponíveis (Proposta)" \* "Trabalho a

ser realizado (Proposta)" \* "Trabalho concluído (Proposta)" / ("Trabalho a ser realizado (Proposta)" + "Trabalho concluído (Proposta))" ^ 2 / Ajuste >= Equipe mínima, Equipe mínima + "Recursos humanos disponíveis (Proposta)" \* "Trabalho a ser realizado (Proposta)" \* "Trabalho concluído (Proposta)" / ("Trabalho a ser realizado (Proposta)" + "Trabalho concluído (Proposta))" ^ 2 / Ajuste, Equipe mínima), "Recursos humanos disponíveis (Proposta)")

Units: HH/Dia

Graph for Trabalho executado

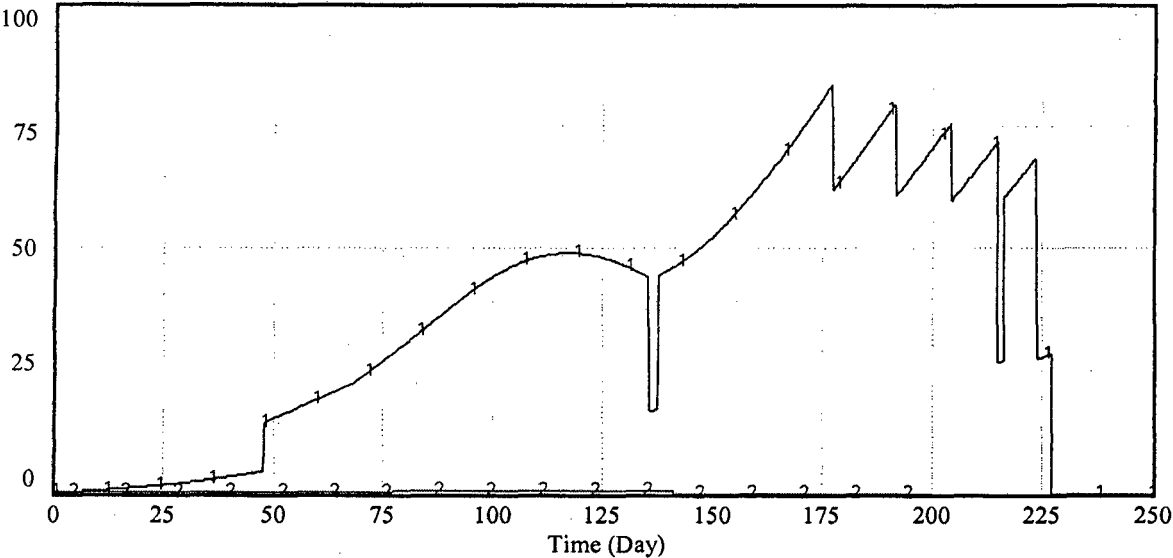


Trabalho executado : curvas\Com todas as interferências 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 HH  
Trabalho executado : curvas\Sem interferências do cliente 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 HH

- (65) Trabalho executado = INTEG (Trabalho em execução, 1)  
Units: HH
- (66) Trabalho não programado = INTEG (Trabalho adicional aceito + Verificação a ser realizada + "Eficácia da GQ (detecção de erros)", 0)  
Units: HH



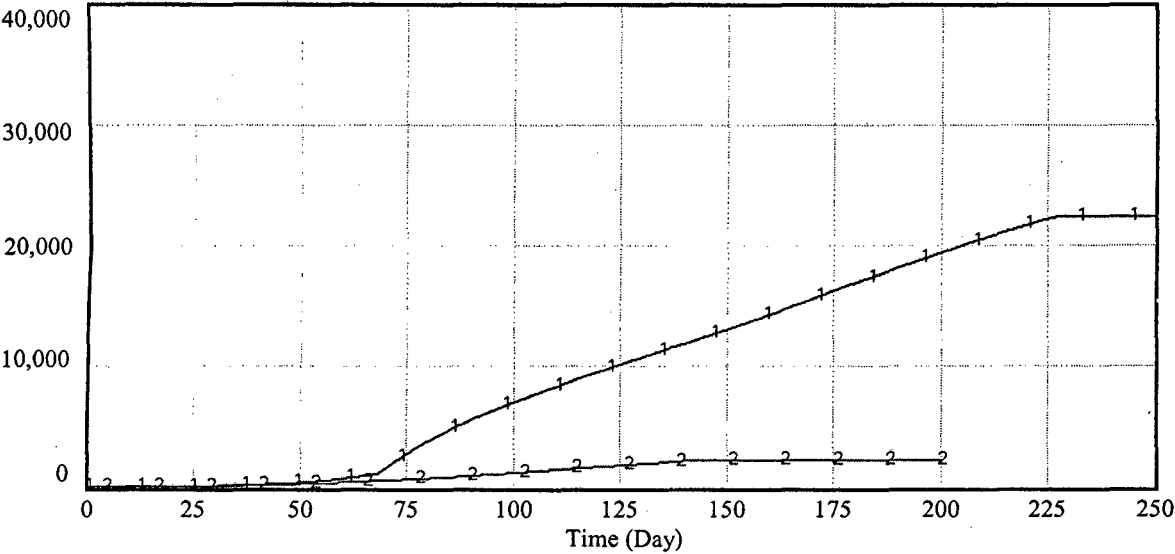
Graph for Verificação a ser realizada



Verificação a ser realizada : curvas\Com todas as interferências1 1 1 1 1 1 1 HH/Dia  
Verificação a ser realizada : curvas\Sem interferências do cliente2 2 2 2 2 2 2 HH/Dia

(67) Verificação a ser realizada = "Projeto concluído?" \* (0.2 \* "Eficácia da GQ (detecção de erros)" \* (Paralelismo - Paralelismo inicialmente programado) + Alteração seqüência trabalho da engenharia / Tempo execução verificação)  
Units: HH/Dia

Graph for Trabalho não programado



Trabalho não programado : curvas\Com todas as interferências1 1 1 1 1 1 1 HH  
Trabalho não programado : curvas\Sem interferências do cliente2 2 2 2 2 2 2 HH

## REFERÊNCIAS

- 
- i Forrester, J. W., *Industrial Dynamics*. MIT Press. Cambridge. MA, 1961
  - ii Rodrigues, A. and Bowers, J., 'The role of system dynamics in project management', *International Journal of Project Management*, 1996. **14(4)**, 213-220.
  - iii Cooper, K. G., 'Naval Ship Production: A Claim Settled and a Framework Built', *Interfaces*, 1980. Vol. 10, No. 6
  - iv Williams, Y., Eden, C., Ackermann, F., and Tait, A 'The vicious circles of parallelism' *International Journal of Project Management* **13** (5) (1995) 151-155
  - v Kirkwood, C. – 'System Dynamics Methods: A Quick Introduction' - <http://www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/SDIntro/SDIntro.htm>
  - vi Chapman, R. 'The role of system dynamics in understanding the impact of changes to key project personnel on design production within construction projects' *International Journal of Project Management* **16** (4) (1998) 235-247
  - vii Morris, P., Project Management Organisation, CIOB, Construction Papers Vol. 2, No. 1, 1983
  - viii Ackoff, R., Systems, Organisation and Interdisciplinary Research. In *System Thinking*, ed. F. E. Emery. Penguin. London, 1969.
  - ix Roberts, N. et al., *Introduction to computer Simulation: The System Dynamics Approach*, Addison-Wesley Publishing Co. Reading. MA, 1983.
  - x Richmond, B., "The 'Thinking' in System Thinking: Seven Essential Skills", *Toolbox Reprint Series*, Pegasus Communications, Inc., 2000.

- 
- <sup>xi</sup> Sterman, J., *Business dynamics – Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw Hill, 2000.
- <sup>xii</sup> Cooper, K – “The Rework Cycle: Vital Insights into Managing Projects” *IEEE Engineering Management Review* Fall 1993, pp 4-12.
- <sup>xiii</sup> Cooper, K – “The \$2,000 Hour: How Managers Influence Project Performance Through the Rework Cycle” *Project Management Journal* Vol. 25, March 1994, No. 1, pp. 11-24
- <sup>xiv</sup> Rodrigues, A., Williams, T. – “*System Dynamics in Project Management: Assessing the Impacts of Client Behaviour on Project Performance*” Research Paper No. 1996/6, Strathclyde Business School, 1996.
- <sup>xv</sup> Turner, J.R., 1993, *The handbook of Project-based Management*. McGraw-Hill, London.
- <sup>xvi</sup> Williams, T., Ackermann, F. and Eden C. – “Structuring a delay and disruption claim: An application of cause-mapping and system dynamics” *European Journal of Operational Research* 148 (2003) 192-204.