

# Métodos PERT/CPM: Um estudo de caso

Izolinda Clemente da Silva

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

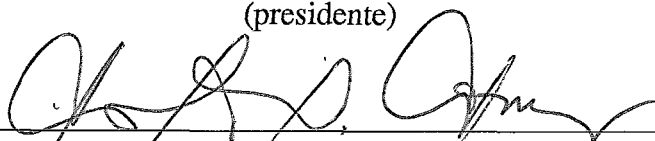
Aprovada por:



---

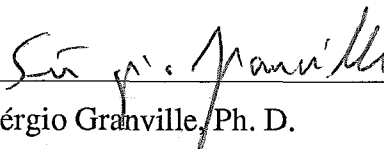
Prof. Nelson Maculan Filho, D.Sc., D. Habil.

(presidente)



---

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D. Sc., L. Doc.



---

Prof. Sérgio Granville, Ph. D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 1991

DA SILVA, IZOLINDA CLEMENTE

Métodos PERT/CPM: Um Estudo de Caso [ Rio de Janeiro ] 1991

IX, 156 p., 29,7 cm, (COPPE/UFRJ, M. Sc., ENGENHARIA DE SISTEMAS E  
COMPUTAÇÃO, 1991)

TESE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1 - PERT/CPM      2 - Schedule

I. COPPE/UFRJ      II. Título(Série).

A Juliana

A minha mãe, minha avó,

minha tia,

minha madrinha e meu padrinho.

## Agradecimentos

Agradecimentos sinceros ao meu orientador Professor Nelson Maculan, incentivador constante e mestre absoluto sem o qual não chegaria à meta final.

Ao meu padrinho e tio Professor Armando Augusto Clemente, o meu carinho e admiração por suas palavras de estímulo e impulso para o êxito de meu trabalho.

À amiga Professora Maria das Graças Bruno Marietto, co-orientadora desta tese, obrigada pela sua dedicação sincera e co-orientação brilhante.

Ao melhor informático da UFRJ, Rogério Macêdo Pontes, o meu reconhecimento e amizade, não só pelas brilhantes sugestões dadas à parte computacional mas também, pela coleta de dados e acompanhamento da tese de uma forma geral.

Ao Paulo Vianna, responsável pela Gráfica da UFRJ, o meu apreço a sua enorme gentileza e boa vontade pois facilitou o acesso à coleta de dados necessários e imprescindíveis ao desenvolvimento deste trabalho.

A queridíssima Lourdes, o meu obrigado pela sua presteza, dada à confecção final deste trabalho.

Ao querido Professor Clóvis Bucich, pelas correções no abstract.

Agradeço também a minha Tia Ceíça pelas valiosas correções ao longo do texto.



Resumo da Tese apresentada à COPPE como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

Métodos PERT/CPM:

Um Estudo de Caso

Izolinda Clemente da Silva

Setembro de 1991

Orientador: Nelson Maculan Filho

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

O planejamento e schedule de projetos não são procedimentos usuais nos trabalhos desenvolvidos no Brasil. Entretanto, técnicas de gerenciamento totais como **PERT**, **CPM** e **PERT/CPM** são utilizadas em outros países com resultados amplamente satisfatórios.

Trabalhos voltados à aplicação e aperfeiçoamento desses métodos são de fundamental importância na medida em que promovem a estruturação e o consequente desenvolvimento do gerenciamento de projetos, premiando desta forma a eficiência dos mesmos.

Neste contexto, utilizamos as teorias dos métodos **PERT**, **CPM** e **PERT/CPM** (Teoria de Redes, Caminho Crítico, Distribuições Probabilísticas, Gráfico de Gantt etc) ao Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ.

Abstract of Thesis presented to COPPE as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

PERT/CPM Methods:

A Case Study

Izolinda Clemente da Silva

September, 1991

Thesis Supervisor: Nelson Maculan Filho

Department: Programa de Engenharia de Sistemas e Computação

The planning and scheduling of projects aren't usual procedures in works developed in Brazil. However, management techniques as PERT, CPM and PERT/CPM are used in other countries with good results.

Works concerning the application and improvement of these methods are of fundamental importance, since they promote the structuration and the consequent development of projects management, in this way improving the efficiency of them.

In this context, we applied the theories of PERT, CPM and PERT/CPM methods (Network Theory, Critical Path, Probabilistic Distributions, Gantt Chart) to the Department of Development, Criation and Grafic Production of UFRJ.





<i>N.5.6. Determinação do Caminho Crítico</i>	85
<i>N.5.7. O Gráfico de Gantt Sequenciado</i>	86
V. RESULTADOS	91
VI.1. Introdução	91
VI.2. Dados Amostrais	93
VI.3. Análise do Gráfico de Gantt utilizando-se simulação	93
VI.4. Análise do Gráfico de Gantt usando os dados gerados através da simulação	95
VI.5. Conclusão	103
VI. CONCLUSÃO	107
BIBLIOGRAFIA	109
ANEXO I (Distribuições Probabilísticas)	115
ANEXO II (Resultados da Análise dos dados para famílias de distribuições)	138

# Capítulo I

## INTRODUÇÃO

### I.1. Objetivos

Um gerenciamento efetivo requer uma visão geral de todas as tarefas a serem executadas e os recursos necessários para serem completados.

Podemos observar como as trocas nos recursos, tempo requerido, datas de início e outros dados irão afetar o **schedule**.

A administração de projetos não é uma tarefa elementar e sua complexidade aumenta exponencialmente à grandeza do mesmo. Por este motivo, métodos tais como PERT e CPM são indispensáveis ao bom gerenciamento de um projeto.

O gerenciamento de um projeto é um processo de definição de objetivos do mesmo, com a descrição do que é necessário para conclusão do propósito. Tal gerenciamento é relativamente complexo, porque planejar começa por trocar o momento em que o projeto foi planejado.

Um projeto consiste em uma série de atividades que são necessárias para concluirmos o desejado. Ele deverá conter dez, vinte ou centenas de tarefas, todas com características diferentes que possuem **dependências** entre si, de formas diferentes.

Entretanto, a utilização destes métodos para o planejamento e **schedule** nas

Instituições brasileiras ainda está aquém do necessário.

Objetivando, realizar um estudo de métodos gerenciadores que enfocam principalmente a relação custo/tempo, neste trabalho aplicou-se o método **PERT/CPM** ao Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ. Para tanto, diversas análises foram feitas como por exemplo determinação do Caminho Crítico, Distribuições Probabilísticas, realocamento de recursos etc.

## I.2. Organização

O trabalho está organizado da seguinte forma:

O capítulo I é uma introdução deste trabalho, apresentando de forma resumida cada capítulo visto .

No capítulo II, apresentamos alguns conceitos que serão utilizados no transcorrer do texto, como por exemplo, tempo de uma atividade, evento, marco, rede, caminho crítico, **Free Float**, atividades fantasmas etc.

No capítulo III discorreremos sobre os modelos **CPM**, **PERT** e **PERT/CPM**, apresentando suas origens, seus fundamentos, vantagens e desvantagens na sua utilização. Ainda neste capítulo é feita uma comparação entre os modelos **PERT** e **CPM**. Procurou-se resumir os principais tópicos, abordando também a formulação matemática envolvida em tais modelos.

No capítulo IV descrevemos o problema analisado. Aqui é apresentado como

funciona o Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção da Gráfica da UFRJ; como se deu sua abertura à comunidade universitária; seu maquinário e sua força de trabalho. Um grande esforço foi feito no sentido de se obter todas as informações necessárias, principalmente aquelas relacionadas à parte de simulação da produção de um livro, que foi utilizada neste trabalho. Foram dias e mais dias de pesquisa dentro da Gráfica, obtendo informações e observando o desenrolar dos trabalhos, para se formalizar a proposta de aplicação dos Métodos **PERT/CPM** neste contexto. Também neste capítulo é apresentada uma descrição do software utilizado para a aplicação do problema (outra etapa deste trabalho que também envolveu horas de pesquisa para escolha de um software sobre **PERT/CPM**). Como pontos principais apresentamos neste capítulo o macro fluxo de serviços da Gráfica da UFRJ, o diagrama representativo do sistema (diagrama de Moder) do Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ e as tabelas com os valores de Custo, Duração, unidade de trabalho, força de trabalho etc. Outro ponto também abordado neste capítulo diz respeito à utilização do Gráfico de Gantt, uma ferramenta muito útil na avaliação do andamento de um projeto.

No capítulo V, são apresentados os resultados obtidos do problema estudado. A maneira de se chegar a estes resultados partiu da idéia de se fazer uma simulação do trabalho envolvido na produção de um livro no Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ, que passasse por todas os processos descritos no diagrama definido no capítulo IV. Nesta etapa foi trabalhada mais a parte estatística e computacional. Foram feitos levantamentos amostrais sobre cada tarefa (envolvida na produção de um livro) que se realizava na Gráfica da UFRJ, e a partir destes dados, foram feitos estudos estatísticos, com o objetivo de se determinar qual a função de distribuição probabilística que melhor se ajustava a cada conjunto de dados coletados.



No capítulo VI são apresentadas as conclusões tiradas deste trabalho, que com o auxílio da simulação, pode ser feito com maior rapidez do que se fosse aplicada na prática. Apresentamos ainda neste capítulo algumas direções nas quais futuros trabalhos tendem a se concentrar.

Como parte adicional foram incluídos dois anexos.

No anexo 1 discorremos sobre as distribuições probabilísticas (Normal, Beta, Gama, Lognormal), que foram mencionadas nos conceitos de PERT, CPM, PERT/CPM e que também foram utilizadas na etapa da escolha da família de distribuição a que pertenciam os dados amostrados,

No anexo 2 apresentamos os conceitos necessários para se obter uma boa simulação, além de apresentarmos os resultados obtidos na análise dos dados como: testes de Kolmogorov-Smirnov, Qui-quadrado, distribuição de frequência etc.

## Capítulo II

### CONCEITOS UTILIZADOS

#### II.1. Definição

Durante a apresentação deste trabalho, vários conceitos relacionados aos modelos PERT e CPM serão utilizados. Eles serão apresentados neste capítulo com o objetivo de servir como consulta aos leitores.

#### II.2. Conceitos

A rede, grafo ou diagrama PERT/CPM é um conjunto de pontos, nós ou vértices, denominados eventos ou acontecimentos, relacionados através de um critério de correspondência constituído por um grupo de etapas ou operações, traduzindo as relações de ordem tecnológica que lhes dizem respeito.

A atividade é a execução real de uma tarefa que consome tempo, mão-de-obra, serviço de equipamento, material e recursos financeiros. Pode representar, também, uma etapa do projeto que só consome tempo, como "espera de equipamento", "cura do concreto" e outros, ou tarefas de difícil quantificação, como "assinatura de contrato", "aprovação do orçamento" etc.

Tempo de Atividade é o tempo necessário para a finalização de uma atividade.

Seta é o símbolo no qual um evento é representado.

Os eventos, indicando o início ou o fim da atividade, são marcos ou pontos significativos na execução do projeto, não consumindo tempo ou recursos de qualquer natureza, nem representando a execução real de uma tarefa.

É importante assinalar que uma atividade não pode ser iniciada, sem que o evento inicial tenha ocorrido, e que este só ocorre depois de executadas todas as atividades que aí terminam.

Assim, o evento final de uma atividade corresponde ao evento inicial da atividade que deve ser executada em seqüência. O projeto, como um todo, tem um evento inicial, que não depende de nenhuma atividade e do qual partem as primeiras atividades do projeto, e um evento final, do qual não depende mais nenhuma atividade e ao qual chegam as últimas atividades do projeto.

Uma vez definida a estrutura analítica do projeto, a fase seguinte de implantação do **PERT/CPM** consiste em identificar e relacionar as atividades do empreendimento, com o grau de detalhamento desejado.

Nó ou Junção é outro nome dado ao evento.

**Marco (Milestone)** é o outro nome dado a um evento. Algumas vezes reservado para um evento maior ou muito importante.

**i** é o símbolo utilizado para designar o número do início de um evento.

**j** é o símbolo utilizado para designar o número do fim de um evento.

Rede pode ser definida como um diagrama de setas.

As Famílias de Redes são constituídas por um diagrama mestre, que vai sendo detalhado em diversos níveis, constituindo um conjunto de redes. Elas apresentam as seguintes características:

a) o conjunto de redes é o que possui menor consistência e compatibilidade;

b) é mais fácil de estender, criando novos níveis de detalhamento;

c) não é fácil de assegurar consistência de custo e programação;

d) é mais fácil de implantar, começando pela rede mestre, que vai sendo detalhada de acordo com as necessidades;

e) apresenta dificuldade em manter consistência nos cálculos de datas dos diferentes níveis;

f) apresenta dificuldade em manter consistência entre eventos e atividades do mesmo nível.

Os Fragmentos de Redes correspondem a diversos diagramas internacionais, de modo que podem ser operados separadamente, por grupos de "fragmentos" ou todos em conjunto. Apresentam as seguintes características:

a) o problema de maior tamanho é resolvido, pois cada fragmento contém

de vinte e cinco a cem atividades e pode ser reduzido, fotográfica ou xerograficamente, para 45 x 60 cm, sem perder a legibilidade;

b) podem ser implantados isoladamente e interconectados posteriormente, ganhando-se em rapidez de implantação;

c) a integração e sincronização dos dados da rede é automática, permitindo consistência no cálculo das datas;

d) cada unidade de apuração pode desenvolver e manter a rede correspondente ao seu campo de ação, rede essa que pode ser integrada às demais, em qualquer momento.

Caminho Crítico é o caminho de maior duração entre o evento inicial e o evento final da rede, assinalado pelos eventos de menor diferença (folga) constante, entre as data-mais-tarde e data-mais-cedo.

**Free Float** é encontrado pela subtração da data-mais-cedo-de-fim da data-mais-cedo-de-início de uma determinada operação.

A seguir iremos discorrer sobre as folgas.

Existem dois tipos de folgas:

a) a folga no evento, que corresponde à diferença entre a data-mais-tarde ( $TT_j$ ) e a data-mais-cedo ( $TC_j$ ) no evento considerado:

$$FE_i = TT_i - TC_i$$

$$FE_j = TT_j - TC_j$$

A data-mais-cedo do evento corresponde ao prazo mínimo para que estejam concluídas todas as atividades que condicionam a sua ocorrência.

A data-mais-tarde do evento corresponde ao prazo máximo para que estejam concluídas todas as atividades que condicionam a sua ocorrência, sem que produza um atraso na data final do projeto.

b) as folgas ou margens nas atividades, que correspondem à diferença entre o tempo disponível para a execução de uma atividade e a respectiva duração estimada.

O tempo disponível para a execução de uma atividade é o espaço de tempo que medeia entre a ocorrência do seu evento inicial (quando todas as atividades subsequentes podem ser iniciadas). Considerando que cada evento tem duas datas limites (mais-cedo e mais-tarde), conclui-se que se pode levar em conta quatro valores de tempos disponíveis:

I - de  $TC_i$  a  $TT_j$

II - de  $TT_i$  a  $TT_j$

III - de  $TT_i$  a  $TC_j$

IV - de  $TC_i$  a  $TC_j$

Esses quatro valores de tempos disponíveis, nos permitem calcular, também,

quatro valores de folgas ou margens, para a execução das atividades ( $te_{ij}$  é a duração da atividade):

$$\begin{aligned}
 \text{FOLGA TOTAL} &= FT = TT_j - (TC_j - te_{ij}) \\
 \text{FOLGA DEPENDENTE} &= FD = TT_j - (TT_i + te_{ij}) \\
 \text{FOLGA LIVRE} &= FL = TC_j - (TC_i + te_{ij}) \\
 \text{FOLGA INDEPENDENTE} &= FI = TC_j - (TT_i + te_{ij})
 \end{aligned}$$

A folga total é a folga de tempo máxima que existe para a execução da atividade, considerando o intervalo de tempo entre a data-mais-cedo de ocorrência do seu evento inicial e a data-mais-tarde de ocorrência de seu evento final.

A folga dependente é menor que o valor da folga total e sua existência depende do valor da data-mais-tarde-de-início da atividade, podendo assumir valores negativos, o que indica a inexistência desse tipo de folga.

A folga livre é a margem de tempo disponível entre a data-mais-cedo-de-término-da-atividade e a respectiva data-mais-cedo-de-início do evento. Quando a folga livre é consumida, as atividades subsequentes ainda podem começar em sua data-mais-cedo.

A folga independente é menor que o valor da folga livre, medida entre a data-mais-cedo-de-término da atividade e a respectiva data-mais-tarde-de-início. Quando a folga independente é consumida, as atividades subsequentes ainda podem começar na data-mais-cedo, mesmo que a atividade considerada, tenha começado em sua data-mais-tarde (BELCHIOR [5]).

**Total Float** é definido como um atraso que poderia ocorrer em qualquer operação sem afetar o tempo total do projeto. Atualmente, existem muitos tipos de **float time**, o mais comum tem sido o **total float**(HOROWITZ [21]).

**Total float** é o tempo máximo que uma operação pode ser atrasada sem afetar a data final do projeto. **Total float** é uma margem viável se todas as operações de precedência estão iniciando o mais cedo possível e todas as operações seguintes estão iniciando o mais tarde possível. Nós deveríamos utilizar o **total float** para encontrar o caminho crítico. O **total float** para qualquer operação é encontrado através da subtração da data-mais-cedo-de-fim da data-mais-tarde-de-fim.

**Float Time** é uma margem viável para a operação quando todas as atividades na cadeia estão iniciando o mais cedo possível. Então, uma operação pode ser atrasada para estender o **free float** sem afetar qualquer operação seguinte, e todas essas operações deveriam começar nas suas datas-mais-cedo-de-início.

## Atividades Fantasmas

Em alguns casos torna-se necessário representar atividades do tipo fantasma, que são atividades que não incorporam nem recursos nem tempo. Citaremos duas ocasiões importantes quando tais atividades são utilizadas(LOCKYER [27]):

(a) Quando duas atividades paralelas tiverem um evento com os mesmos início e fim. Daremos um exemplo.

Se dois homens deixam o local **A** para ir até o local **B**, um utilizando um



meio de transporte (i.e recursos), e o outro usando um outro recurso, então estas atividades serão representadas por:



Figura II.1

onde o evento 1 representa "saída de A" e o evento 3 representa "chegada em B". Isso resultaria em duas atividades que possuem os mesmos números de início e fim. Para evitar confusão uma atividade fantasma é incorporada que será a atividade 1-2:

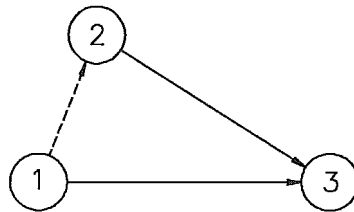


Figura 11.2

onde os eventos 1 e 2 representam "saída de A", ou atividade 2-3:

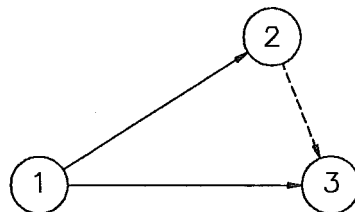


Figura 11.3

onde os eventos 2 e 3 representam "chegada em B".

(b) Quando duas cadeias possuem um evento em comum, ainda que, estes

possam ser independentes. Exemplificando temos: homens que partem de um lugar para outro; um homem deixa o local **A** para ir ao local **B** e de lá avançar em direção ao local **C**, enquanto que um segundo homem deixando o local **K** parte em direção ao local **B** coletando um item lá depositado pelo primeiro homem, e então de lá avançando até o local **L**. Numa primeira visão, o diagrama de setas poderia ser:

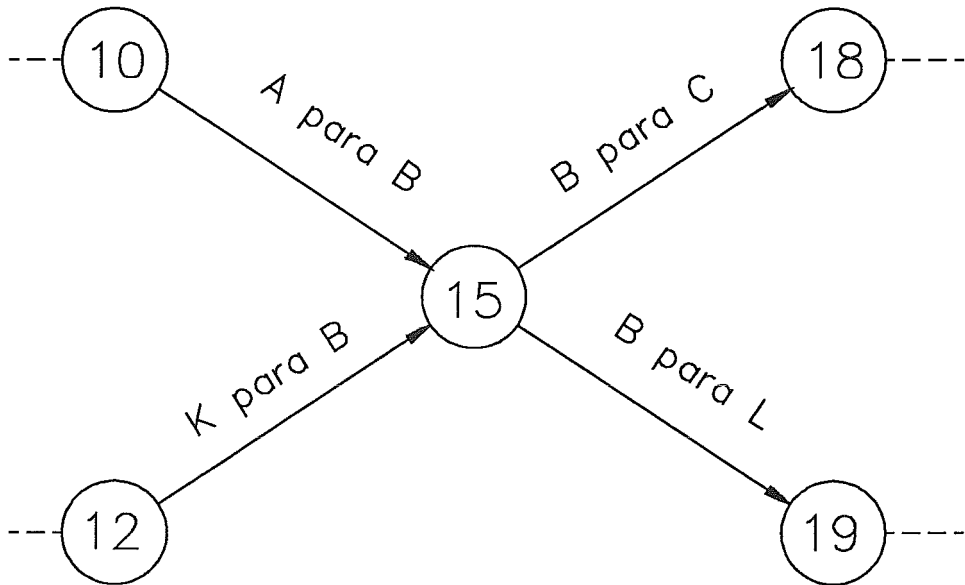


Figura II.4

Entretanto, como é colocado o diagrama de setas indica que nem a atividade 15-18 nem a 15-19 podem ser asseguradas até que, ambas as atividades 10-15 e 12-15 estejam completadas.

Isso na prática não deveria ser de todo necessário: um homem deveria deixar o local **B** para caminhar até o local **C** sem esperar por outro homem para terminar sua ida de **K** até **B**. Novamente, para se resolver essa dificuldade uma atividade fantasma 15-16 é introduzida e, de novo, tanto o evento 15 quanto o 16 representam "saída de **B**". De maneira que, se for necessário para os homens se

encontrarem em B antes de prosseguirem adiante, então o diagrama original assegurará isto.

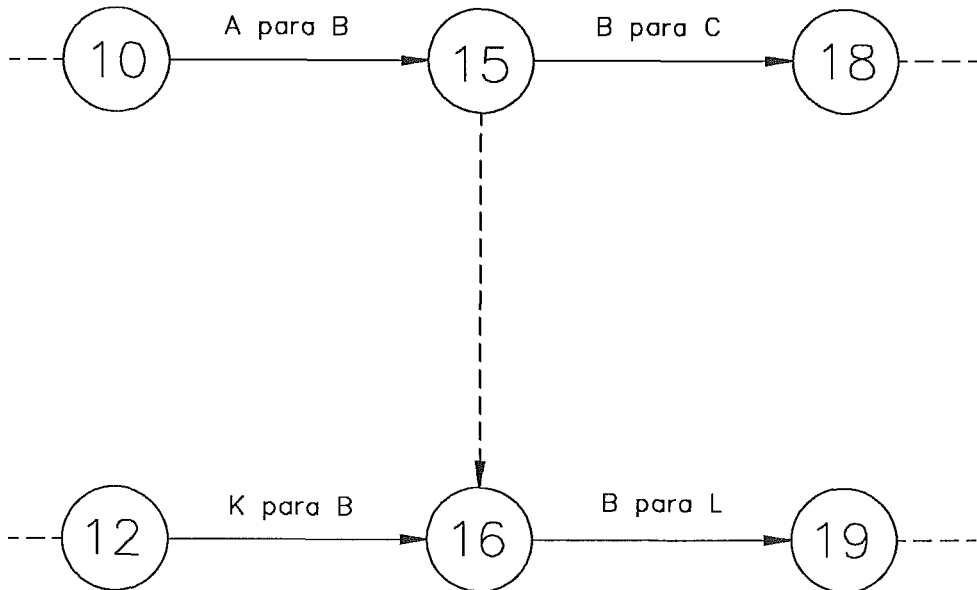


Figura II.5

Uma situação muito parecida ocorre quando um par (ou mais) de atividades, tem uma atividade em comum, e outra não. Por exemplo, se a atividade L depende das atividades A e B, e a atividade K depende somente da atividade A, o diagrama pode ser representado como na primeira das duas representações acima onde:

Atividade 10 - 15 é a Atividade A
Atividade 12 - 15 é a Atividade B
Atividade 15 - 18 é a Atividade K
Atividade 15 - 19 é a Atividade L

Tabela II.1

Outra vez existe uma dependência mostrando que não está de acordo com a

situação atual, a atividade K é mostrada como sendo dependente em ambas as atividades A e B, ao passo que é somente dependente na atividade A. Outra vez, uma atividade fantasma (15-16) é introduzida, como na segunda das duas representações acima, que "liberta" a atividade K de sua aparente dependência com as atividades A e B e mostra ser dependente somente na atividade A.

Esse segundo caso da necessidade de atividades fantasmas é encontrado na prática como uma maneira de minimizar erros no projeto. Isto é altamente conveniente, para examinar qualquer situação que ocorra na elaboração de um diagrama, que assegure a dependência das atividades, seguintes a uma outra, que possam vir a ser facilmente entendidas e representadas.

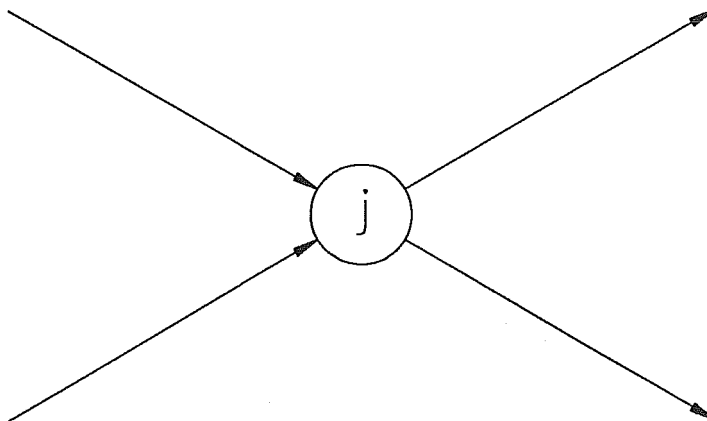


Figura 11.6

### **Direção das Atividades Fantasmas**

Muitos problemas surgem frequentemente para encontrarmos a direção de uma atividade fantasma. Se o propósito de tal atividade é facilmente assimilado, logo a direção da mesma tomar-se-á clara. Então se, no exemplo acima, existe uma atividade fantasma para liberar a atividade K da atividade B, esta surgirá do fim do

evento da atividade K; por outro lado, se a atividade K depende das atividades A e B e a atividade L depende somente da atividade B, e não das atividades A e B, a configuração geral poderia permanecer inalterada, exceto que a seta da atividade fantasma apontasse para outro lugar, i.e., do evento 16 ir para o 15. É facilmente entendido que:

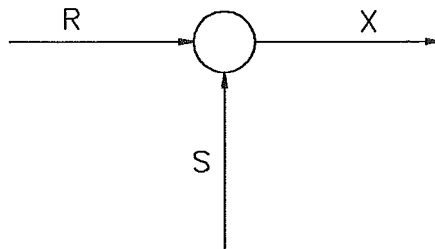


Figura II.7

representa a atividade X sendo dependente tanto da atividade R quanto da atividade S, enquanto que:

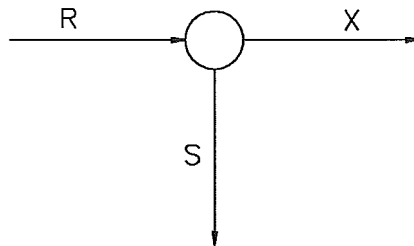


Figura II.8

representa a atividade X sendo dependente somente da atividade R e independente da atividade S.

## Capítulo III

### MODELOS

#### III.1. Introdução

No nosso mundo, existem muitos tipos de modelos que estão interrelacionados com várias classes de atividades.

Muito embora eles sejam diferentes entre si partem da mesma essência: todos são representações simplificadas e idealizadas da realidade.

Os modelos mais úteis são os modelos quantitativos por natureza. Modelos quantitativos são aqueles cujas decisões estão baseadas numa avaliação de dados numéricos.

Além desta avaliação, eles proporcionam dados adicionais. Na realidade, os modelos geralmente não fazem mais do que refinar os dados de entrada para produzir dados mais úteis.

Com o objetivo de avaliar os dados a maioria dos modelos, tem como variáveis de decisão o que chamamos objetivo. O modelo especifica em linguagem simbólica a forma em que as diversas decisões afetarão o objetivo.

Um modelo por mais complexo que seja não pode representar totalmente a realidade pois não existem regras fáceis ou métodos automáticos para construção dos

mesmos. Essa construção implica em arte e imaginação, e principalmente conhecimentos técnicos. Como os problemas que nos interessam contém decisões e objetivos, eles devem ser explicitamente identificados e definidos. A formulação e construção dos modelos são processos integrados, sendo que a formulação é o aspecto lógico conceitual e a construção é a representação simbólica das relações lógicas (GOULD e EPPEN [16]).

A gerência bem sucedida em larga escala de projetos requer cuidadoso planejamento, **schedule** e coordenação de numerosas atividades correlacionadas. Para auxiliar nestas tarefas, procedimentos convencionais baseados no uso de redes começaram a ser desenvolvidos no final da década de 1950. O mais proeminente desses procedimentos tem sido o **PERT** (Program Evaluation and Review Technique) e o **CPM** (Critical Path Method) embora existam muitas variantes com nomes diferentes. Existem poucas diferenças importantes nesses dois procedimentos. Entretanto, a tendência nos anos recentes é de estar se voltando para as duas abordagens a que é usualmente atribuída, como **PERT/CPM**.

Estes métodos serão descritos mais detalhadamente a seguir.

## **III.2. CPM**

### **III.2.1. Histórico**

Em 1957, visando a aperfeiçoar os métodos de planejamento, programação e controle de execução do projeto de uma nova fábrica de produtos químicos, a Divisão de Serviços de Engenharia da Du Pont e Divisão Sperry Rand, da Remington

Rand Co nos E.U.A., desenvolveram um método a que denominaram **CPM** (Critical Path Method) (BELCHIOR [5]).

### III.2.2. Fundamentos

O método do Caminho Crítico (**CPM**), de planejamento e controle de projetos, segue os conceitos básicos de redes, assim como outros métodos de mesma finalidade.

Atualmente, um pequeno número de operações controlam o tempo de finalização de um projeto. Essas tarefas, chamadas operações críticas formam uma cadeia através da rede chamada de caminho crítico. Daí a origem do nome do método do 'caminho crítico. Portanto, o caminho crítico é de fundamental importância no planejamento e controle do projeto.

Para que estejamos habilitados a usar o **CPM**, o projeto deverá conter um início e fim bem definidos.

A parte mais importante do Método do Caminho Crítico é um modelo gráfico de projeto. O componente básico desse modelo é a seta. Cada seta representa uma atividade no projeto. A extremidade da seta representa a conclusão. Ela pode ser uma curva ou inclinação como requerido. Entretanto, não pode ser interrompida.

atividade típica  
 começo —————> fim

As setas são organizadas para mostrar o plano ou seqüência lógica em que as



atividades do projeto deverão ser completadas.

### III.2.3. Vantagens do Método CPM

- O diagrama mostra as relações entre as várias tarefas que compõem o projeto e as dependências existentes entre elas.
  
- Planejamento mais efetivo.
  
- O CPM identifica problemas potenciais antes que estes venham a ocorrer.
  
- Alocação de recursos.
  
- Pela identificação de operações críticas, o CPM enfoca sua atenção nas tarefas que controlam o tempo total de finalização de um projeto.

### III.2.4. Definição das Atividades

Geralmente, as atividades no CPM, são muito menores e mais detalhadas que os elementos de trabalho usados por outros tipos de **scheduling**.

No **scheduling** do CPM, o tamanho de cada seta não tem significado, cada operação deve ser definida de tal forma que esta tenha definido um ponto de início e de fim.

### III.2.5. Tempo

O **CPM** separa planejamento de **scheduling**. Isto é uma característica fundamental do método. Planejamento é um processo de análise do projeto, quebrando-o em passos de operações necessárias, para sua finalização, com isso encontrando a ordem em que estes passos deverão ser executados. No **CPM**, os resultados do processo do planejamento são mostrados no diagrama de rede. O diagrama também funciona como ajuda para o processo de planejamento, forçando o gerente a definir claramente cada operação e a relação apropriada com todas as outras (HOROWITZ [21]).

### III.2.6. Custo

Nós nos concentramos até agora no elemento tempo, mas um outro elemento importante do **CPM** é o custo. A maior vantagem do **CPM** é a sua capacidade de encontrar uma relação entre esses dois fatores de suma importância em qualquer projeto, que são: o tempo e o custo. Em vista disto, vemos que:

1 - determinação do aumento do custo, de um projeto pelos números específicos de dias;

2 - determinação do **schedule** mais econômico para encontrarmos uma data de término do projeto;

3 - determinar o **schedule** ótimo - a duração que minimize a soma dos custos diretos e indiretos.

### **III.2.7. Observação**

O **CPM** não oferece clarividência, porém reúne todas as informações adequadas para a equipe de gerenciamento do projeto.

Podemos deduzir que uma das chaves do sucesso do **CPM** é que este utiliza o conhecimento do planejador, tais como: experiência e instintos em um método lógico, primeiro para planejar e depois para o **schedule**. O **CPM** pode economizar tempo através de um planejamento milenar.

## **III.3. PERT**

### **III.3.1. Histórico**

A origem do sistema PERT está ligada aos projetos de grandes dimensões.

Estes projetos tornaram-se tão complexos que não havia mais um modo de se poder coordenar todas as suas miríades de atividades.

Superados os processos antigos, tornou-se imprescindível a pesquisa em torno de uma maneira de se poder coordenar e controlar um projeto cujas dimensões ultrapassavam tudo o que até então se havia visto, sob pena de não se obter rendimento satisfatório dos recursos empregados.

Em, 1958, um grupo formado pelas entidades Navy's Special Project Office, Booz-Allen e Hamilton, Lockheed Missile and Space System Division e IBM

desenvolveu outro método a que denominou de PERT ("Program Evaluation and Review Technique").

### **III.3.2. Fundamentos**

O método consiste em esquematizar o projeto numa rede ou grafo, onde as atividades são representadas por setas que indicam as relações de correspondência entre os eventos ou acontecimentos importantes do projeto, de modo que o conjunto mostre a seqüência em que todas as atividades do empreendimento devam ser executadas. Junto de cada seta anota-se o nome e a duração estimada da atividade que ela representa.

Esta forma de apresentar as atividades ou etapas de um projeto, na seqüência em que elas devam ser realizadas e a série de informações que daí decorre, traz grandes vantagens para o controle de execução do empreendimento.

O PERT não considera a duração de uma atividade como estática. Entretanto, como um erro sensível no cálculo da duração das atividades pode invalidar uma rede PERT, a partir disto foi-se procurar na teoria das probabilidades um processo de reduzir esta incerteza a um grau compatível com as necessidades. Veremos agora como é reduzida esta incerteza.

### III.3.3. PERT e a Probabilidade

#### III.3.3.1. Variáveis aleatórias e variáveis determinísticas

As primeiras são as que mudam de valor sem obedecer a uma lei ou regra pré-determinada, tornando-se, assim difícil sua quantificação.

As segundas, tem suas leis de variação perfeitamente definidas, sendo possível determinar, com exatidão, seus valores.

Quanto mais repetitivos forem os processos dentro de uma atividade, tanto mais precisão ter-se-á na quantificação das variáveis aleatórias dessa atividade, uma vez que a estatística das anteriores permitirá estimar o comportamento dessas variáveis no futuro.

Deste fato, tiramos uma conclusão importante:

*Toda atividade nova ou pouco frequente possui um grau de incerteza elevado na avaliação de sua duração e toda a atividade que se repete com frequência tem seu grau de incerteza reduzido na proporção da experiência passada.*

Por exemplo, do mesmo modo, é mais fácil estimar os efeitos das variáveis aleatórias sobre uma atividade a ser realizada hoje, do que sobre uma atividade a ser realizada daqui a um ano.

Surge, assim outra conclusão importante:

*O grau de incerteza com que se pode estimar os efeitos das variáveis aleatórias é tanto maior quanto mais longo for o período de tempo entre a avaliação e a execução da atividade.*

### **III.3.3.2. Redução do grau de incerteza**

Para que fosse possível reduzir o grau de incerteza na avaliação das durações das atividades, recorreu o sistema **PERT** a um dos processos que a estatística fornece: estimar três tempos de duração e, usando a curva de frequência de ocorrência, determinar o tempo médio esperado e a variância (MOTTA [34]).

Para isto, o sistema **PERT** exige três estimativas de duração para cada atividade.

Otimista (a) - O menor tempo em que a atividade possa ser realizada, supondo-se que ocorram todas as condições favoráveis.

Mais provável (m) - Duração em condições normais.

Pessimista (b) - Tempo de duração da atividade, caso ocorram todas as condições desfavoráveis. (Exceto casos extremos).

Com estes três valores, uma fórmula matemática simples permite calcular o tempo estimado médio de duração da atividade, esta fórmula retrata a frequência média de ocorrência baseada na curva utilizada:

$$\text{Tempo estimado médio} \quad t_{em} = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (\text{III.3.3.2.1})$$

### III.3.3.3. Variância

A variância fornece o grau de incerteza associado à distribuição. Para o tipo de distribuição admitida no sistema **PERT**, curva beta, uma simplificação matemática fornece a seguinte fórmula para cálculo da variância:

$$\sigma^2 = \left( \frac{b-a}{6} \right)^2$$

b - Estimativa pessimista

a - Estimativa otimista

A variância é proporcional ao grau de incerteza da estimativa.

Quando a diferença entre os tempos otimista e pessimista cresce, também crescerá  $\sigma^2$ .

É claro que qualquer pessoa que tenha muita certeza sobre a duração de uma atividade, estimará valores próximos uns dos outros para as três estimativas e  $\sigma^2$  será pequeno. O contrário ocorrerá quando o grau de incerteza for grande.

### III.3.3.4. Probabilidade de um evento ocorrer no tempo estimado

Uma vez que se passou a trabalhar, para cada atividade, com um tempo

estimado médio e que já se tem uma idéia, pela variância, do grau de incerteza deste tempo, falta um meio de determinar qual a probabilidade do tempo estimado médio calculado de um evento vir a ocorrer.

Para exemplificar, tome-se um Diagrama PERT qualquer, no qual a probabilidade do evento final ser cumprida, dentro do tempo pré-estabelecido é:

$T$  = Tempo pré-estabelecido para o evento

$T_{em}$  = Tempo estimado médio para o evento (Data mais cedo)

$\sigma^2 t_{em1}$  = Variância das atividades que compõem o caminho crítico.

$Z$  = Fator de probabilidade.

$n$  = Número de atividades do caminho crítico

$$Z = \frac{T_s - T_{em}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2 t_{em1}}}$$

Esta fórmula quer dizer que o fator de probabilidade é igual à diferença entre o tempo pré-estabelecido e o tempo estimado médio do evento, dividido pela raiz quadrada da soma das variâncias das atividades do caminho que permitiu achar o  $T_{em}$  do evento (Data- mais cedo)'.  


---

1 - O denominador da fração (  $\sqrt{\sum \sigma^2 t_{em1}}$  ) é o desvio padrão do caminho que leva ao evento considerado.



De posse do fator  $Z$ , entramos com seu valor na Tabela de Valores de uma Função de Distribuição Normal, e saímos com a probabilidade do evento se verificar na data pré-estabelecida.

É claro que quanto menores forem as variâncias das atividades do caminho que levam ao evento, tanto maiores serão as probabilidades do evento, a se verificar na data pré-estabelecida.

É interessante notar que no cálculo do tempo estimado médio de uma atividade o PERT utiliza a curva beta de distribuição. Ao calcular, porém, a probabilidade de um evento vir a verificar-se na data estimada, passa-se a usar uma função de distribuição normal.

Nas estimativas de duração das atividades usam-se apenas três valores. Por definição, os dois extremos, otimista e pessimista são limites, aquém ou além dos quais a execução da atividade não ocorrerá, o terceiro pode assumir qualquer valor nesse intervalo. Face a estas condicionantes, a função beta é a que melhor se adapta a este tipo de distribuição, pois além de poder ser assimétrica à direita ou esquerda, a curva, em seus extremos, é secante ao eixo das abscissas, como se vê nas curvas das atividades descritas a seguir (Figura III.1), componentes de um caminho crítico que leva a um evento qualquer.

Suponha as seguintes tarefas em que cada uma delas possui uma distribuição beta dada pela figura a seguir:

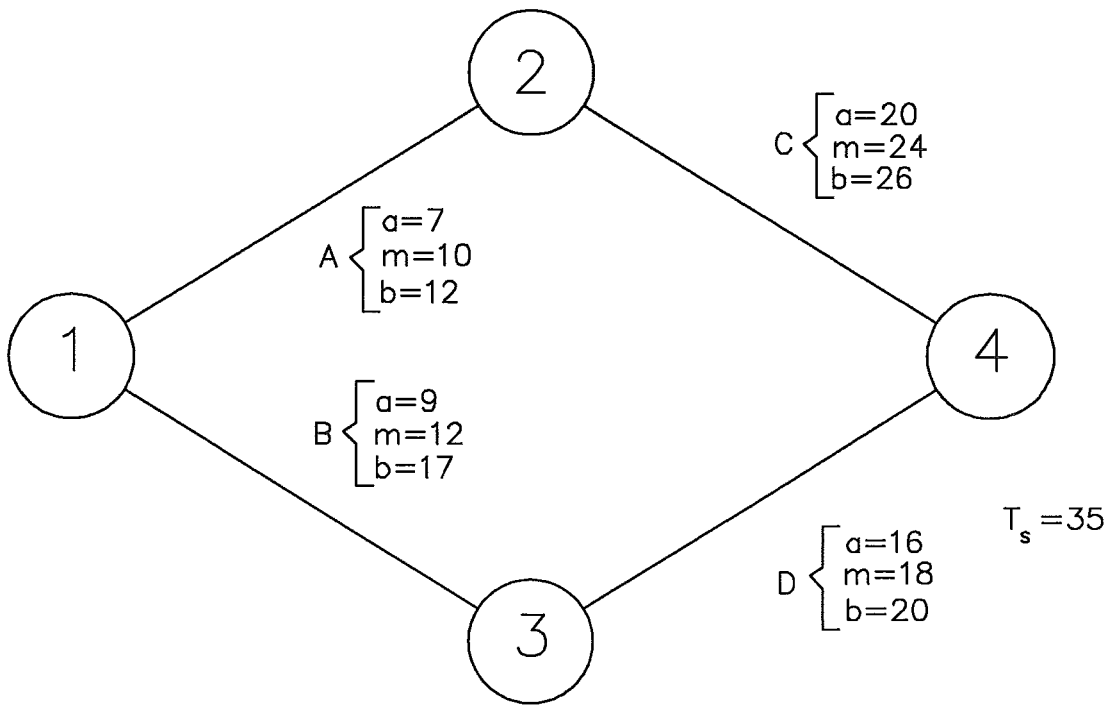


Figura III.1

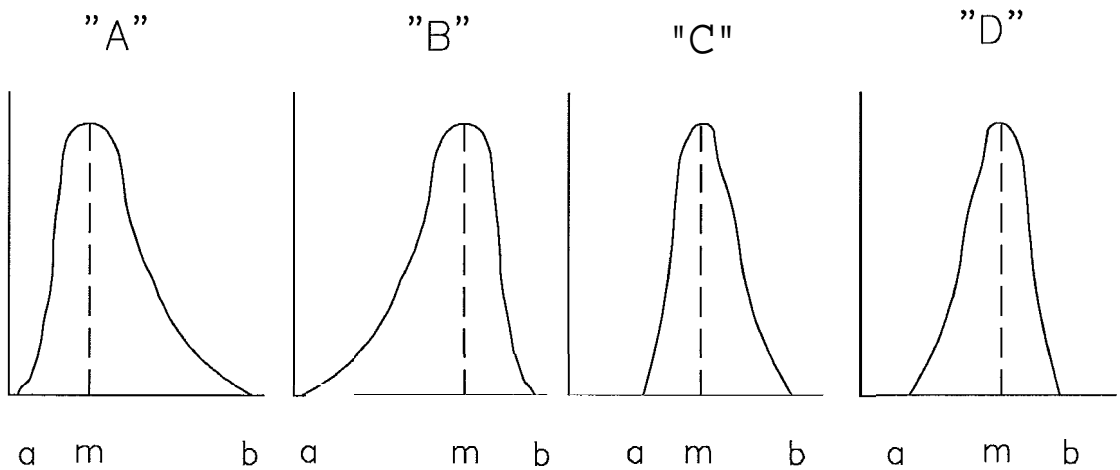


Figura III.2

(Distribuição beta das atividades acima)

O tempo estimado médio de cada uma, é dado pela fórmula (III.3.3.2.1).

Quando se procura determinar a probabilidade de ocorrência de um evento, passamos a considerar as estimativas de duração de todas as atividades do caminho que nos permitiu calcular o  $T_{em}$  do evento.

Sua probabilidade de ocorrência será, portanto, função da variância ( $\sigma^2$ ) de cada uma dessas atividades, o que mede o grau de incerteza das estimativas.

Para calcular a probabilidade será necessário medir a dispersão em torno da média, o que se faz através do desvio padrão ( $\sigma$ ), sendo o desvio padrão do evento a raiz quadrada da soma das variâncias de todas as atividades que levaram ao evento.

Em consequência de considerarmos todas as atividades, o tempo de ocorrência deste não tem valores extremos definidos e a média tende a confundir-se com a moda; a função normal é a que mais se aproxima desta situação, pois sua curva é assintótica ao eixo das abscissas (limites não definidos) e a média coincide com a moda (simétrica).

Pelo teorema central do limite, quanto maior for o número de atividades no caminho do evento, tanto maior será a adequação da função normal e mais preciso o cálculo de probabilidade de ocorrência do evento.

A figura III.3 representa a superposição dos gráficos das estimativas de tempo das atividades A, B, C e D descritas anteriormente.

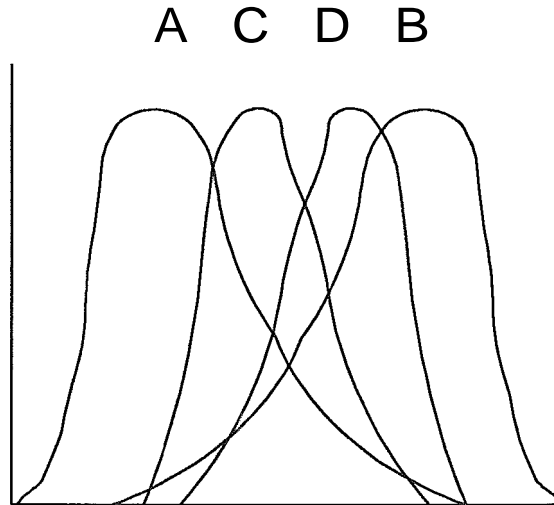


Figura III.3

É fácil visualizar a tendência para uma distribuição normal, quando as atividades são tomadas como um conjunto grande de atividades. Deve-se ressaltar que a variância do evento é a soma das variâncias das atividades e não a variância calculada pelos  $T_{em}$  otimistas, mais provável e pessimista do evento, que seriam a soma das respectivas estimativas de cada atividade considerada.

### III.3.3.5. Comparações entre CPM e PERT

É comum ver-se as siglas PERT e CPM, surgindo naturalmente, a pergunta: o que é um e o que é o outro.

Os sistemas são idênticos na sua mecânica: apenas, no que tange a determinação da duração das atividades, encontra-se uma diferença.

O CPM considera que a duração de uma atividade é calculada com precisão e o valor determinado possui um grau de incerteza desprezível.

Em outras palavras, o **CPM** admite que a pessoa que determina a duração de uma atividade a conhece suficientemente bem para dizer com precisão aceitável qual o seu valor. Admite, ainda que fatores alheios ao projeto não venham a interferir em sua execução.

O sistema **PERT**, ao contrário, se baseia em que é difícil determinar com precisão aceitável o valor da duração.

A saída fundamental do **CPM** para o **PERT**, é que este agente (**CPM**) traz no processo do planejamento e controle o conceito de custo.

Isso não significa que o **PERT** omite completamente o conceito de custo. No **PERT**, deve-se assumir que o custo varia diretamente com o tempo para todas as atividades dentro do projeto. Desta maneira, quando é realizada uma redução no tempo, assume-se que houve redução no custo.

Os princípios básicos de rede envolvidos no **CPM** são como os estudados pelo sistema **PERT**. Dessa maneira, um usuário que já esteja familiarizado com o **PERT**, não terá problemas na utilização do **CPM**, na medida que os princípios básicos de rede interessam.

Enquanto o **CPM** é uma técnica de planejamento utilizada quase que exclusivamente para a indústria da construção, o **PERT**, é usado quase que exclusivamente em trabalhos militares e aeroespaciais.

Isto não significa dizer que eles não possam ser aplicados a outras áreas. Apenas deu-se ênfase maior a estas.

Os dois métodos encaram o problema sob o mesmo ponto-de-vista, tendo chegado a soluções idênticas, exceto que o **PERT** leva em consideração aspectos probabilísticos, enquanto que o **CPM** é nitidamente determinístico.

### **III.4. PERT/CPM**

Embora a aplicação original do **PERT/CPM** foi para estimar o **schedule** para um programa de pesquisa e desenvolvimento, este também vem sendo utilizado para medida e controle do processo em inúmeros outros tipos de projetos especiais. Podemos exemplificar esses tipos de projetos como programa de construção, programação de computadores, planejamento de manutenção e instalação de sistemas de computadores.

O **PERT/CPM** é projetado para ajudar no planejamento e controle e desta maneira este não deveria envolver diretamente a otimização. Algumas vezes um dos objetivos primários é determinar a probabilidade de união nos prazos finais especificados. Um outro objetivo é avaliar o efeito das trocas no programa. Por exemplo, este irá avaliar o efeito de uma contemplada mudança de recursos de atividades menos críticas para atividades identificadas como prováveis gargalos. Outros recursos e desempenho deveriam também ser avaliados. O **PERT** irá também avaliar o efeito dos desvios do **schedule**.

Todo **PERT** utiliza uma rede para representar graficamente as interrelações entre os elementos de um projeto.

Essa representação de rede do plano de um projeto mostra todas as relações

de precedência considerando a ordem em que as tarefas devem ser executadas.

Na terminologia PERT, cada ramo de uma rede representa uma atividade, que é uma das tarefas requeridas pelo projeto. Cada nó representa um evento, que usualmente é definido como o ponto em que todas as atividades se direcionam para que os nós sejam completados. As setas indicam as seqüências em que os eventos devem ser atingidos. Além do mais, um evento deve preceder o início das atividades, na direção para fora do nó. O nó, no qual todas as atividades se direcionam é o evento que corresponde a finalização do projeto planejado.

As setas de linhas tracejadas, chamadas atividades fantasmas, mostram somente relacionamentos de precedência, eles não representam atividades reais. Uma regra comum para construção desse projeto de redes é que dois nós podem ser diretamente conectados por não mais do que um ramo.

Atividades fantasmas podem também ser usadas para evitar violação dessa regra quando existem duas ou mais atividades concorrentes.

Depois do desenvolvimento de uma rede para o projeto, o próximo passo é o de estimar o tempo requerido para cada atividade. Esses tempos são usados para calcular as duas quantidades básicas para cada evento, denominadas, data-mais cedo e data-mais-tarde.

### **III.4.1. Áreas de Aplicação do Método PERT/CPM**

O método PERT/CPM serve para controle de execução de empreendimentos

de qualquer tipo de dimensão desde que apresentem as seguintes características(BELCHIOR [5]):

1 - Que as atividades apresentem alternativas na sequência de execução, isto é, o projeto apresenta mais de um esquema de planejamento, que podem ser comparados para escolha do melhor, ou utilizados como eventual alternativa durante a execução.

2 - Que a sequência das atividades ainda não seja perfeitamente conhecida ou determinada, de tal modo que o projeto não se tenha transformado em um processo repetitivo, recaindo na área da produção em série, objeto dos sistemas de planejamento e controle da produção.

3 - Que o empreendimento ou o processo não apresente rotinas de realimentação: processos cibernéticos ou de **feed-back**.

4 - Que haja atuação de mais de uma pessoa ou entidade no projeto, de tal forma que algumas atividades possam ser feitas em sequência, e outras, simultaneamente. Se todas as atividades do empreendimento devem ser feitas uma após a outra (em série) ou ao mesmo tempo (em paralelo), o controle pode ser realizado por um sistema mais simples como os Gráficos de Gantt ou Listas de Atividades, pois o projeto não chega a configurar uma rede. Em outras palavras, que o grau de complexidade do empreendimento justifique o uso de um método mais sofisticado como o **PERT/CPM**.



### III.4.2. Vantagens e Limitações do Método PERT/CPM

As principais vantagens apontadas pelo PERT/CPM são as seguintes:

- É um instrumento disciplinado para planejar, mostrando a seqüência e a interdependência das atividades, o que não ocorre nos Gráficos de Gantt.
- As alternativas do plano inicial do empreendimento são feitas com maior facilidade e o emprego de sub-redes, ou redes parciais, permitem organizar melhor o trabalho.
- Obriga ao planejamento total do empreendimento, facilitando a tomada de decisões das autoridades superiores no que diz respeito ao entrosamento de diferentes empreendimentos e ao preparo dos cronogramas de desembolso.
- Indica as áreas críticas e pontos de estrangulamento com bastante antecedência, inclusive antes do início de execução do projeto.
- Permite verificar, com antecedência, qual a repercussão de atrasos e adiantamentos na execução de uma atividade, sobre o conjunto de atividades do empreendimento.
- Força a definição de objetivos muitas vezes não suficientemente claros para as pessoas diretamente empenhadas na execução e impõe a identificação das atividades críticas, que mereçam atenção especial.

- Facilita a coordenação de esforços de vários departamentos, podendo cada um deles e cada indivíduo ver num relance, e como um todo, a relação e o impacto de sua ação no empreendimento e, em conseqüência, aquilatar melhor a sua responsabilidade.

- Permite estudos de simulação, com utilização de programas alternativos para verificação antecipada da conveniência de outros cursos de ação e do aparecimento de outros caminhos críticos.

- Permite o cálculo das folgas para realização das tarefas e, em conseqüência, o remanejamento no período de execução das atividades, pela utilização das folgas.

- Possibilita a estimativa da probabilidade de ocorrência das datas previstas para a conclusão das atividades e da grandeza das folgas de tempo, estimados para a execução de cada tempo.

- Permite determinar a duração mínima de execução do projeto e identificar as atividades que, realmente, condicionam essa duração e que, por isso, devem merecer maior atenção dos responsáveis.

### **III.4.3. Fatores que podem levar a aplicação do PERT/CPM a não ter resultados esperados**

Apesar das vantagens que o método **PERT/CPM** apresenta para o controle de execução de projetos, tem havido alguma dificuldade em sua aplicação, no Brasil, apontando-se as seguintes limitações:

- Resistência do pessoal, em qualquer nível, para aplicação de qualquer método de controle.
  
- Custo fixo adicional, na administração do projeto, muitas vezes incompatível com o valor do empreendimento.
  
- Confiança excessiva ou insuficiente no método.
  
- Falta de complementação do método, com outras técnicas de planejamento, acompanhamento e controle.
  
- Inconsistência da informação pedida ao método, com objetivo a alcançar.
  
- Excesso de detalhes irrelevantes incluídos na rede ou exagerada simplificação da problemática considerada no diagrama.
  
- Pouca experiência do pessoal, na utilização do método.
- Maior dificuldade de interpretação e comunicação do diagrama **PERT/CPM**, do que dos Gráficos de Gantt.
  
- Necessidade de uma infra-estrutura mais desenvolvida e eficiente, capaz de fornecer os dados necessários à implantação do método.

Trata-se de um método mais sofisticado de controle, com as implicações daí decorrentes do manuseio de maior número de dados, da maior fixação de

responsabilidades e do maior cuidado que o método exige.

## Capítulo IV

### APLICAÇÃO DO PERT/CPM

#### IV.1. Apresentação do Problema

O papel que a Universidade desempenha dentro do cenário nacional é passível de discussão. A posição de vanguarda que a mesma deveria assumir, está abalada com a tendência elitista e uma fraca preparação dos universitários para o mercado de trabalho. Isto tem levado a que a sociedade não valorize a universidade enquanto instituição de pesquisa pois os resultados estão aquém do esperado. Mas atualmente tem surgido, na parte progressista, um forte movimento objetivando colocá-la no seu devido lugar.

Um dos itens mais atacados no que se refere ao corpo de funcionários da mesma é com relação a ineficiência. Este quadro pode ser revertido no serviço do Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ. Para que isto seja levado a efeito neste trabalho propomos que o planejamento e **schedule** deste setor sejam feitos através do método **PERT/CPM**.

#### IV.1.1. Estrutura Organizacional do Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ

Em 1985, com a necessidade de produção das diversas áreas humanas e de artes junto a produtos gráficos, a Administração da UFRJ decidiu abrir o Departamento Gráfico à comunidade universitária, viabilizando com isso a socialização

e divulgação de sua produção acadêmica.

Com isso, houve uma recriação do Serviço Gráfico já existente, que até então apresentava um quadro de total abandono: equipamentos obsoletos, máquinas paradas sem manutenção, carência de pessoal, falta de um plano de produção entre outros.

A Gráfica da UFRJ tinha como principal objetivo a rotina de produção de documentos administrativos, dentre estes o principal era o Boletim da Universidade.

Era necessário que se investisse esforços sob a forma de recursos financeiros ou humanos.

Houve portanto, a necessidade de recuperação do seu parque industrial.

afi

Inicialmente, reformou-se a tipografia. Era de certa forma um paradoxo investir-se na modernização da tipografia na era da impressão em **off-set**.

A UFRJ possui para impressão em tipografia um maquinário da mais alta qualidade em uso no Brasil com perspectivas de produção em escala industrial.

A Gráfica da UFRJ conta com 70 funcionários e dispõe dos seguintes equipamentos:

- cinco impressoras tipográficas
- um mobiliário próprio para guarda de tipos (tipográficos)

- cavalete marigão

Já para produção em **off-set** conta com:

- 4 unidades da Multililh 1250 N
- 1 unidade da Multililh 1250 K
- 2 unidades da Multililh 1850 N
- 1 unidade de Romayor 512
- 3 impressoras CATU (modelos 510,66011 e 66012)
- Foltoliteira vertical Fotokino
- Foltoliteira horizontal Elenco (ambas reformadas e postas em funcionamento)
- 1 xerox 9500
- 3 xerox 1065
- 2 xerox 1035
- 1 guilhotina CNC
- 1 dobradeira semi-automática
- 4 grampeadeiras

A área reservada para o Serviço Gráfico apresenta dimensões ideais, levando-se em consideração que poucos parques gráficos no Brasil dispõem de tamanha área de funcionamento.

O prédio possui dois módulos. O seu andar inferior é destinado ao parque das máquinas, seção de fotolito, gravação em chapa, sanitários, recepção e atendimento ao cliente. Na parte superior funciona o setor de criação que de certa forma capacita a Gráfica a responder as demandas da comunidade.

É importante ressaltar que o que se denomina de setor de criação, na verdade não corresponde a um departamento de uma gráfica de mercado, pois as mesmas já recebem o trabalho pronto para ser impresso. Portanto, este setor no SIG tem como objetivo primordial facilitar o acesso à Gráfica, de trabalhos acadêmicos que chegam a mesma sem nenhuma diagramação.

No Almojarifado Central da UFRJ, reservou-se uma área específica à guarda e conservação do material gráfico que outrora ocupava o segundo pavimento do prédio, sem condições de destinar-se a esta função.

Apesar da enorme precariedade de recursos financeiros, a Gráfica atende quase que em sua totalidade as necessidades da comunidade universitária, pois conta com profissionais capacitados que de certa forma procuram atender a demanda existente.

Apresentaremos a seguir o macro-fluxo de serviços do departamento estudado e descreveremos suas etapas principais.



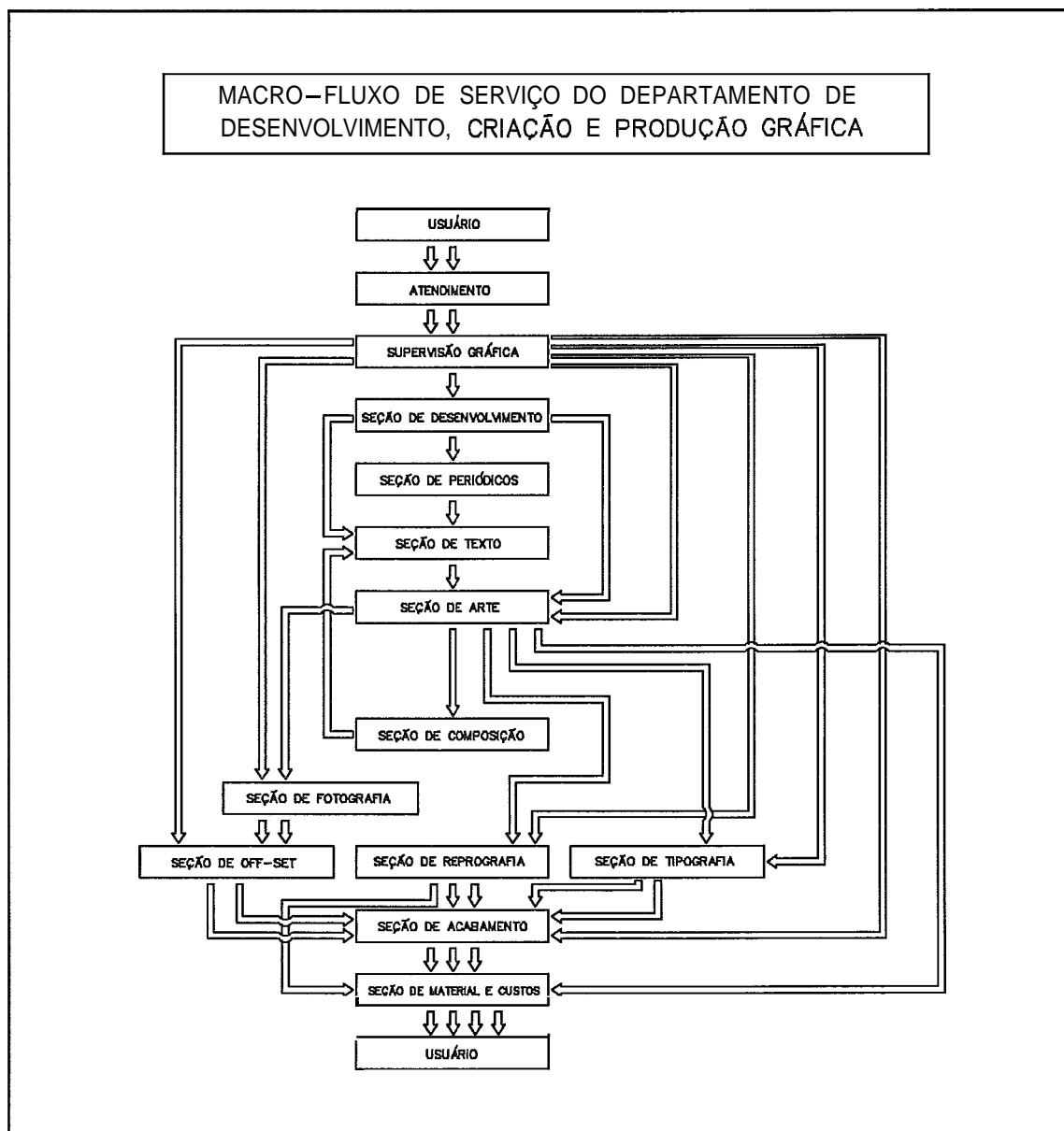


Figura IV.1

## Recepção

## Definição do trabalho

O trabalho que entra na Gráfica como "trabalho novo" pode (ou não) incluir todas as etapas da produção, como programação visual, arte-final, fotolito e impressão, acabamento, ou quaisquer combinações que ainda podem ser acrescentadas de outras alternativas viáveis para a sua execução. O programador visual que, na

Gráfica, define a execução do trabalho tem que, necessariamente, conhecer a fundo todas as potencialidades e limitações da estrutura para definir a forma mais racional de realizar o trabalho e atender ao usuário.

Nesse momento, o que se deve procurar é uma combinação equilibrada entre o que o usuário efetivamente necessita e o que a Gráfica pode, de fato, oferecer.

As dúvidas mais comuns são: o trabalho poderá ser feito em xerox?; o original está em boas condições?; quanto tempo de retoque ele consome?; o texto está datilografado, manuscrito, ou em disquete?; se em disquete, em qual editor de texto?; se não, ele deverá ser composto pela Gráfica?

Na área de composição, por exemplo, o Serviço Industrial Gráfico (**SIG**) conta com duas datilógrafas, e apenas uma delas em fase de treinamento para composição no computador; a outra atua no próprio **SIG** e executa pequenas demandas de datilografia simples, em máquina Facit eletrônica, tais como formulários, pequenos folders, títulos etc. Há casos de unidades na UFRJ que dispõem de digitadores eficientes, de boa produtividade texto/minuto. É necessário verificar se o usuário terá condições de digitar, compor ou datilografar o trabalho.

Erros de atendimento geram sempre trabalhos mal realizados. Uma definição de qualidade mal formulada produz um efeito de frustração significativo no usuário, decepcionando-o e fazendo com que não volte mais a procurar os serviços do **SIG**. Internamente, a pressão para que se realize um trabalho sem as condições mínimas necessárias provoca sempre insatisfação entre os funcionários. Prazos incompatíveis com a realidade, constante troca de prioridades e trabalhos que chegam

com a condição de urgência porque foram "especialmente" recomendados são uma fonte constante de problemas para ambos os lados.

Se o trabalho for projetado para ser impresso em **offset**, há outras variáveis possíveis. Por exemplo: quem fornecerá o material de filmes, chapas, reveladores etc? (o custo desses materiais é muito alto e nem sempre o usuário tem condições de arcar com essas despesas na sua totalidade. Um caso: não vale a pena exigir que o usuário compre uma caixa de filme litográfico - que tem um custo relativamente alto para consumir apenas duas ou três folhas. O mesmo vale destacar para chapas de impressão e reveladores); qual o grau de sofisticação de acabamento?; o SIG não dispõe, na prática, de um acabamento eficaz. Pode realizar tarefas simples, como grampo, cola, espiral, talonagem etc, mas além de ter perdido vem perdendo funcionários devido a aposentadoria. Nesse tipo de serviço, essencialmente manual, o número de servidores é proporcional à vazão do trabalho. Além disso, não há máquina de costura ou prensas adequadas, nem dobradeira automática.

O trabalho tem seleção de cores? (Se tiver, terá de ser feita fora do SIG, pois não se dispõe de um ampliador gráfico ou mesmo de um scanner para isso. Tratando-se de um trabalho de cores aplicadas, o SIG tem em estoque todas as cores solicitadas pelo programador visual? Caso contrário, o usuário deverá adquiri-las. O trabalho requer aplicação de retículas ou filtros especiais? Deverá ser feita uma adequação ao que o SIG pode oferecer, pois não se dispõe de toda a gama de filtros necessários.

Aspectos como esses podem facilitar ou dificultar significativamente o percurso de um trabalho dentro do SIG. Por ocasião do atendimento, o usuário deve

ser cientificado de todos os possíveis obstáculos e acompanhar, sempre que possível, o andamento do trabalho.

## **Criação**

O mercado consagrou um modelo de funcionamento em que, normalmente, as Gráficas não têm setores de programação visual. Quando isto ocorre, eles são reduzidos e pouco especializados. Por excelência, o lugar onde ocorre a programação visual dos produtos realizados no mercado de artes gráficas é o estúdio de criação. Isto porque são atividades distintas, com perfis profissionais agudamente diferenciados. A existência, portanto, de um setor de PV (Programação Visual) na Gráfica da UFRJ implica no atendimento de duas demandas numa só e na busca de uma solução única para dois problemas de natureza diversa. A realização de um trabalho no **SIG** acarreta, portanto, uma compatibilização entre elas.

A principal carência da equipe de PV da Gráfica da UFRJ é a arte final, atividade de nível médio extremamente trabalhosa em que precisão, agilidade e limpeza são requisitos absolutamente fundamentais. Recentemente, o **SIG** adquiriu uma estação de trabalho composta de três computadores, sendo dois voltados para entrada de texto e um destinado à editoração eletrônica, com os quais boa parte da demanda de arte-final tem sido atendida. Ainda assim, a absorção de todos os recursos existentes nos pacotes de editoração eletrônica - por parte dos programadores visuais - é lenta, exigindo deles um treinamento intensivo de pelo menos três meses. Como o **SIG** dedicou à editoração eletrônica apenas uma das máquinas, foi possível a somente um programador visual fazer treinamento. Após o período inicial, este programador ocupa o equipamento com trabalhos já requisitados ao **SIG**, o que

impossibilita o uso da máquina para treinamento de outros. Já se identifica a necessidade de adquirir outra máquina.

A editoração eletrônica (ou **Desktop Publishing**, ou **DTP**), vem resolvendo alguns aspectos problemáticos do desenvolvimento de projetos de programação visual, mas muitos trabalhos ainda tendem a ser produzidos sem a ajuda do computador que entra apenas na composição de títulos e frases. Aspectos culturais da inserção dessa tecnologia no modo de produção do SIG deveriam ser discutidos à parte, mas pode-se apontar alguns tópicos interessantes. Durante cerca de quatro anos o processo de trabalho dos programadores visuais do SIG se constituía de tarefas como o recorte de letras copiadas das fontes de tipos Letraset, transformando o trabalho de arte-final em uma massacrante tarefa de tesoura e cola. Após a informatização do SIG, muitos programadores ainda recortam letras por não terem aprendido a utilizar os recursos dos computadores.

De toda forma, o aperfeiçoamento do processo de trabalho no SIG ainda é função direta da velocidade com que a estrutura vier a se adaptar às novas tecnologias de produção gráfica, que transcendem a simples inserção de um computador em uma linha de produção. As feiras de informática são pródigas em novidades na linha de informática gráfica e logo o SIG deverá acompanhar a sofisticação caso não queira "parar no tempo", ou seja deixar de acompanhar os avanços que vem surgindo a todo momento.

## **Produção**

Nesta etapa é que se verificará a consistência da proposta apresentada durante

o atendimento e alinhavada na Criação.

Apresentaremos em linhas gerais o processo de produção que um trabalho deverá percorrer até atingir o seu objetivo final, ou seja a entrega ao cliente.

Um trabalho típico envolve quatro etapas básicas: fotolito, gravação de chapas, impressão e acabamento. No fotolito, o trabalho deve chegar com indicações de tamanho, cor, retículas, linhas de corte e todas as aplicações necessárias à fotografia da arte-final. Ali, pode-se ampliar ou reduzir uma foto, um logotipo, uma margem, ou outros detalhes. Pode-se também definir a cor em que o trabalho deverá ser impresso, o tipo de retícula ou percentagem com que a cor será impressa, a superposição de cores etc.

Em uma linha imaginária que separasse as tarefas supostamente intelectuais das tarefas mecânicas numa linha de produção gráfica, o fotolito habitaria uma região comum, delineada pela oportunidade de aperfeiçoar um trabalho que veio da Criação e de facilitar o trabalho que deverá ser impresso, em vários casos, dali a alguns minutos. Cabe a ele, em última instância, dar o toque de qualidade que pode caracterizar um trabalho bem produzido. As nuances de cor, a nitidez dos contornos, a leveza de um degradê, enfim detalhes que realçam o trabalho criativo e determinam o grau de complexidade da etapa de impressão.

Na gravação de chapas, o trabalho é mais objetivo e segue uma receita pré-determinada, segundo a qual determinado tipo de chapa deve receber uma exposição. A gravação de chapas subordina-se, teoricamente, à impressão e dela recebe ordens diretamente. Ao iniciar a programação de impressão do dia, o chefe de impressão

determina que chapas deverão ser usadas para imprimir que trabalhos, dando a baixa no estoque. A exemplo do que ocorre com o fotolito, na gravação de chapas são utilizadas substâncias químicas, não raro tóxicas e corrosivas, cujo estoque deve seguir alguns critérios de segurança, sem os quais o gravador (ou operador de gravação) poderá sofrer sérios danos físicos.

A impressão, ao contrário do que parece, não se limita a colocar o papel na máquina, a chapa no cilindro e acionar o equipamento. Devido à complexidade de uma máquina impressora (especialmente as mais recentes), exige-se de um operador de impressão **offset** um entendimento da tarefa mais profundo do que o exigido dos outros profissionais. Pode-se criar um bom fotógrafo em seis meses de treinamento intensivo, um bom gravador de chapas em duas semanas, mas um bom impressor **offset** leva de três a quatro anos para atingir a maturidade. O conhecimento que o operador tiver da máquina é decisivo para o sucesso de um trabalho. Assim, se não formos rígidos na separação das tarefas ditas intelectuais das mecânicas poder-se-á considerar a impressão um trabalho bastante sofisticado. No mercado privado, um impressor é considerado operário de nível bastante elevado.

O acabamento atua em duas fases distintas no processo produtivo: no preparo do material a ser impresso e no acabamento do material já produzido. No primeiro caso, ele corta o papel que será usado nas máquinas impressoras. No segundo caso, dobra as folhas para formar cadernos, faz o alceamento, grampeia, cola, e monta o produto final, um folder será dobrado nos lugares indicados, um livro encadernado, um bloco colado, e assim por diante. Depois disso, o cortador fará o refile, ou seja, retirar o excesso de papel para manter o produto uniforme, ou seja, com todas as folhas (do miolo e da capa) do mesmo tamanho.

## **Expedição**

Uma série de controles administrativos são acionados à medida que o trabalho vai sendo produzido. O número de horas dispendidas na criação do projeto (timesheet), os materiais gastos em todas as etapas, os custos operacionais etc. Esses dados compõem uma planilha de custos que tem por função apropriar, nos respectivos centros de custos, essas despesas. Isto se processa na Sub-Reitoria de Patrimônio e Finanças. Infelizmente, não existe ainda uma cultura de atualização desses procedimentos e não raro tais planilhas são pobres em informações contábeis, o que diminui a sua importância. Mas o que se faz atualmente em apropriação de custos deixa entrever pelo menos o caminho. Seria necessário apenas aperfeiçoá-lo.

Tipicamente o usuário sai do SIG portando uma via do formulário que debita ao seu centro de custos as despesas decorrentes da realização do trabalho, além, é claro, do trabalho propriamente dito. O ideal seria que ele saísse também tipicamente satisfeito. Este, entretanto, é um longo caminho (VIANNA[40]).

### **IV.1.2. Objetivos**

Através da aplicação do método PERT/CPM à Gráfica da UFRJ, pretendemos tornar mais eficaz o trabalho desenvolvido no Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ. Isso se deve aos dois pontos básicos do método, quais sejam o planejamento e **schedule**.



### VI.1.3. Descrição do Software

O **software** que foi utilizado para aplicação do problema em questão é o **Super Project (R) Plus**, versão 2.00, 1986, da Computer Associates International, Inc. O seu funcionamento requer a coordenação dos principais elementos:

- Tempo
- Eventos
- Pessoas e materiais
- Recursos

Para gerenciar um projeto devemos:

- criar um calendário de dias de trabalho;
- quebrar o projeto em eventos menores, separados, que se chamarão atividades;
- designar para cada atividade pessoas e material, que se chamarão recursos;
- entrar com a quantidade de dinheiro que cada recurso necessita. Estes são chamados custos.

O controle manual de um projeto aparentemente é simples. Entretanto, quando no momento da análise de várias situações, como por exemplo, da revisão dos custos estimados, da redefinição dos recursos necessários etc., a quantidade de informações soltas dificultam o gerenciamento.

Por este motivo, optamos pela utilização do pacote computacional **Super Project** que será utilizado como uma ferramenta eficiente para auxiliar no

planejamento, schedule e gerenciamento do projeto em questão.

O **Super Project** combina técnicas clássicas de gerenciamento de um projeto com a última geração, no desenvolvimento de um **software**, fornecendo-nos assim um ferramental eficiente para simplificar o controle do projeto. Para tanto, iremos utilizar técnicas padrão para gerenciamento do mesmo. Este nos permitirá por exemplo, definir atividades, a ordem em que estas irão aparecer, quanto tempo levarão para serem concluídas e quem deverá completá-las.

Com tudo isso podemos avaliar o schedule e a sua praticabilidade, e se porventura for necessário reajustar o planejamento do projeto.

Observe que trocas nos recursos, tempo requerido, datas de início e outros dados irão afetar o schedule. Entretanto, todas as alterações decorrentes de modificações como as descritas acima serão feitas automaticamente pelo **software**.

## IV.2. Diagrama

Diagrama é uma representação gráfica do projeto. Entretanto, quanto maior for o número de atividades consideradas, mais complicado será sua visualização e portanto o seu entendimento. Utilizamos o modelo de diagrama proposto em (MODER [31]), pois entendemos que este é o mais indicado para o problema analisado. Explicaremos sucintamente cada parte do mesmo.

Visando tornar esta representação o mais claro possível, símbolos serão utilizados para identificar os fatores que influenciam no **PERT/CPM**. Estes símbolos

são apresentados na figura IV.2.

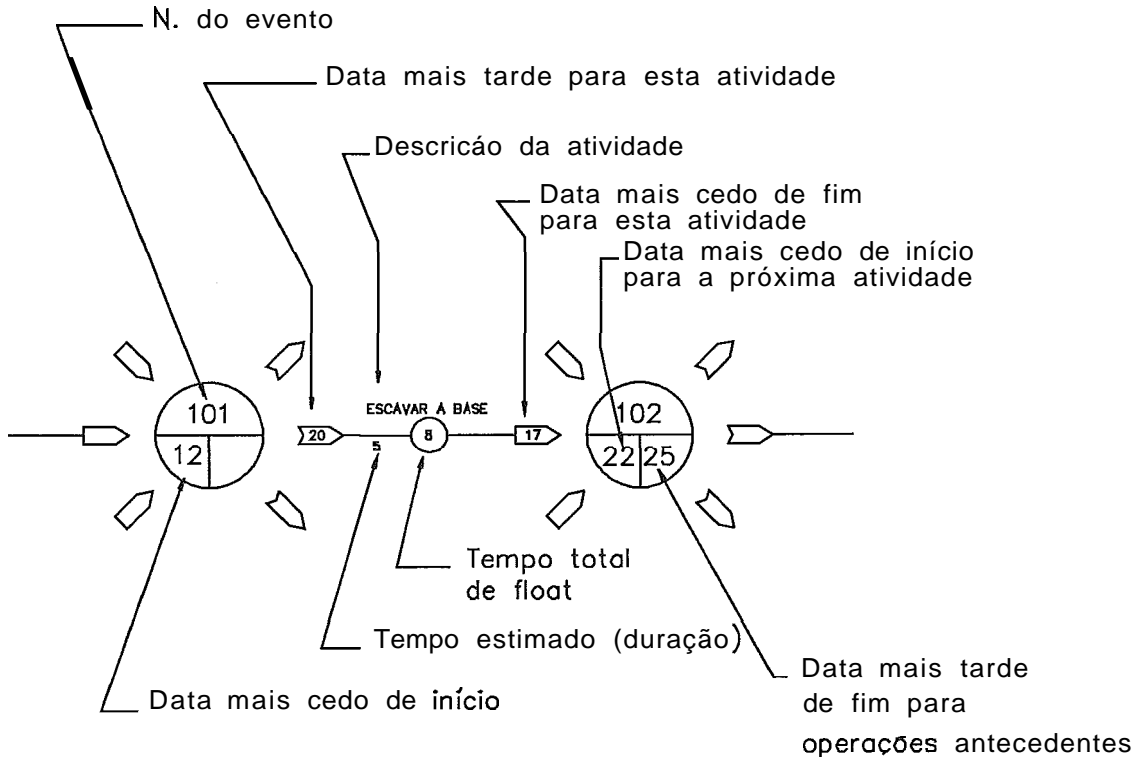


Figura IV.2

As atividades são identificadas por linhas. Os eventos são caracterizados por círculos. A duração de cada atividade será mostrada acima ou abaixo da seta. O início e a extremidade da seta são alongadas para que possamos introduzir as datas-mais-cedo e datas-mais-tarde, respectivamente. Os círculos (eventos) serão divididos em três partes. A seguir explicaremos o que entrará em cada uma das suas partes. As duas partes de baixo serão utilizadas para que possamos transportar os tempos das datas mais-cedo e mais-tarde. Na outra metade, que irá corresponder a parte de cima, será colocado o número do evento da atividade analisada. Para finalizar, o pequeno círculo que se localiza ao longo da seta é utilizado para que possamos indicar o **total**

**float(HOROWITZ,[21]).**

Estas atividades irão necessitar, para serem concluídas de um determinado período de tempo. É importante lembrar que os círculos e os nós também deverão ser tratados com um sentido especial.

Abaixo descreveremos as atividades do diagrama do Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ :

1 - 2	Compreensão da necessidade do cliente
2 - 3	Discussão sobre a forma do trabalho
2 - 5	Avaliação das alternativas
3 - 5	Formalização da proposta
5 - 5a	Atividade fantasma
5a - 6	Escolha da melhor alternativa
6 - 6a	Atividade fantasma
6a - 7	Início da escolha do material
6a - 9	Verificação do estoque
7 - 9	Meio da escolha do material
9 - 9a	Atividade fantasma
9a - 10	Atividade fantasma
9a - 11	Término da escolha do material
10 - 11	Orçamento
11 - 11a	Atividade fantasma
11a - 12	Compra do material
12 - 13	Projeto Visual
13 - 14	Início da programação das tarefas

13 - 16	Distribuição das Tarefas
14 - 16	Meio da Programação das tarefas
16 - 16a	Atividade fantasma
16a- 17	Execução do Projeto Visual
17 - 17a	Atividade fantasma
17 - 17b	Espera 1
17 - 18	Preparação dos textos para composição
17a - 21	Composição
17b - 21	Revisão da Composição
18 - 21	Arte Finalização da Capa
21 - 21a	Espera 2
21 - 22	Fotolito 1
21a - 25	Revisão
21 - 24	Retoque e Montagem do Fotolito
22 - 24	Fotolito 2
24 - 25	Gravação da Chapa
25 - 26	Corte do Papel
26 - 27	Impressão 1
27 - 28	Impressão 2
28 - 29	Conferência
29 - 30	Impressão 3
30 - 36	Dobra
30 - 31	Espera 3
31 - 36	Alceamento
31 - 32	Espera 4
32 - 36	Colagem do Miolo

32 - 33	Espera 5
33 - 34	Espera 6
34 - 36	Secagem
34 - 35	Espera 7
35 - 36	Refile
36 - 37	Trabalhos adicionais
37 - 38	Conferência do trabalho/Controle de Qualidade
38 - 38a	Atividade fantasma
38a - 40	Separação do material
40 - 40a	Espera 8
40 - 42	Arrumação na ordem necessária
40a - 42	Embalagem 1
42 - 42a	Atividade fantasma
42a - 43	Embalagem 2
43 - 43a	Expedição e Contabilidade de Custos
43a - 44	Atividade fantasma
43 - 44	Entrega do material ao cliente

Apresentamos nas figuras IV.3.1, IV3.2, IV3.3 e IV3.4 o diagrama representativo do sistema do Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ.

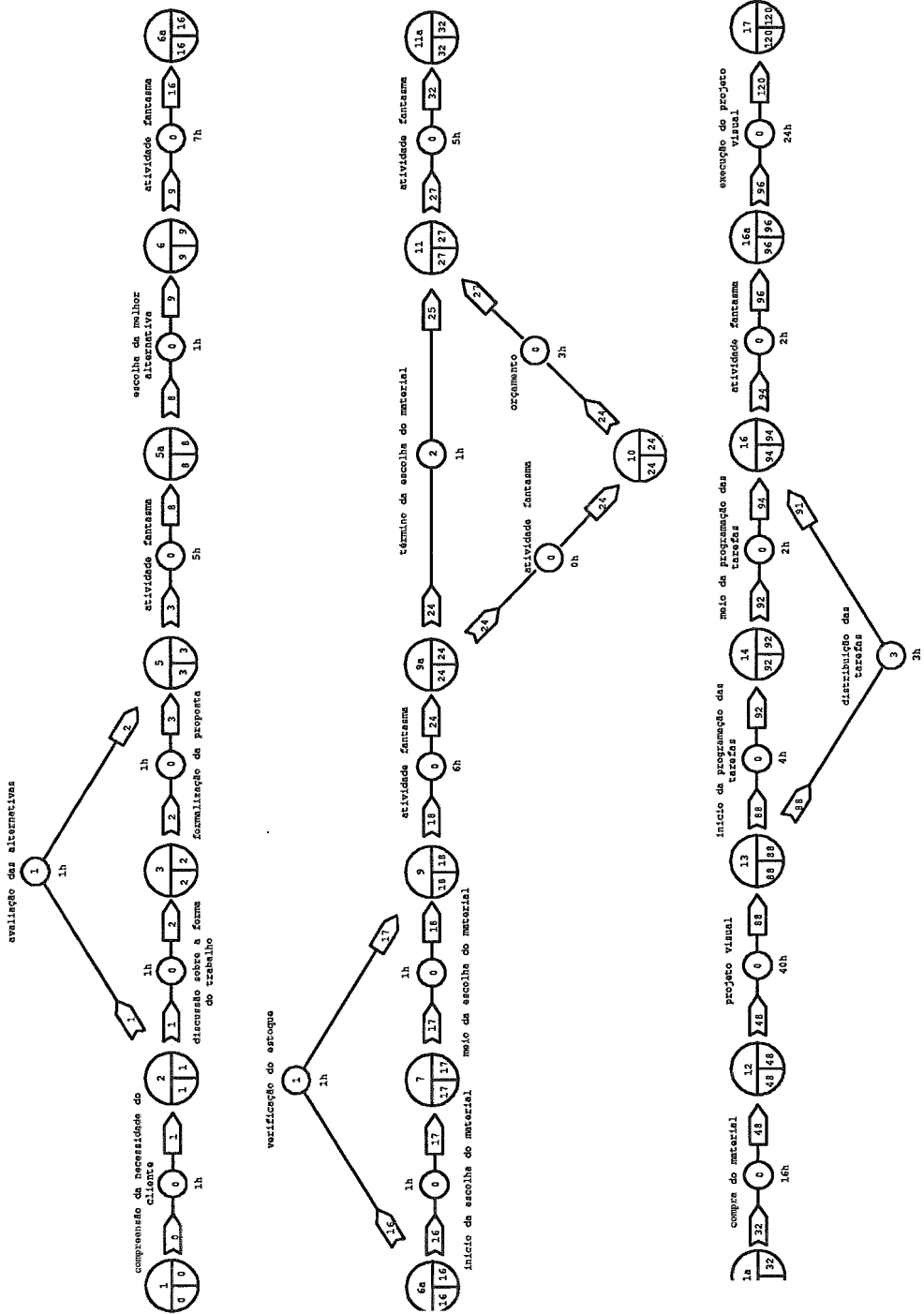


Figura IV.3.1

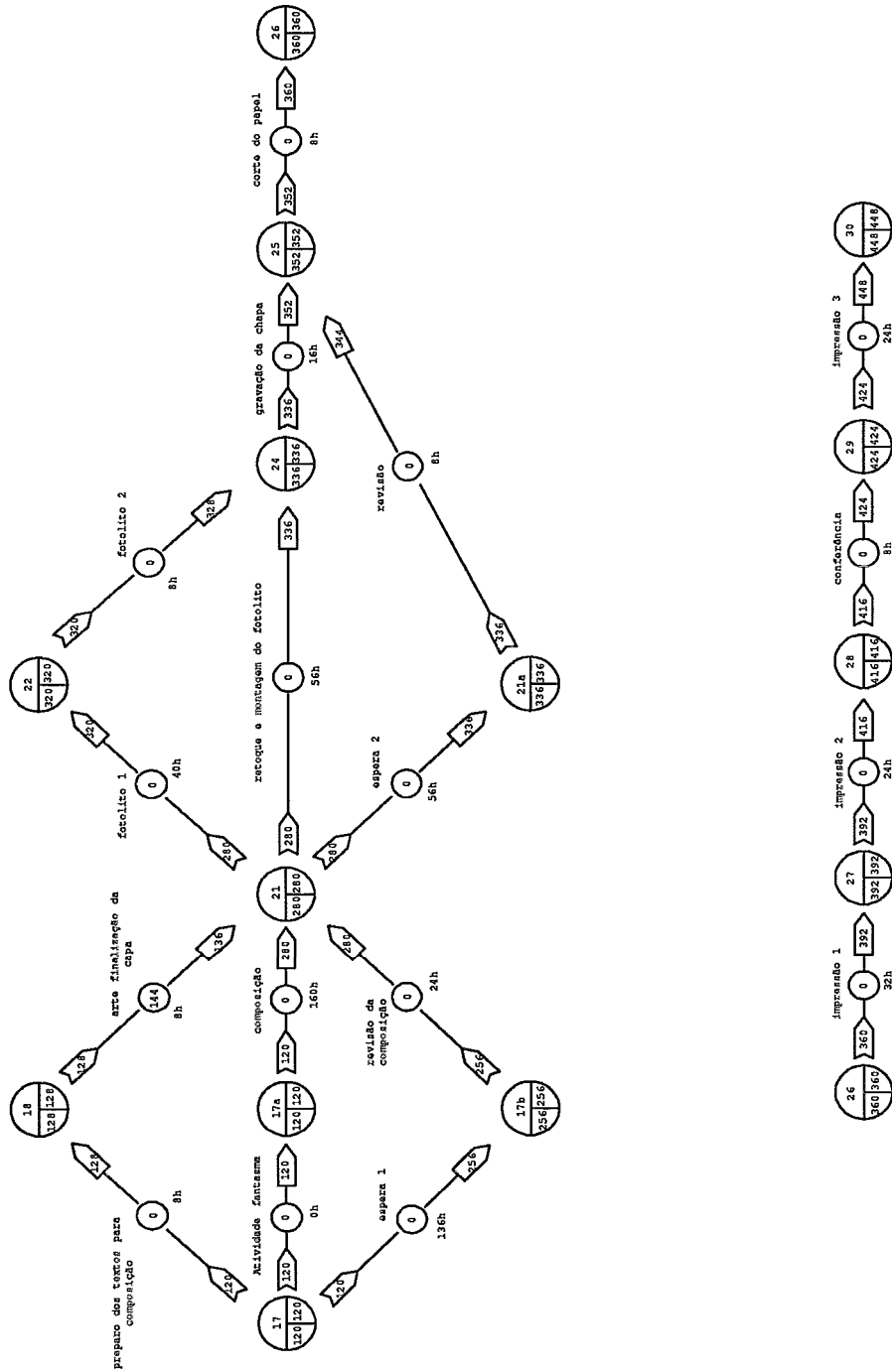


Figura IV.3.2



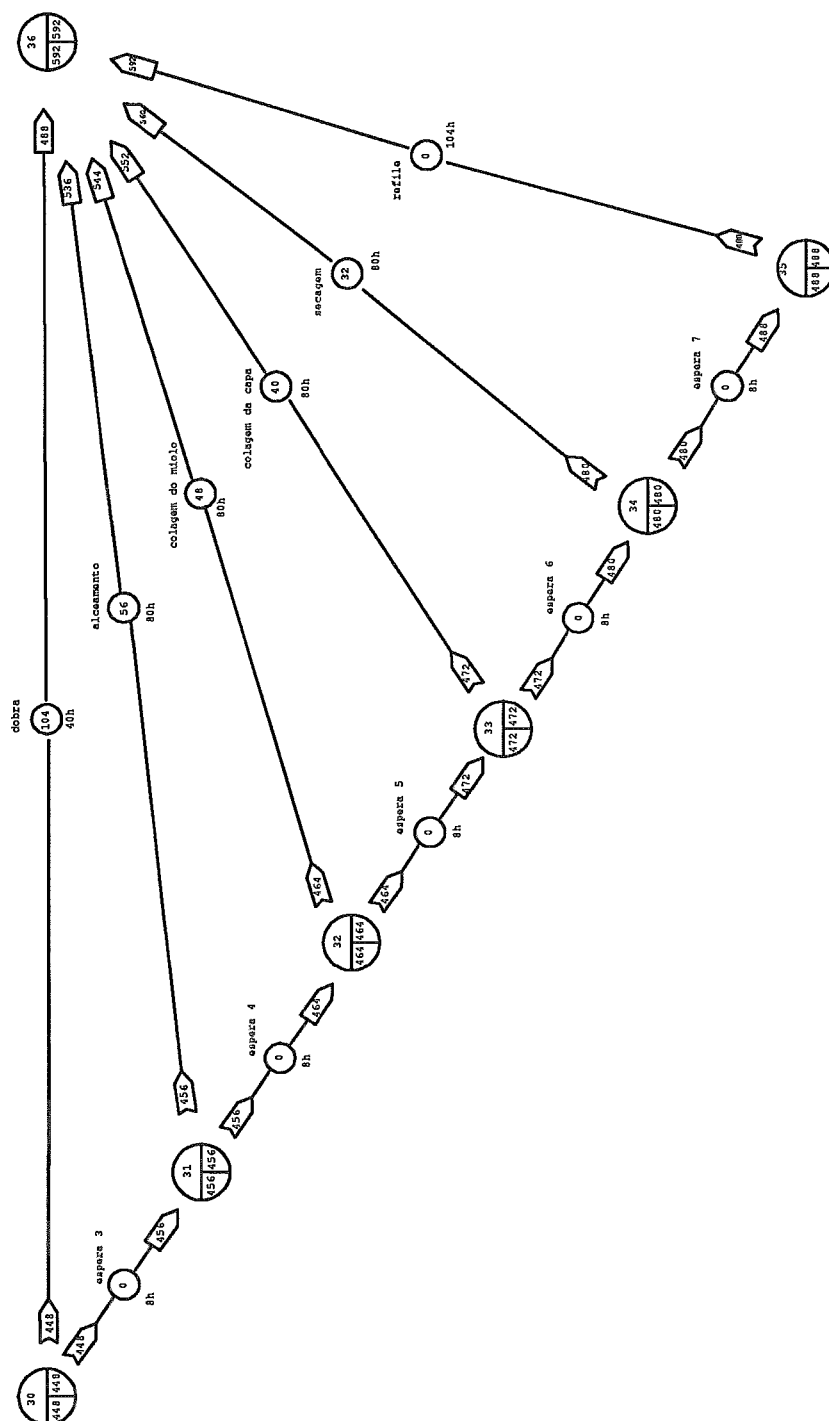


Figura IV.3.3

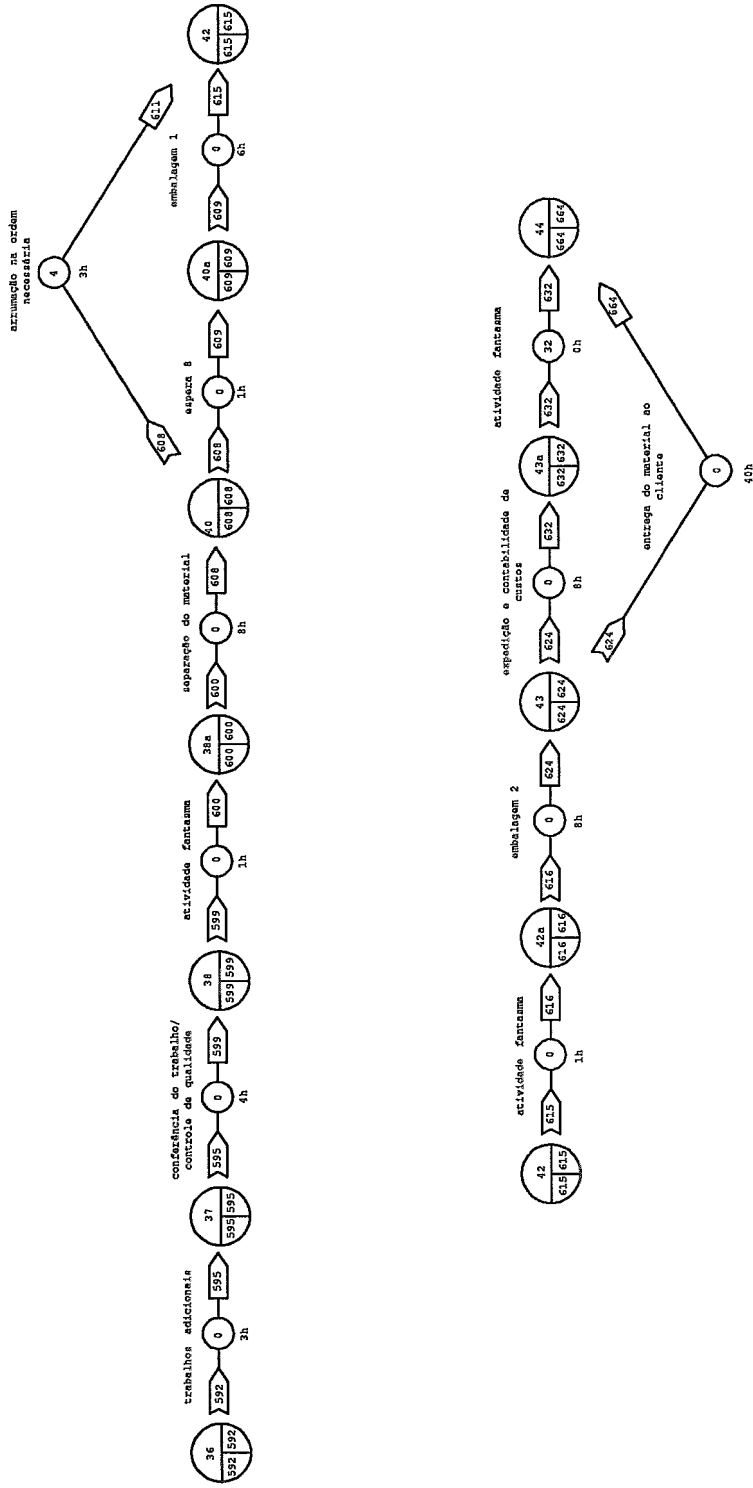


Figura IV.3.4

### IV.2.1. Tamanho do Diagrama

Em alguns casos, o responsável por determinado projeto não está interessado nos detalhes das operações individuais. Para que ele tivesse uma visão geral do projeto, deveria ser apresentado um diagrama que contivesse aproximadamente 100 a 300 setas.

É importante ressaltar que seria num nível muito detalhado, mas para que seja apresentado ao cliente ou usuário, o projeto é apresentado no diagrama contendo apenas os eventos mais importantes. A média de operações em projetos deste tipo é de trinta. Neste trabalho desenvolvemos um diagrama com 62 operações.

### IV.3. Tempo (Schedule)

**Schedule** pode ser definido como a alocação de recursos para a execução de determinadas tarefas.

O termo **scheduling** é aplicado em muitas situações diferentes, como para introduzir o elemento tempo.

Naturalmente, cada projeto tem o seu tempo de duração e terá:

- uma data inicial;
- um determinado tempo para acabar;
- uma data final.

Antes de fazermos o **schedule** de um projeto, criaremos um calendário que nos apresentará os dias de trabalho.

O item básico de um trabalho a ser executado é chamado em diversos contextos, tarefa ou atividade.

Podemos definir uma atividade como sendo uma fase discreta de um projeto com uma data-de-início, duração e data-de-término.

Algumas atividades em um projeto deverão ser completadas antes que outras possam começar e certas atividades não podem ser iniciadas antes que várias atividades preliminares sejam completadas.

A partir dessas informações, encontramos o caminho crítico para que sigamos para o **schedule** das atividades restantes.

Entretanto, se quisermos que o projeto acabe mais depressa, devemos diminuir a duração de uma atividade crítica.

As atividades críticas de um projeto formam o caminho crítico.

Se o caminho crítico é aumentado o projeto demorará mais. O caminho crítico é encurtado ou alongado quando uma atividade crítica é atrasada ou aumentada.

Para que possamos criar o melhor schedule possível devemos criar um schedule inicial utilizando suposições iniciais e atividades.

Então tentaremos suposições alternativas e atividades até que seja possível encontrarmos o schedule ótimo (ideal).

Isso é denominado de estimativa do schedule, e não pode ser mudado.

O schedule atual muda quando o projeto avança.

A maioria dos projetos possui uma data-de-início formada.

O schedule é então inicializado para completar o projeto tão rápido e economicamente quanto possível. Em alguns casos o ajustamento do projeto é do tipo tentativa e erro.

Ao analisarmos um projeto devemos dividi-lo da seguinte forma(HOROWITZ[21]):

- a) determinação dos seus elementos;
- b) estimativa de tempo ou duração de cada atividade;
- c) determinar a data inicial do projeto, data de término e datas de marcos no projeto.

A operação envolvendo estimativa de tempo ou duração, despenderá um grande esforço por parte do analista, sendo a duração usualmente determinada pelo número de horas/homens requeridos para completar uma operação e a quantidade da

turma de trabalho que irá ser utilizada. A fórmula é a seguinte:

$$\text{Duração} = \text{Horas-Homens}/\text{Tamanho da turma de trabalho} \quad (\text{IV.1})$$

O esforço (horas/homens) requerido para executar uma determinada tarefa, é uma variedade de fatores que estão descritos abaixo:

- 1- Tipo de Trabalho
- 2- Quantidade
- 3- Condições de Trabalho
- 4- Localização
- 5- Clima
- 6- Ferramentas e equipamentos
- 7- Nível de habilitação dos trabalhadores
- 8- Grau de Supervisão

Todos esses fatores entrarão no item horas-homem estimados e também os custos.

Apresentaremos na tabela IV.1 os homens/horas requeridos a cada dia.

Os tempos utilizados para a execução do projeto foram coletados através de entrevista e observação, com o responsável pelo Departamento de Desenvolvimento, Criação Gráfica da UFRJ.

Atividade i j	Descrição	Quan.	Unial	H/U	TTT	DU
1 - 2	Compreensão da necessidade do cliente	1	h	1	1	1
2 - 3	Discussão sobre a forma de trabalho	1	h	1	1	1
2 - 5	Avaliação das alternativas	1	h	1	1	1
3 - 5	Formalização da proposta	1	h	1	1	1
5a - 6	Escolha da melhor alternativa	1	h	1	1	1
6a - 7	Início da escolha do material	1	h	1	1	1
6a - 9	Verificação estoque	1	h	1	1	1
7 - 9	Meio da escolha do material	1	h	1	1	1
9a - 11	Término da escolha do material	1	h	1	1	1
10 - 11	Orçamento	3	h	3	1	3
11a - 12	Compra do material	16	h	16	1	16
12 - 13	Projeto Visual	40	h	80	2	40
13 - 14	Início da Programação da tarefas	4	h	12	3	4
13 - 16	Distribuição das tarefas	3	h	9	3	3
14 - 16	Meio da programação das tarefas	2	h	6	3	2
16a - 17	Execução do Projeto Visual	24	h	48	2	24
17 - 18	Preparo dos Textos para composição	8	h	16	2	8
17a - 21	Composição	160	h	160	1	160
17b - 21	Revisão da Composição	24	h	48	2	24
18 - 21	Arte Finalização da Capa	8	h	8	1	8
21 - 22	Fotolito 1	40	h	40	1	40
21 - 24	Retoque e montagem do fotolito	56	h	56	1	56
21a - 25	Revisão	8	h	16	2	8
22 - 24	Fotolito 2	8	h	8	1	8

Atividade i j	Descrição	Quan.	Unid	H/U	TTT	DU
24 - 25	Gravação da chapa	16	h	16	1	16
25 - 26	Corte do papel	8	h	8	1	8
26 - 27	Impressão 1	32	h	64	2	32
27 - 28	Impressão 2	24	h	48	2	24
28 - 29	Conferência	8	h	8	1	8
29 - 30	Impressão 3	24	h	48	2	24
30 - 36	Dobra	40	h	40	1	40
31 - 36	Alceamento	80	h	1200	15	80
32 - 36	Colagem do miolo	80	h	320	4	80
33 - 36	Colagem da capa	80	h	160	2	80
35 - 36	Refile	104	h	104	1	104
36 - 37	Trabalhos adicionais	3	h	3	1	3
37 - 38	Confer. do trabalho/Controle Qualidade	4	h	4	1	4
38a - 40	Separação do material	8	h	8	1	8
40 - 42	Arrumação na ordem necessária	3	h	3	1	3
40a - 42	Embalagem 1	6	h	6	1	6
42a - 43	Embalagem 2	8	h	8	1	8
43 - 43a	Expedição e contabilidade de custos	8	h	8	1	8
43 - 44	Entrega do material ao cliente	40	h	40	1	40

Tabela IV.1

O primeiro item da tabela, se refere a atividade que será analisada. Esses números são usados no diagrama de setas do Método CPM. A letra i se refere ao início



e a j ao fim da seta. Esses números só serão colocados depois que o diagrama foi finalizado.

O item descrição se refere a descrição da atividade que está sendo estudada.

O item quantidade (**Quan**) se refere ao número de horas que esta atividade leva para ser finalizada.

No item unidade (**Unid**) utilizaremos como padrão a unidade horas.

Homem por unidade (**H/U**) é a quantidade de homens requeridos para trabalhar em uma determinada atividade.

Tamanho da turma de trabalho(**TTT**), este item possui uma característica fundamental que é a seguinte: esta irá aumentar ou diminuir em função da necessidade de pessoal envolvido em determinada tarefa.

Duração de uma unidade (DU) é dado pela fórmula (IV.1) .

Operações críticas possuem prioridades e as operações não críticas são substituídas no tempo, com os seus **floats** disponíveis para atingir o **schedule** desejado. Se os recursos não são suficientes para completar o projeto dentro da duração computada, a finalização é estendida, e, com efeito, operações não críticas tornam-se críticas por falta de recursos.

Dependendo das características de um projeto, conceitos de **CPM** ou **PERT** deverão ser utilizados na modelagem de um problema.

Como vimos no capítulo III, que os tempos propostos no método **PERT** estão relacionados a projetos de um relativo grau de incerteza, em relação aos tempos das atividades. Como exemplo, projetos relacionados à pesquisa geralmente necessitam do conceito probabilístico de tempo, utilizado no **PERT**.

No projeto estudado neste trabalho, os tempos são eminentemente determinísticos. Por este motivo utilizaremos o conceito de tempo proposto no método **CPM**, por ser mais adequado às características do problema em questão.

#### **IV.4. Custo (Recurso)**

Vimos anteriormente que um elemento de grande importância é o tempo. Para o planejamento de um projeto, o segundo ponto a ser estudado de vital importância é o custo.

O custo e o tempo de cada operação completam-se, pois desenvolvem uma relação perfeita entre si sobre o desenvolvimento de um projeto.

Para precisar melhor o tempo, fazendo com que os custos totais sejam minorizados, devemos encontrar a maneira mais acessível de execução ou localização de uma tarefa.

Podemos determinar o custo para cada recurso que utilizaremos no projeto.

Recursos são pessoas, equipamentos, materiais.

Como o responsável por um projeto, também necessitamos considerar a totalidade de disponibilidade dos recursos - a capacidade.

Quando a capacidade de um recurso é excedida podemos ou aumentar a capacidade ou a duração da atividade que utiliza tal recurso.

Quando gerenciamos os recursos sabemos como a maioria destes é utilizada durante um determinado tempo e que atividades os utilizam.

É possível ajustarmos os custos que foram indicados para os recursos, sendo que frequentemente, quando aumentamos o custo de um recurso, o custo do projeto todo irá aumentar.

Entretanto, existem determinados momentos em que podemos aumentar o custo de um recurso e o custo do projeto todo diminuirá.

Os custos que são diretamente relacionados com operações individuais são conhecidos como custos diretos. Estes incluem trabalho, material e transporte. Já os custos indiretos são associados com o projeto como um todo, porém não dependem de operações individuais.

Em geral, embora os custos indiretos não possam ser associados especificamente com qualquer outra operação, estes tendem a aumentar o tempo.

O custo total para um projeto é a soma dos custos diretos e indiretos. Esses custos variam com o tempo.

Os custos levantados para que pudessemos desenvolver este trabalho foram coletados através de entrevista e observação com o responsável pelo Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ.

Operação		Custo (Cr\$)		Duração (Horas)		Custo Incremental		Máximo de horas encurtada:	Custo por hora encurtada: (7/ 8)	
i	j	Normal	Reserva	Normal	Reserva	(7)	(4 - 3)	(8)	(6 - 5)	(9)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(4 - 3)	(8)	(6 - 5)	(9)
1	2	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
2	3	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
2	5	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
3	5	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
5a	6	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
6a	7	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
6a	9	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
7	9	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
9a	11	750,00	800,00	1	2	50,00		1		50,00
10	11	750,00	800,00	3	4	50,00		1		50,00
11a	12	750,00	800,00	16	18	50,00		2		25,00
12	13	1.333,00	1.500,00	40	44	167,00		4		41,75
13	14	2.666,00	2.800,00	4	5	134,00		1		134,00
13	16	2.666,00	2.800,00	3	4	134,00		1		134,00

Operação	Custo (Cr\$)		Duração (Horas)		Custo incremental	Máximo de horas encurtadas	Custo por hora encurtada (7/8)
i j	Normal	Reserva	Normal	Reserva			
(1) (2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) (4 - 3)	(8) (6 - 5)	(9)
14 16	2.666,00	2.800,00	2	3	134,00	1	134,00
16a 17	1.333,00	1.500,00	24	26	167,00	2	83,50
17 18	6.000,00	6.200,00	8	9	200,00	1	200,00
17a 21	3.000,00	3.100,00	160	176	100,00	16	6,25
17b 21	6.000,00	6.200,00	24	26	200,00	2	100,00
18 21	4.000,00	4.200,00	8	9	200,00	1	200,00
21 22	2.500,00	2.700,00	40	44	200,00	4	50,00
21a 25	1.600,00	1.700,00	8	9	100,00	1	100,00
21 24	3.000,00	3.200,00	56	62	200,00	6	33,33
22 24	2.500,00	2.700,00	8	9	200,00	1	200,00
24 25	4.000,00	4.200,00	16	18	200,00	2	200,00
25 26	2.666,00	2.800,00	8	9	134,00	1	134,00
26 27	2.222,00	2.400,00	32	35	178,00	3	59,33
27 28	2.222,00	2.400,00	24	26	178,00	2	89,00
28 29	3.000,00	3.200,00	8	9	200,00	1	200,00
29 30	2.222,00	2.400,00	24	26	178,00	2	89,00
30 36	3.000,00	3.200,00	40	44	200,00	4	50,00
31 36	4.500,00	4.600,00	80	88	1.000,00	8	125,00
32 36	10.664,00	12.000,00	80	88	1.336,00	8	167,00
33 36	5.332,00	5.500,00	80	80	168,00	8	21,00
35 36	2.666,00	2.800,00	104	114	134,00	10	13,40

Operação		Custo (Cr\$)		Duração (Horas)		Custo Incremental		Máximo de horas encurtadas		Custo por hora encurtada (7/8)	
i	j	Normal	Reserva	Normal	Reserva	(7)	(4 - 3)	(8)	(6 - 5)	(9)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(4 - 3)	(8)	(6 - 5)	(9)	
36	37	2.666,00	2.800,00	3	4	134,00		1		134,00	
37	38	4.000,00	4.200,00	4	5	200,00		1		200,00	
38a	40	2.666,00	2.800,00	8	9	134,00		1		134,00	
40	42	777,00	850,00	3	4	73,00		1		73,00	
40a	42	777,00	850,00	6	7	73,00		1		73,00	
42a	43	777,00	850,00	8	9	73,00		1		73,00	
43	43a	3.333,00	3.500,00	8	9	167,00		1		167,00	
43	44	750,00	800,00	40	44	50,00		4		12,50	

Tabela IV.2

Agora descreveremos a tabela do custo.

A tabela do custo está estruturada da seguinte forma.

O item operação que possui as letras i e j, dita o início e o fim de uma atividade. Tanto a letra i quanto a letra j, e os demais ítems possuem números que os caracterizarão.

O item custo está dividido em dois subítens que são o custo de reserva e o normal. O custo de reserva é aquele que possui um valor um pouco mais alto

prevendo o surgimento de alguma eventualidade, já o normal é o valor gasto pela atividade em questão.

A duração que será em horas também possuirá os itens normal e de reserva (todos com características semelhantes ao anterior).

O próximo item a ser analisado será o custo incremental que é dado pela subtração dos itens 4 e 3, ou seja, do custo de reserva menos o custo normal.

O item máximo de horas encurtadas é também dado por uma subtração (da duração, em horas, de reserva pela normal).

Já o custo por hora encurtado segue a mesma lógica, ou seja, é feita a divisão do custo incremental pelo número máximo de horas encurtadas, conseguindo-se com isso, alcançar o valor desejado.

## **IV.5. Gráfico de Gantt**

### **IV.5.1. Introdução**

Um dos mais modernos métodos gerenciadores conhecidos é o Gráfico de Gantt. Este tem sido amplamente utilizado na indústria desde que Henry Gantt o inventou por volta de 1918. O Gráfico de Gantt é uma série de barras plotadas na previsão da escolha de um calendário. Cada barra representa o início, a duração e o fim de uma tarefa que deverá ser executada. Gerenciadores contemporâneos tem usado-o extensivamente para o planejamento com certas adições e modificações,

no sentido de aumentar o controle do planejamento original. Entretanto, com o advento da concorrência e sistemas de larga escala em projetos de engenharia, vem revelando algumas inclinações fundamentais no gráfico de barras como uma ferramenta de gerenciamento cada vez mais dinâmica, mudando o meio gerenciador. Essas indicações abrangem fundamentalmente a incapacidade do gráfico de mostrar interdependências que existem entre os esforços representados pelas barras. Isso é uma deficiência séria quando fazemos um sistema em que várias tarefas são programadas com um alto grau de concorrência.

Frequentemente, usamos somente um gráfico de barras como referência. O gerente irá supervisionar interdependências críticas entre duas ou mais tarefas porque o gráfico de barras convencional não pode mostrar tais relações.

No gerenciamento contemporâneo, a deficiência da incapacidade de refletir ambiguidades, ou tolerâncias, na duração dos tempos estimados das atividades pode ser crítica. Desenvolvimentos na tecnologia tem criado projetos sem precedência de tamanho e complexidade, em que os tempos e custos são incertos. Isso é mostrado dramaticamente por sistemas de armas modernas e programas de sistemas espaciais, que são caracterizados por pesquisas extensivas, desenvolvimento, esforços de engenharia e por uma produção insignificante no sentido tradicional.

#### **IV.5.2. O Diagrama de Setas e o Gráfico de Gantt**

Nesse tipo de gráfico, o tempo que uma atividade deveria levar é representado por uma linha horizontal, o tamanho dessa linha deve ser proporcional ao tempo de duração dessa atividade. Para que a maioria dessas atividades possam ser



representadas no mesmo gráfico, um esquema quadriculado, deverá ser construído com o tempo crescente da esquerda para a direita e na parte superior, e as atividades sendo listadas de cima para baixo (como é mostrado abaixo).

TEMPO ATIVIDADE	SEMANAS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Figura IV.4

Vamos assumir que para simplificar o entendimento existam três atividades, A, B e C, que devem ser executadas em sequência, e que os tempos de duração são os seguintes:

Atividade A ..... 4 semanas

Atividade B ..... 6 semanas

Atividade C ..... 5 semanas

Isso poderia ser representado no Gráfico de Gantt por:

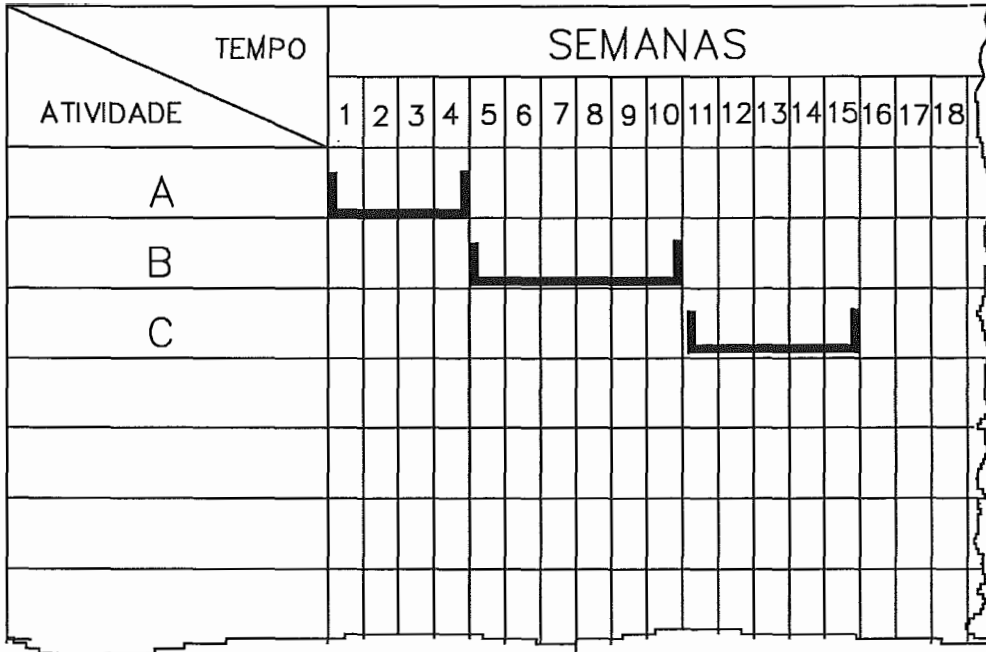


Figura IV.5

que mostraria muito claramente como o trabalho evoluiria.

Então, no final da 8ª semana, o total da atividade A e  $\frac{2}{3}$  da atividade B deveria ser completada.

Para mostrar a evolução do trabalho, uma barra ou linha pode ser desenhada dentro do símbolo da atividade analisada, o tamanho da barra representando a quantidade do trabalho efetuado. Assim, se 50% de uma atividade for completada, uma barra com a metade do comprimento da atividade é desenhada. Isso dá uma representação bastante simples e notável do trabalho feito, particularmente se o número de atividades são representadas no mesmo gráfico, como será mostrado a seguir.



Figura IV.6

Se esse gráfico foi corretamente preenchido ele será visto ao final da 7ª semana como mostrado na figura IV.7 (denotado por duas pequenas setas na parte de cima e na parte de baixo do gráfico), então as seguintes informações estarão facilmente disponíveis:

Atividade A deverá estar completa e, de fato ela está,

Atividade B deverá estar 50% completa mas somente 17% foi realizada,

Atividade C não deverá ter sido iniciada, de fato ela não o foi,

Atividade D deverá estar 62% completa e, no entanto somente 50% foi realizada,

Atividade E deverá estar 17% completa, de fato 50% foi realizada,

Atividade F deverá estar completa, no entanto não foi iniciada,

Atividade G deverá estar 87% completa, e de fato ela o está,

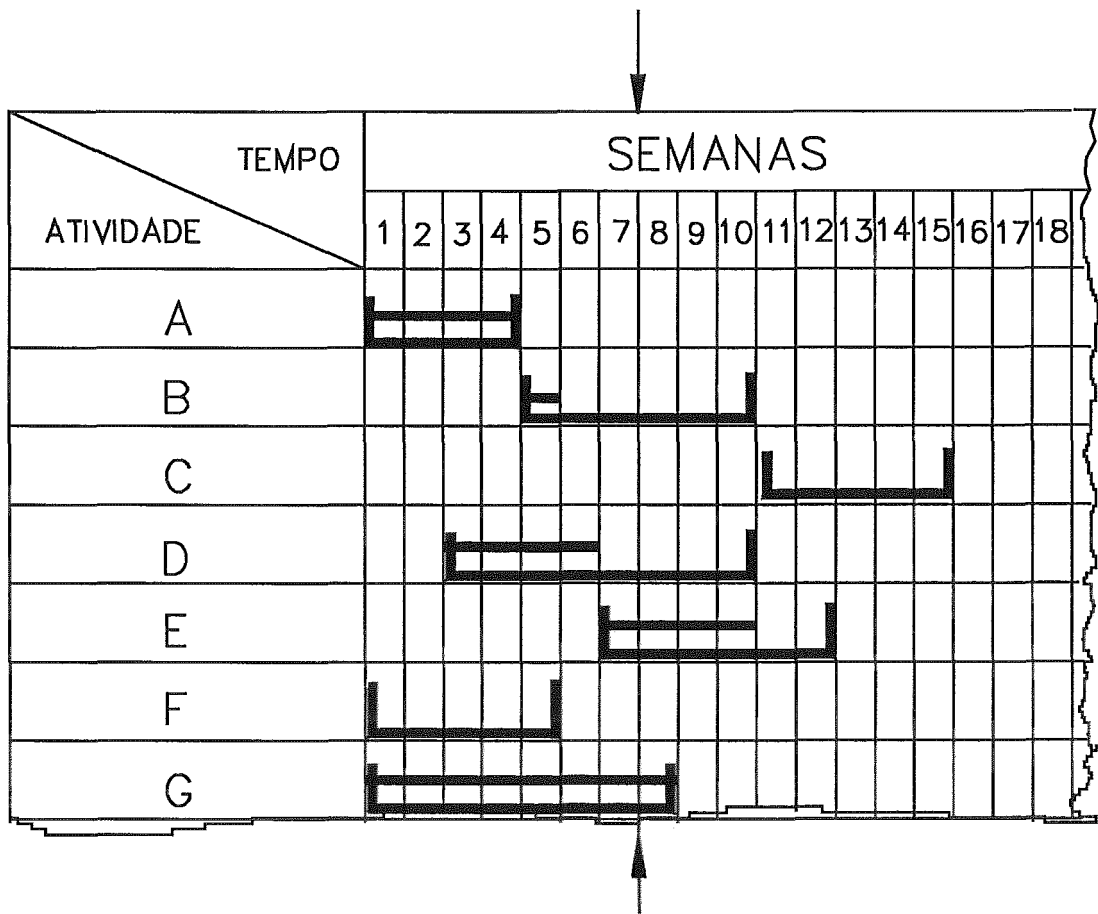


Figura IV.7

barras incompletas do lado esquerdo das setas indicam desempenho insuficiente, enquanto que as do lado direito das mesmas indicam desempenho mais do que suficiente. Pelo uso de códigos e/ou símbolos, as razões para atrasos podem ser mostradas, e o gráfico como um todo pode ser muito sucintamente informativo, combinando o planejamento e registrando a evolução do projeto. Para muitas tarefas o Gráfico de Gantt é insubstituível, seu uso tem sido altamente desenvolvido.

### **IV.5.3. Dificuldades no Gráfico de Gantt**

O problema que surge, com o qual o Gráfico de Gantt não pode ser facilmente tratado é o interrelacionamento das atividades. Enquanto o Gráfico acima mostra sete atividades discretas (A,B,C,...,G), não é facilmente visto nenhum interrelacionamento entre as atividades. É possível em trabalhos de pequena escala ligar as barras com linhas pontilhadas, porém se muitas atividades estão envolvidas, o gráfico torna-se confuso e sem utilidade. Como exemplo, considere um projeto que somente é finalizado quando três atividades C, H e I estiverem completas. A atividade H, não pode iniciar até que uma atividade D esteja completa e a atividade I não pode iniciar antes das atividades E,F,G terem terminado. G não pode iniciar enquanto a atividade D não estiver completa, a qual não deve iniciar até a atividade B estar completa. A atividade E deve seguir a atividade B, e a atividade F deve seguir uma outra atividade, A. O projeto começa com as atividades A,B e C sendo iniciadas. O tempo de duração das várias atividades são:

Atividade	Duração(semanas)
A	16
B	20
C	30
D	15
E	10
F	15
G	3
H	16
I	12

Tabela IV.3

Tentar tal representação em um Gráfico de Gantt poderá resultar num diagrama como mostrado na figura IV.4. Isso não indica, por exemplo que a atividade necessariamente dependa das atividades E,F e G, ou que o projeto deva esperar até o término da atividade C.

Pode ser possível redesenhar o gráfico para mostrar alguns desses interrelacionamentos, porém com a estrutura de trabalho do Gráfico de Gantt não é possível fazê-lo.

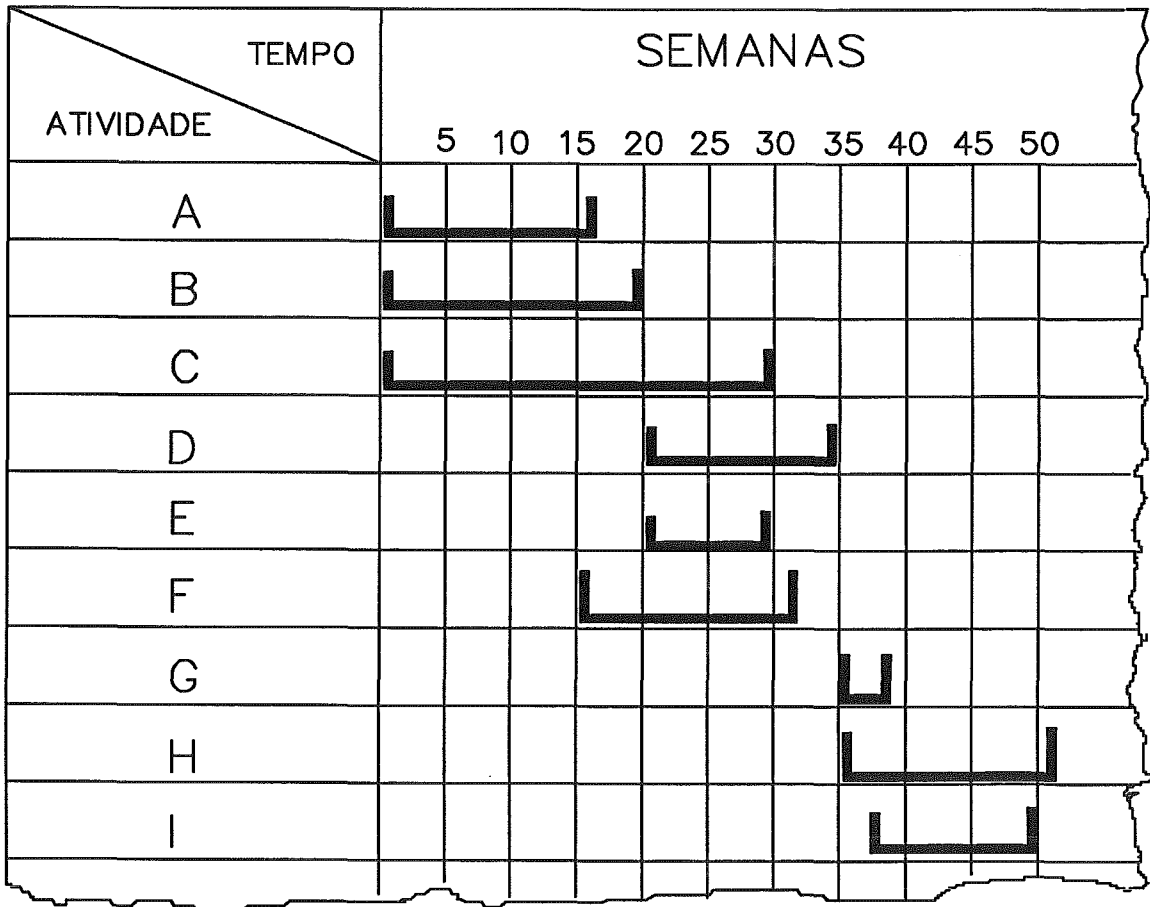


Figura IV.8

#### IV.5.4. Interrelacionamentos e Diagrama de Setas

Como nós temos visto, o diagrama de setas abandona o comprimento como uma medida de tempo, e concentra-se no relacionamento lógico entre as atividades. Para fazer isso, a base horizontal é também perdida, e o resultado do projeto representado acima pelo Gráfico de Gantt é o diagrama de setas que já foi discutido anteriormente (Figura IV.9).

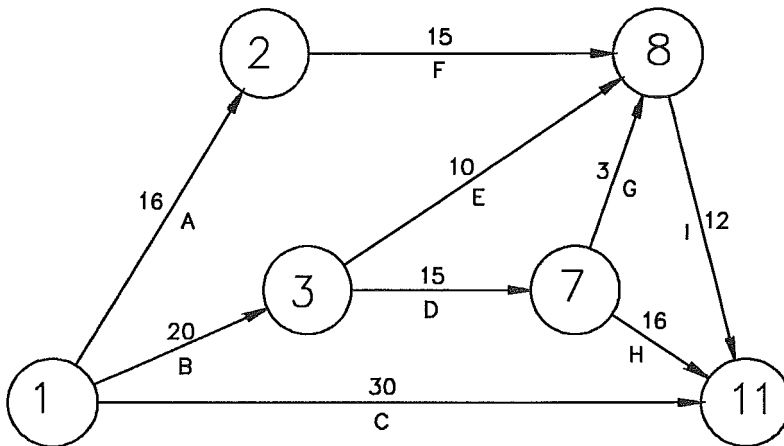


Figura IV.9

Isso mostra muito claramente os interrelacionamentos necessários, e sua análise pode prover outras informações valiosas. Entretanto, perdem-se grandes recursos do Gráfico de Gantt como os citados abaixo:

- o comprimento representa o tempo;
- o próprio gráfico pode ser usado para registrar o progresso do trabalho.

#### IV.5.5. Conciliando o Gráfico de Gantt com o Diagrama de Setas

Visto que, a representação do gráfico de barras tem consideráveis vantagens, é desejável converter-se um diagrama de setas em um gráfico de barras. Essencialmente isso é feito se utilizarmos os números inicial e final para mostrar a ligação lógica entre as atividades. Para ilustrar essa técnica o exemplo acima será redesenhado como um Gráfico de Gantt. Com a finalidade de esclarecimento no entendimento do **float** o Gráfico de Gantt simplificará tais dúvidas.

## 1ª Etapa

Listar as atividades em ordem crescente de início das mesmas. Quando duas ou mais atividades tiverem o mesmo valor, coloque-as em ordem crescente de término dessas atividades. Isso, no nosso exemplo, fornecerá uma lista como apresentada abaixo:

Atividade	Duração
1-2	16
1-3	20
3-7	15
2-8	15
3-8	10
7-8	3
1-11	30
7-11	16
8-11	12

Tabela IV.4

## 2ª Etapa

Construa a estrutura do Gráfico de Gantt com a escala de tempo na parte superior, números de início abaixo e do lado esquerdo do mesmo.



**3ª Etapa**

Pegar a primeira atividade da lista descrita, colocar os valores inicial e final no começo e no final da barra que inicia na semana zero.

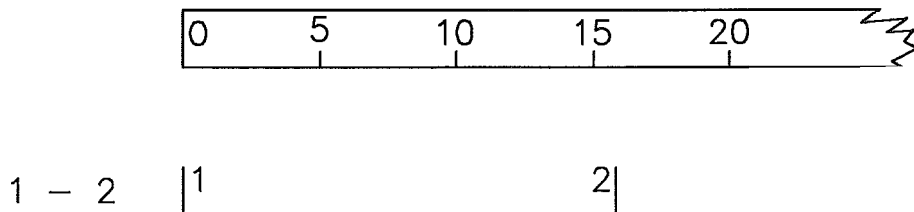


Figura IV.10

**4ª Etapa**

Pegar a segunda atividade da lista, alinhar o número inicial com o número final da atividade anterior, se estes forem os mesmos. Caso não sejam, então alinhe o número inicial com o número inicial da atividade anterior com o qual eles coincidem.

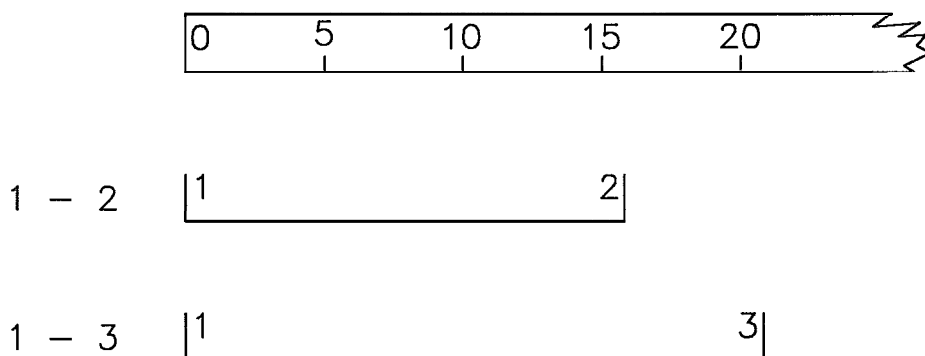


Figura IV.11

**5ª Etapa**

Repetir as etapas três e quatro para todas as atividades restantes, alinhando

os números finais com os números iniciais anteriores onde for possível, alternativamente números finais com os números finais anteriores. Isso irá então nos dar um gráfico como é mostrado na Figura IV.8 ( Nota: Uma regra simples para desenhar o gráfico é combinar o número final com o mesmo número que está mais distante à direita). Qualquer atividade fantasma deve ser incluída como simples linhas superiores.

Esse gráfico, embora em forma de barra, é equivalente ao diagrama de setas original, lembrando que as barras são unidas quando elas tem um número em comum, um no início e o outro no fim da barra, assim, a barra 3-8 é unida à barra 8-11. Logo, se 3-8 é deslocada para a direita, ela poderá somente mover-se até o final (-8), coincidindo com o começo (8-) da barra 8-11. Isso então, permitirá que o caminho crítico e diversos **floats** sejam determinados sem qualquer cálculo.

#### **IV.5.6. Determinação do Caminho Crítico**

Claramente, o caminho crítico tende entre o ponto mais distante à direita (no caso de 11 na atividade 7-11) e o ponto mais distante para a esquerda (nesse caso qualquer atividade que possua o número 1). Começando com o ponto mais distante do lado direito, desenhar uma linha vertical para cima até encontrar o ponto mais distante do lado direito, carregando o número de início da atividade encontrada e combinando-o com o número do final da primeira atividade que combine com esta, neste caso o número mais distante do lado direito combinado com o primeiro número do lado esquerdo (7), é o 7 na atividade 3-7. O caminho crítico então está disposto ao longo dessa atividade. Esse procedimento é repetido até que o primeiro número (1) seja alcançado, que neste caso está mostrado na atividade (1-3). No diagrama, o caminho

crítico é representado por uma linha quebrada, que está disposta ao longo de 1-3-7-11. Essa linha pontilhada é usada somente para enfatizar o caminho crítico e não deveria ser tomada como alguma forma de obstáculo.

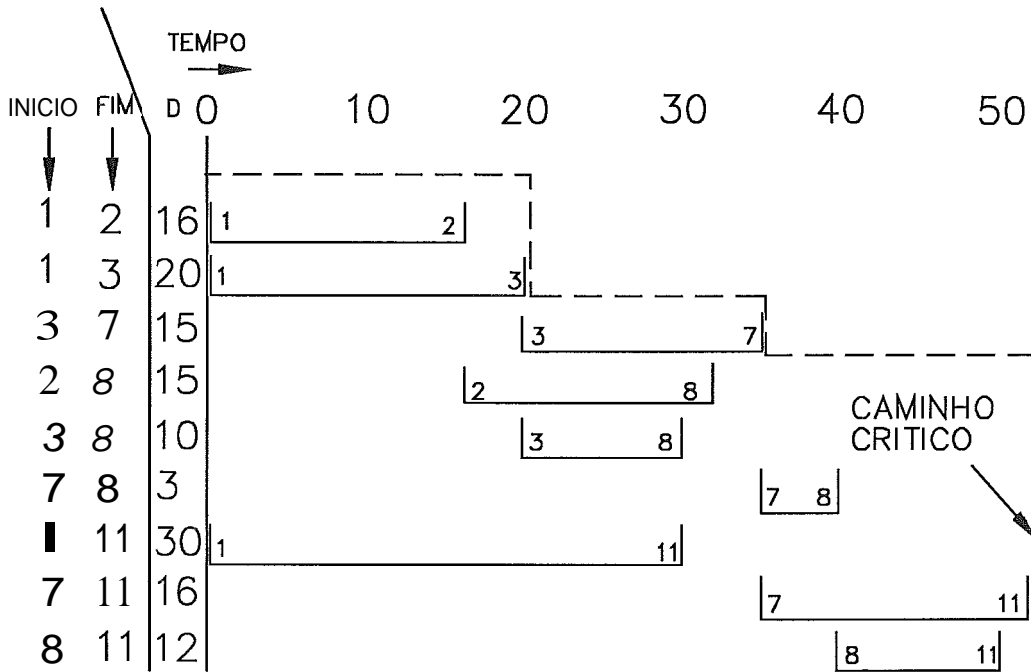


Figura IV.12

#### IV.5.7. O Gráfico de Gantt Sequenciado

Uma modificação usual e econômica para o Gráfico de Gantt normal e que alguns autores tem denominado de Gráfico de Gantt Sequenciado, seria tomar uma seqüência de atividades e colocá-las em barras contínuas. Por exemplo, se considerarmos a rede e o Gráfico de Gantt usados anteriormente, no Gráfico de Gantt Sequenciado o caminho crítico é representado como uma barra contínua.



As partes sombreadas indicam **flutuações** disponíveis: por exemplo a atividade 3-8 possui um **free float** de 8 semanas (área B sombreada) e um **total float** de 9 semanas (área B sombreada mais área A sombreada). Similarmente, a atividade 7-8 não possui **free float**, uma vez que, esta não possui uma área sombreada imediatamente a sua direita, porém ela possui **total float** de uma semana pois a mesma pode ter um "desvio" na atividade 8-11 dentro da área A sombreada. O "início" de uma sequência é fixado pela data-mais cedo-de-início da primeira atividade na sequência, enquanto que o "final" de uma sequência é fixado por uma data-mais-tarde-de-fim da última atividade na sequência. O tempo entre esse início e fim é o tempo máximo disponível, enquanto que a soma das durações das atividades é o tempo necessário.

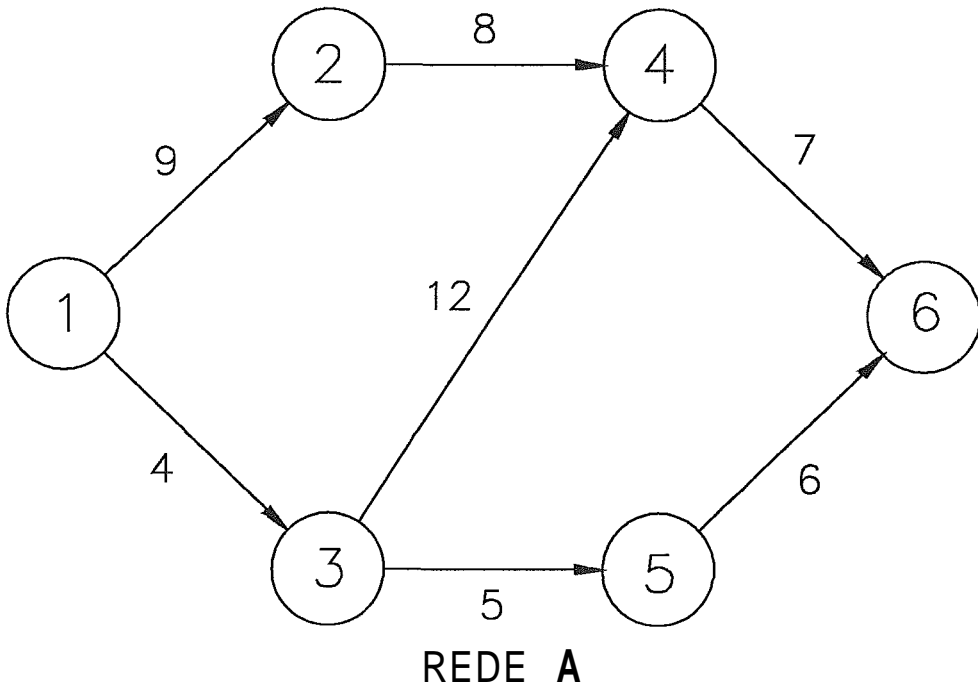
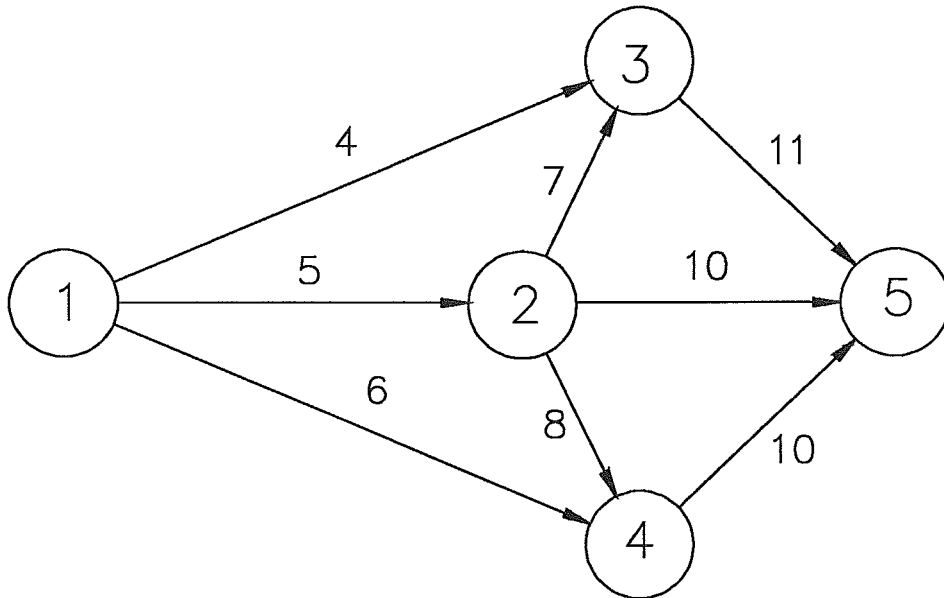


Figura IV.15



REDE B

Figura IV.16

Enquanto o Gráfico de Gantt Sequenciado pode ser representado por barras modificadas no Gráfico de Gantt normal, dentro de posições convenientes, é frequentemente mais rápido calcular os tempos dos eventos ( $E=L$ ) e a partir destes, determinar o caminho crítico e os limites das sequências não-críticas. É mais utilizado posicionar o Caminho Crítico através do centro do gráfico, e será necessária alguma prática se for para se obter a disposição mais apropriada de várias sequências. Isso nem sempre é necessário para representar todo o gráfico: partes, tempo, função ou recurso são frequentemente utilizados, e esses são representações simples, se for lembrado, que o "início" da sequência é fixado por  $E$  (que é igual ao fim do evento da primeira atividade) e o "fim" de uma sequência é fixado por  $L$  (que é igual ao início do evento da última atividade).

O Gráfico de Gantt Sequenciado é particularmente adequado para o uso com planejamento, desde que este use menos linhas do que o Gráfico de Gantt normal.

Escrevendo a descrição das atividade sobre as barras, e utilizando cores para visualizar diferentes recursos e flutuações, uma representação muito clara poderá ser obtida, e levada (alocação de recurso) à inspeção poderá ser relativamente simples de se realizar (LOCKYER [27]).

## Capítulo V

### RESULTADOS

#### V.1. Introdução

Atualmente tornou-se muito comum a aplicação da teoria de simulação em vários campos de pesquisa, visando entre outras coisas, diminuir custos, aumentar a rapidez na análise de resultados, evitar riscos de vidas humanas etc.

Neste trabalho era nossa intenção obter uma avaliação prática sobre aplicação do diagrama proposto para a Gráfica, a fim de se ter uma idéia se realmente tal proposta estaria de acordo com os objetivos a serem atingidos. Devido a falta de tempo para se fazer tal avaliação, e visto que o diagrama proposto pressupõe que o livro a ser produzido passasse por todas as etapas previstas, e que, tal atividade não é rotineira, como foi explicado no Capítulo IV, procuramos então buscar uma solução para esta avaliação usando a teoria da simulação como uma ferramenta que nos possibilitasse não só avaliar o desempenho do projeto, como também, permitir que fosse possível mostrar a grande vantagem de se utilizar o Gráfico de Gantt como uma ferramenta de auxílio na execução de um projeto.

Uma vez definida, pela escolha de se fazer a simulação da produção de um livro, o nosso próximo passo foi levantar todas as informações necessárias para tal(BALINTFY [4]).

Para se fazer a simulação do tempo gasto por cada tarefa foi feito um levantamento amostral destes tempos, cujos valores nos foram passados através de



Tarefas	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28	a29	a30	a31	a32	a33	a34	a35	a36	a37	a38	a39	a40	a41	a42	a43	
023	025	024	005	057	061	058	167	044	012	039	242	038	092	018	589	025	160	338	031	016	046	310	019	279	031	012	441	022	025	075	084	086	078	105	179	194	597	399	176	179	345	047		
055	019	035	015	138	076	057	145	044	015	040	238	175	157	025	433	040	181	364	032	013	044	312	014	369	024	033	343	022	043	087	073	071	075	087	188	309	470	431	191	219	262	030		
080	054	007	011	046	054	061	203	068	008	035	246	131	030	028	488	020	165	392	047	005	061	310	011	333	032	016	378	023	026	061	079	086	088	100	160	265	463	397	230	341	378	047		
067	033	028	013	028	068	056	172	043	015	024	242	106	159	024	552	019	151	414	027	006	049	439	015	265	036	021	300	022	026	062	077	070	075	094	125	210	443	313	162	423	321	039		
081	015	014	011	049	067	052	162	038	007	029	239	149	123	019	497	021	223	389	040	003	047	302	015	250	030	014	305	015	028	061	068	078	084	094	194	209	469	279	174	373	308	046		
018	031	047	006	055	047	056	167	058	014	031	233	089	177	016	474	025	178	374	049	004	054	332	014	259	028	019	337	019	041	064	078	077	080	104	212	201	610	240	168	322	357	014		
043	037	033	011	047	065	060	173	076	011	026	247	160	114	020	481	033	171	365	042	006	050	320	016	237	031	015	348	023	035	072	065	083	077	080	184	202	487	356	187	255	359	029		
045	031	026	007	092	068	058	198	065	017	040	236	083	066	022	557	032	150	379	036	005	063	418	015	237	035	027	369	026	036	063	079	088	085	107	164	304	608	320	120	404	308	025		
047	041	005	007	054	063	058	206	046	019	047	239	171	189	025	441	021	149	376	019	004	063	351	017	286	032	016	287	024	028	056	073	069	072	101	201	326	554	298	132	191	414	033		
048	045	017	007	062	073	066	179	029	016	033	244	151	139	027	491	029	186	382	027	005	049	335	016	367	029	016	398	023	028	072	077	079	080	113	208	302	443	374	171	369	377	023		
072	030	009	023	072	072	059	213	143	030	042	236	151	137	022	489	020	169	328	030	003	048	309	016	378	024	028	419	020	029	069	073	076	077	094	140	222	467	385	185	294	311	032		
042	025	006	032	044	070	059	192	069	007	031	245	162	151	040	406	027	169	349	046	003	051	310	013	262	030	017	478	023	027	054	069	067	090	124	170	275	507	380	168	480	353	035		
100	026	030	004	076	043	062	244	064	011	034	239	244	087	024	504	025	151	345	025	002	048	300	012	404	037	019	525	025	045	058	076	073	078	098	202	240	418	493	214	220	334	034		
018	033	019	029	059	067	062	178	074	007	039	239	106	163	020	443	021	182	329	035	006	043	342	012	257	025	019	277	020	039	071	062	086	084	100	165	180	552	316	176	261	303	026		
040	017	049	018	063	064	057	156	053	009	041	239	117	140	013	523	034	158	419	041	009	048	364	013	296	035	021	470	014	035	062	077	082	082	107	183	255	457	341	223	348	247	030		
034	025	046	017	034	058	066	172	051	012	038	233	120	132	028	469	024	153	285	038	007	040	337	017	336	029	021	465	013	031	072	077	073	087	129	175	156	523	322	189	175	258	032		
076	042	046	030	111	073	058	164	051	008	038	246	091	084	032	451	026	148	336	050	005	039	359	013	300	030	026	366	014	025	071	068	079	077	094	188	195	560	307	182	232	283	051		
035	027	032	006	039	077	058	187	061	008	028	237	117	070	019	489	015	142	315	042	003	057	344	014	240	029	013	358	017	042	059	071	086	079	094	209	181	501	434	184	250	290	029		
087	023	030	007	093	047	062	194	070	013	047	234	151	105	017	496	020	158	361	025	001	051	531	019	253	027	026	439	018	039	062	074	079	076	088	149	230	437	274	156	371	406	021		
026	032	038	018	045	067	057	196	052	015	037	233	167	166	015	500	021	175	413	046	006	050	275	017	305	031	022	509	021	036	075	077	082	077	107	178	259	444	370	183	317	387	025		
034	021	047	012	064	075	059	195	059	013	025	236	128	194	023	467	022	169	330	029	005	052	405	012	371	026	017	400	028	029	066	075	072	079	090	143	251	423	462	149	170	371	030		
038	031	063	009	034	068	062	156	086	014	034	231	148	076	022	566	025	148	319	035	002	054	442	013	266	023	024	353	021	042	066	067	069	072	091	176	267	514	331	194	182	302	041		
078	030	028	027	082	065	068	195	072	011	032	234	152	129	019	516	024	182	353	028	011	042	250	020	326	031	018	425	025	027	076	072	084	079	102	189	227	533	372	190	350	364	031		
059	021	053	007	093	066	061	100	060	012	045	248	161	133	030	428	022	213	382	050	001	066	256	014	250	032	023	544	025	029	062	063	076	088	085	181	232	562	308	185	591	253	025		
028	038	018	018	050	049	058	195	030	018	030	243	184	172	027	449	027	158	363	043	007	050	367	016	302	035	014	333	023	029	072	066	065	078	098	209	274	513	315	176	180	354	024		
084	028	028	019	069	060	054	187	072	014	032	238	100	155	033	498	023	181	369	035	004	041	457	012	358	036	012	423	029	030	080	078	079	086	119	175	157	487	334	199	363	421	020		
046	037	026	016	032	069	055	145	061	008	029	237	172	140	029	447	026	169	308	032	003	082	295	011	345	027	021	320	019	037	061	071	078	078	100	173	310	586	338	190	381	357	036		
019	036	036	010	057	064	062	152	069	011	028	236	207	115	023	452	028	119	351	041	006	046	345	011	293	025	017	284	022	026	059	076	070	085	104	187	280	496	332	262	162	372	032		
038	039	043	028	036	034	057	156	044	013	026	236	213	107	019	500	022	173	365	035	003	055	260	012	267	032	021	339	029	031	065	078	076	085	098	191	240	561	439	215	564	389	034		
084	049	032	021	037	057	055	206	079	011	034	241	157	181	012	524	034	155	360	055	005	043	227	018	368	033	018	474	028	034	055	072	067	077	107	203	256	555	341	173	335	336	023		
Tempo	m	m	m	m	m	m	m	m	m	h	h	m	m	m	h	r	n	h	h	m	h	h	h	m	h	m	h	h	m	h	h	h	h	h	h	h	h	m	m	m	m	m	m	h
Média	052	031	030	015	060	062	059	178	061	012	034	238	143	129	023	417	025	166	359	037	005	050	340	014	302	030	019	390	021	032	075	073	079	070	100	180	240	508	353	183	310	337	031	
Variância	027	009	014	009	024	010	003	027	020	004	006	004	042	040	006	042	005	020	033	009	003	007	065	002	049	003	005	075	004	006	007	006	005	006	010	021	046	056	057	028	117	048	008	

Tabela V.1

entrevistas com pessoas da Gráfica e através de informações arquivadas dos mesmos. A partir da coleta dos dados ( foram levantadas 30 observações por tarefa), deu-se início a um amplo estudo sobre qual família de distribuição pertencia cada uma das variáveis (tarefas) obtidas. As distribuições das quais os dados eram provenientes foram identificadas através de técnicas estatísticas como o Gráfico de Distribuição de Frequências, Testes de Aderência, Teste Qui-Quadrado e Teste Kolmogorov-Smirnov. No Anexo II apresentamos algumas das análises obtidas em tal avaliação.

## **V.2. Dados Amostrais**

Na tabela V.1 mostraremos os dados levantados com suas respectivas médias e desvio padrão. Após análise estatística desses dados foi gerada uma amostra para cada tarefa, levando-se em conta a distribuição probabilística que melhor se ajustou àquela tarefa. Tal amostra foi obtida utilizando-se o pacote estatístico STATGRAPHICS (como está descrito no Anexo II).

## **V.3. Análise do Gráfico de Gantt utilizando-se simulação**

A simulação para a produção de um livro na Gráfica da UFRJ desenvolveu-se da seguinte maneira:

- 1) Para cada atividade era gerada uma amostra de 100 observações, utilizando-se sua distribuição probabilística estudada a priori. Obteve-se a média destas observações como sendo o valor simulado para o tempo gasto por aquela atividade. Este procedimento também foi feito no STATGRAPHICS.

2) O valor obtido na 1ª etapa foi então passado para o Super Project como sendo o tempo que realmente a tarefa havia gasto.

3) A cada tarefa que era atualizada, era feita uma checagem no Gráfico de Gantt fornecido pelo Super Project, observando a existência de conflitos. Quando esses aconteciam o operador intervinha, tentando eliminá-lo. Por exemplo, se o projeto estava atrasado o operador mudava o tamanho da turma de trabalho numa determinada tarefa que estava no Caminho Crítico, de modo a manter o projeto no seu prazo estipulado.

4) Repetiu-se as etapas 1, 2 e 3 até todas as tarefas estarem concluídas.

Agora iremos analisar os dados que foram gerados a partir da simulação.

Será apresentada inicialmente uma descrição do Gráfico de Gantt sem levarmos em conta os tempos atuais. Como pudemos observar o Gráfico de Gantt mostrou claramente o Caminho Crítico como sendo as seguintes tarefas, quais sejam: recepção, discussão, formalização da proposta, escolha da melhor alternativa, início da escolha do material, orçamento, compra do material, projeto visual, início da programação das tarefas, meio da distribuição das tarefas, execução do projeto visual, composição, revisão da composição, retoque e montagem do fotolito, revisão, gravação da chapa, corte do papel, impressão 1, impressão 2, conferência, impressão 3, dobra, alceamento, colagem do miolo, colagem da capa, secagem, refile, trabalhos adicionais, conferência do trabalho e controle de qualidade, separação do material, espera, início da arrumação na ordem necessária, embalagem 1, embalagem 2 e entrega do material ao cliente.

Descreveremos as tarefas que não estão no Caminho Crítico para sabermos se as mesmas não possuem folga. São elas:

Avaliação das Alternativas - sem espera, sem **free float**.

Verificação do Estoque - idem.

Término da Escolha do Material - idem.

Preparação do Texto para Composição - pode sofrer uma espera de até 18 dias, sem **free float**.

Arte Finalização da Capa - sem espera, possui um **free float de 18 dias**.

Fotolito 1 - espera de 1 dia.

Fotolito 2 - free float de 1 dia.

Arrumação na ordem necessária - sem espera, sem **free float**.

Expedição e contabilidade de custos - sem espera, **free float de 4 dias**.

#### **V.4. Análise do Gráfico de Gantt usando os dados gerados através da Simulação**

A seguir entraremos com os valores de cada uma das tarefas como descrito no item V.3. Este processo se dará da seguinte forma:

O primeiro passo será a definição da data atual, como sendo a data de início do projeto.

A duração atual da tarefa recepção foi de 1 hora e a sua data atual dia 1/08 às 8:00 horas e término no mesmo dia às 9:00 horas.

Pudemos observar que com essa data, no Gráfico algumas alterações levarão o analista a rever as próximas tarefas; podendo gerar um conflito nas seguintes tarefas: orçamento, distribuição das tarefas e arrumação na ordem necessária.

Na tarefa "discussão", o tempo simulado foi de 1 hora, a data de início 2/08 às 8:00 horas e término no mesmo dia às 9:00 horas. O conflito permanecerá nas tarefas orçamento, distribuição das tarefas e arrumação na ordem necessária.

Na tarefa "formalização da proposta" o tempo foi de 1 hora, sua data de início dia 2/08 às 10:00 horas e finalizando às 11:00 horas do mesmo dia. O conflito permanecerá nas mesmas tarefas.

É importante que façamos uma intervenção na tarefa orçamento, onde está ocorrendo o conflito. A duração desta tarefa foi planejada para 3 horas e deverá ser revista para um prazo de 5 horas. Com este aumento, acabaremos com o conflito na dita tarefa.

Na tarefa "escolha da melhor alternativa" o tempo foi de 1 hora, data de início no dia 5/08 às 8:00 horas e término no mesmo dia às 9:00 horas. O conflito aparecerá nas tarefas distribuição das tarefas e arrumação na ordem necessária.

A tarefa "início da escolha do material" seu tempo simulado foi de 2 horas iniciando-se no dia 6/08 às 8:00 horas e término no mesmo dia às 10:00 horas.

Na tarefa "verificação do estoque" teremos um tempo estimado de 1 hora, data de início dia 6/08 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 9:00 horas. O

conflito permanecerá nas mesmas tarefas. É importante ressaltar que estas duas tarefas estarão com atraso de um dia na programação.

A tarefa "meio da escolha do material" tem o seu tempo estimado de 2 horas com data de início em 6/08 às 10:00 horas e finalizando no mesmo dia às 13:00 hs. O conflito será nas tarefas arrumação na ordem necessária e distribuição das tarefas.

Está ocorrendo conflito na tarefa distribuição das tarefas, isso porque esta deveria começar no dia 19/08 e a mesma está marcando seu início no dia 20/08. Observado este conflito o analista deve intervir no andamento das tarefas do modo a corrigir este dia de atraso. Uma maneira de se fazer isto seria aumentar o tamanho da turma de trabalho de alguma tarefa que esteja no caminho crítico ou então o analista deverá intervir em alguma tarefa de modo a adiantar a mesma. No caso a tarefa escolhida foi o "projeto visual", que teve a data de término antecipada em um dia.

A tarefa "arrumação na ordem necessária" estava sofrendo um atraso de seis horas e com isso estava causando este conflito.

Na tarefa "término da escolha do material" o tempo estimado foi de 2 horas, data de início 7/08 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 10:00 horas. Não está ocorrendo conflito.

A tarefa "orçamento" tem duração de 3 horas, data de início 7/08 às 8:00 horas, finalizando no mesmo dia, às 11:00 horas. O conflito ocorrerá na tarefa distribuição das tarefas, gerando um atraso de 6 horas.

A próxima tarefa a ser analisada será "compra do material" tendo duração de 2 dias, data de início 8/08, às 8:00 horas, finalizando 9/08 às 17:00 horas. O conflito ocorrerá na tarefa "distribuição das tarefas" onde ocorre um atraso de 6 horas.

Agora analisaremos a tarefa "projeto visual", o seu tempo estimado é de 4 dias, sua data de início dia 12/08, finalizando às 17:00 horas do dia 15/08. Esta etapa por se encontrar no caminho crítico, fará com que o projeto sofra um adiantamento de um dia.

A tarefa "início da programação das tarefas" teve duração de 4 horas, data de início dia 16/08 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 13:00 horas. O conflito aparecerá na tarefa "arrumação na ordem necessária" e "distribuição das tarefas". O projeto está com folga de um dia.

A tarefa "distribuição das tarefas" teve duração de 4 horas, data de início dia 16/08 às 8:00 horas e término no mesmo dia às 13:00 horas. O conflito aparecerá na tarefa "arrumação na ordem necessária".

A tarefa "meio da programação das tarefas" teve duração de 3 horas tendo data de início 16/08 às 13:00 horas e término no mesmo dia às 16:00 horas. Não ocorrerá conflito nesta tarefa.

A próxima tarefa é "execução do projeto visual" tendo duração de 3 dias, iniciando às 8:00 horas do dia 19/08 e terminando no dia 21/08 às 17:00 horas. Não ocorrerá conflito.

A tarefa "preparação dos textos para composição" teve duração de 2 dias, iniciando às 8:00 horas do dia 22/08 e terminando no dia 23/08 às 17:00 horas. Não irá gerar conflito pois não está no caminho crítico. Esta tarefa possui um **float** de 17 dias

A duração inicial prevista para esta tarefa foi de 1 dia, mas o fato de ter ocorrido este atraso, não afetará o andamento do projeto, por ser esta uma tarefa **não-crítica**.

A tarefa "composição" teve duração de 17 dias, iniciando no dia 22/08 às 8:00 horas e finalizando no dia 13/09 às 17:00 horas. Esta tarefa permitirá que o projeto tenha uma folga de mais 3 dias.

A tarefa "revisão da composição" teve duração de 3 dias, iniciando no dia 11/09 às 8:00 horas e finalizará no dia 13/09 às 17:00 horas. Sem conflito

A tarefa "arte finalização da capa", teve duração de 1 dia, data de início 26/08 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 17:00 horas. Sem conflito, pois não é uma tarefa crítica. A mesma poderia ter 14 dias de espera sem atrapalhar o andamento do projeto.

A tarefa "fotolito 1" teve duração de 6 dias, data de início dia 16/09 às 8:00 horas e finalizando no dia 23/09 às 17:00 horas.

Esta tarefa pelo que foi planejado inicialmente deveria terminar no dia 25/09 às 17:00 horas e está terminando no dia 23/09 às 17:00 horas. Com isso o projeto está com uma folga de 3 dias.



A próxima tarefa é "retoque e montagem do fotolito", com duração de 6 dias, tendo início no dia 16/09 às 8:00 horas e término 23/09 às 17:00 horas. Não possui conflito.

A tarefa "fotolito 2" teve duração de 1 dia, iniciando no dia 24/09, às 8:00 horas e finalizando às 17:00 horas do mesmo dia. O projeto continua com uma folga de 3 dias.

Na tarefa "gravação da chapa", a duração foi de 2 dias, iniciando dia 25/09 às 8:00 horas e terminando dia 26/09 às 17:00 horas. Sem conflito e a folga de 3 dias permanece.

Na tarefa "revisão", a duração foi de 1 dia, data de início no dia 26/09 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 17:00 horas. Sem conflito e a folga de 3 dias permanece.

A tarefa "corte do papel" teve duração de 1 dia, data de início dia 27/09 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 17:00 horas. Sem conflito, folga de 3 dias.

A tarefa "impressão 1" teve duração de 5 dias, data de início no dia 30/09 às 8:00 horas e finalizando no dia 04/10 às 17:00 horas. Sem conflito e a folga diminuiu para 2 dias, pois a tarefa está no caminho crítico e sofrendo um atraso de 1 dia fará com que o término do projeto fique com uma folga de 2 dias.

A tarefa "impressão 2" teve duração de 4 dias, iniciando no dia 07/10 às 8:00 horas e finalizando no dia 10/10 às 17:00 horas. Não tem conflito. Esta tarefa sofreu

o atraso de 1 dia e conseqüentemente por estar no caminho crítico ,e este atraso estar ocorrendo, o projeto terá uma folga de 1 dia.

A tarefa "conferência" teve duração de 1 dia, data de início no dia 11/10 às 8:00 horas e finalizando no dia 11/10 às 17:00 horas. Não possui conflito e está com folga de 1 dia.

A tarefa "impressão 3" teve duração de 3 dias, data de início dia 14/10 às 8:00 horas finalizando no dia 16/10 às 17:00 horas. Sem conflito.

Na tarefa "dobra" a duração foi de 4 dias, data de início dia 17/10 às 8:00 horas e finalizando dia 22/10 às 17:00 horas. Estâ ocorrendo conflito na tarefa embalagem 1. Na dita tarefa estava ocorrendo um atraso de 3 horas, que já foi corrigido.

A tarefa "alceamento" teve duração de 9 dias, data de início dia 18/10 às 8:00 horas, finalizando no dia 30/10 às 17:00 horas. Sem conflito.

A tarefa "colagem do miolo", teve duração de 11 dias, data de início dia 21/10 às 8:00 horas, finalizando no dia 4/11 às 17:00 horas. Esta tarefa apresentou um atraso de um dia no decorrer do projeto. Apesar da mesma ser crítica não influenciará no tempo total do projeto, pois existe um **Marco** (data limite para término desta tarefa). Sem conflito.

A tarefa "colagem da capa", teve duração de 11 dias, data de início no dia 22/10 às 8:00 horas, finalizando no dia 05/11 às 17:00 horas. Sem conflito. É importante ressaltarmos que devido ao atraso de 1 dia na tarefa "colagem do miolo", que

também se propagará pelas tarefas "colagem da capa" e "secagem", um cuidado deverá ser tomado na execução da tarefa "refile" de modo a manter o projeto em dia. A tarefa "refile" deverá ser feita em um tempo menor, se fizermos uma alteração no tamanho da turma de trabalho.

A tarefa "secagem" teve duração de 11 dias, data de início dia 23/10 às 8:00 horas, finalizando no dia 06/11 às 17:00 horas. Sem conflito.

Na tarefa "refile", sua duração foi de 11 dias, tendo data de início no dia 24/10 às 8:00 horas e finalizando no dia 7/11 às 17:00 horas. O conflito ocorrerá na tarefa arrumação na ordem necessária com um atraso de 6 horas. Para remover este conflito, esta tarefa deverá sofrer uma modificação no seu tempo inicial de 6 horas antes do previsto. O projeto até este ponto está apresentando folga de 1 dia.

Na tarefa "trabalhos adicionais", sua duração foi de 3 horas, sua data de início no dia 8/11 às 8:00 horas, finalizando no mesmo dia às 11:00 horas. Sem conflito.

A tarefa "conferência do trabalho e controle de qualidade" teve duração de 5 horas, iniciando no dia 08/11 às 11 horas e finalizando no mesmo dia às 17:00 horas.

Analisaremos a tarefa "separação do material" que teve duração de 1 dia, data de início em 11/11 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 17:00 horas. O projeto apresenta folga de 1 dia.

A tarefa "espera início da arrumação" teve duração de 1 hora, data de início

dia 12/11 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 9:00 horas. Sem conflito.

A tarefa "arrumação na ordem necessária" teve duração de 3 horas, data de início dia 12/11 às 9:00 horas e finalizando no mesmo dia às 13:00 horas. Sem conflito.

Na tarefa "embalagem 1", sua duração foi de 5 horas, data de início dia 12/11 às 9:00 horas finalizando no mesmo dia às 15:00 horas. Sem conflito. Está com uma folga de 1 hora.

Na tarefa "embalagem 2", sua duração foi de 1 dia, data de início no dia 13/11 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 17:00 horas. Sem conflito.

Na tarefa "expedição e contabilidade de custos", sua duração foi de 1 dia, início no dia 14/11 às 8:00 horas e finalizando no mesmo dia às 17:00 horas. Sem conflito. Esta tarefa poderia sofrer um atraso de até 4 dias sem influenciar no andamento do projeto.

Na tarefa "entrega do material ao cliente", sua duração foi de 3 dias tendo data de início no dia 14/11 às 8:00 horas e finalizando dia 19/11 às 17:00 horas. Sem conflito.

## V.5. Conclusão

Através do software **Super Project Plus**, conseguimos avaliar de forma satisfatória todo o andamento do projeto, através do Gráfico de Gantt e do Pert,

eliminando conflitos existentes, alterando o tamanho da turma de trabalho e redefinindo as datas de início de certas tarefas que não estavam no caminho crítico.

Observamos também a existência de folgas em determinadas tarefas que possibilitaram a execução do projeto em menos tempo.

Em alguns casos poderia ser possível transferir homens, equipamentos, ou outros recursos das operações não-críticas para as operações críticas. Esse procedimento pode, algumas vezes ser utilizado para diminuir o tempo de um projeto e também o custo.

Trocas desse tipo irão estender-se nas operações não-críticas e a parte computacional da rede deveria ser repetida para se ter certeza de que na duração, um novo caminho não teria sido introduzido.

Apresentaremos a seguir a tabela do Tamanho da turma de trabalho Alterada.

Atividade	Descrição	H/U	TTT	DU
1 - 2	Compreensão da necessidade do cliente	1	1	1
2 - 3	Discussão sobre a forma de trabalho	1	1	1
2 - 5	Avaliação das alternativas	1	1	1
3 - 5	Formalização da proposta	1	1	1
5a - 6	Escolha da melhor alternativa	1	1	1
6a - 7	Início da escolha do material	2	1	2
6a - 9	Verificação do estoque	1	1	1
7 - 9	Meio da escolha do material	2	1	2

Atividade	Descrição	H/U	TTT	DU
9a - 11	Término da escolha do material	2	1	2
10 - 11	<b>Orçamento</b>	3	1	3
11a - 12	Compra do material	16	1	16
12 - 13	Projeto Visual	72	2	36
13 - 14	Início da Programação das tarefas	12	3	4
13 - 16	Distribuição das tarefas	12	3	4
14 - 16	Meio da programação das tarefas	9	3	3
16a - 17	Execução do Projeto Visual	48	2	24
17 - 18	Preparo dos Textos para composição	32	2	16
17a - 21	Composição	136	8	17
17b - 21	Revisão da Composição	48	2	24
18 - 21	Arte Finalização da Capa	8	1	8
21 - 22	Fotolito 1	48	1	48
21a - 25	Revisão	16	2	8
21 - 24	Retoque e montagem do fotolito	48	1	48
22 - 24	Fotolito 2	8	1	8
24 - 25	Gravação da chapa	16	1	16
25 - 26	Corte do papel	8	1	8
26 - 27	Impressão 1	80	2	40
27 - 28	Impressão 2	64	2	32
28 - 29	Conferência	8	1	8
29 - 30	Impressão 3	48	2	24
30 - 36	Dobra	64	2	32
31 - 36	Alceamento	1296	18	72

Atividade	Descrição	H/U	TTT	DU
32 - 36	Colagem do miolo	352	4	88
33 - 36	Colagem da capa	176	2	88
35 - 36	Refile	176	2	88
36 - 37	Trabalhos adicionais	3	1	3
37 - 38	Confer. do trabalho/Controle Qualidade	5	1	5
38a - 40	Separação do material	8	1	8
40 - 42	Arrumação na ordem necessária	3	1	3
40a - 42	Embalagem 1	5	1	5
42a - 43	Embalagem 2	8	1	8
43 - 43a	Expedição e contabilidade de custos	8	1	8
43 - 44	Entrega do material ao cliente	24	1	24

Tabela V.2

Portanto, concluímos com isso o grande auxílio que foi o Gráfico de Gantt para a análise do projeto durante a sua execução.

## Capítulo VI

### CONCLUSÃO

Neste trabalho aplicamos as teorias dos métodos **PERT** e **CPM** ao problema de gerenciar os trabalhos do Departamento de Desenvolvimento, Criação e Produção Gráfica da UFRJ.

O planejamento e **schedule** do projeto foram realizados através da determinação das atividades, bem como suas relações de precedência. Os itens tempo, custo e recursos para cada atividade também foram levados em consideração.

A partir destes dados conseguimos apresentar tempos e/ou custos de conclusão (baseados no Caminho Crítico), a fim de que se possa fazer um exame comparativo entre os valores obtidos na prática.

Com isto, se o projeto não puder ser concluído na data estipulada, podemos controlá-lo através de uma redefinição do mesmo.

Esta redefinição pode ser feita basicamente de duas formas, quais sejam:

1 - Modificando o tempo de duração de uma atividade, alocando recursos adicionais;

2 - Alterando a rede do projeto, através de modificações nas regras de



precedência ou até mesmo introduzindo outras.

Outra ferramenta importante utilizada para o gerenciamento foi o Gráfico de Gantt.

Com todo este processo descrito acima, foi possível controlar e coordenar o projeto de tal forma que a organização e atribuição de trabalhos se transformaram em tarefas extremamente fáceis de serem realizadas.

Vale ressaltar a dificuldade de se transformar o projeto sob a forma de um Diagrama de Redes. Para tanto, foi necessário um completo conhecimento do problema analisado.

Com este trabalho verificamos e confirmamos a eficiência dos métodos **PERT** e **CPM** no planejamento e controle de projetos. Pretendemos estender este trabalho à outras áreas da UFRJ, a fim de tornar seu funcionamento integrado e conseqüentemente mais produtivo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] AITCHISON, J., and BROWN J. A. C. , **The Lognormal Distribution**, Cambridge:Cambridge University Press, 1957.
  
- [2] ANDÚ, J. Figuera - **PERT-CPM-ROY**, Sociedad Anônima Española de Traductores y Autores (S.A.E.T.A.), Madri, janeiro, 1966.
  
- [3] ARCHIBALD, Russell D. e VILLORIA, Richard L. - **Network - Based Management Systems (PERT/CPM)**, John Wiley & Sons, 1967.
  
- [4] BALINTFY, Joseph L., BURDICK, Donald S., CHU, Kong and NAYLOR, Thomas H., **Técnicas de Simulação em Computadores**, traduzido por Edmundo Emanuel Teixeira, Editora Vozes, São Paulo, 1971.
  
- [5] BELCHIOR, Procópio G. D., **Métodos de Caminho Critico (PERT/CPM) na Administração de Projetos**, Rio de Janeiro, Emebê Editora Ltda, 1974.
  
- [6] BROWN, Robert G., **Statistical Forecasting for Inventory Control**, New York, McGraw-Hill Book Co., 1959.
  
- [7] BURBIDGE, John L. - **Production Planning**, Heinemann, Londres, 1971.
  
- [8] CLARK, C. E., **Mathematical Analysis of an Inventory Case, Operations Research**, 1957(5), 627-643.

- [9] CLARK, C.E., The **greatest of a finite** of random variables, Operations Research, 1961(9), 145-162.
- [10] CONWAY, Richard W., MAXWELL, William L. e MILLER, Louis W., **Theory of Scheduling**, USA, Addison - Wesley, 1967.
- [11] CRAMER, Harold, **Mathematical Methods of Statistics**, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1947.
- [12] DACHS, J. Norberto W., Estatística Computacional - Uma Introdução em **Turbo Pascal**, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1988.
- [13] ELMAGMRABY, Salah E. - **Activity Networks: Project Planning and Control by Network Models**, John Wiley & Sons, 1977.
- [14] ELMAGHRABY, Salah E. - Project **bidding** under **deterministic** and probabilistic **activity** durations, European Journal of Operational Research, vol. 49, November 1990, pag 14-34.
- [15] GENARI, Bruno - Introdução ao **PERT** básico, Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1966.
- [16] GOULD, F. J. e EPPEN, G. D. - **Investigación de Operaciones em la Ciencia Administrativa**, traduzido por Habatuc Pérez Castillo, Prentice - Hall Hispano Americana, 1984, Chicago.

- [17] GUPTA; B. C. - Elementos de **Probabilidade**, Rio de Janeiro, UFRJ, CCMN, Instituto de Matemática, 1980, mimeo.
- [18] GUPTA, Yash P. e GOYAL, Sameer - **Flexibility of Manufacturing systems: Concepts and Measurements**, Operations Research, 43, pp 119-1345, July, 1989.
- [19] HILLER, Frederick S. e LIBERMAN, Gerald J. - Operations Research **Holden - Day, Inc.** 1974, San Francisco, California.
- [20] HOAGLIN, David Caster, MOSTELLER, Frederick e TUKEY, John Wilder - **Exploring Data Tables, Trends and Shapes**, John Wiley, 1985, New York.
- [21] HOROWITZ, Joseph - **Critical Path Scheduling - Management Control Through CPM and PERT**, The Ronald Press Company, 1967, New York.
- [22] HUNTER, J. Stuart e BOX, George, Statistics for **Experiments: An Introduction to Design Data Analysis, and Model Building**, JohnWiley, 1978, New York.
- [23] JENSEN, Paul A. e BARNES J. Wesley - **Network Flow Programming**, John Wiley & Sons, 1980, USA.
- [24] KOTZ, Samuel e JOHNSON, Norman Lloyd, **Distributions in Statistics**, John Wiley, 1969-1972 ( 4 volumes), New York.

- [25] LEVIN, Richard I. e KIRKPATRICK, Charles A. - **Planning and Control with PERT/CPM**, MC Graw - Hill, USA, 1966.
- [26] LITTLEFIELD, T. K. Jr. et alli - Another note on PERT times, **Management Science**, 1987 (33), 1357-1359.
- [27] LOCKYER, K. G. - **An Introduction to Critical Path Analysis**, Sir Isaac Pitman and Sons, 1967, London.
- [28] LOWE, C. W. - **Critical Path Analysis by Bar Chart**, Brandon/Systems Press, New York, 1966.
- [29] MALCOLM, D. G. et alli - Application of a **Technique** for Research and **Development Program Evaluation**, Operations Research, 1959, 646-669.
- [30] MEYER, Paul L. - **Probabilidade** : aplicações a estatística, traduzido por Prof. Ruy de C. B. Lourenço Filho, Livros Técnicos e Científicos, 1980, Rio de Janeiro.
- [31] MODER, Joseph J. - Now to do CPM **Scheduling without a computer**, Engineering News - Record, março, 1963, pp 30 -36
- [32] MONKS, Joseph G. - **Administração da Produção**, traduzido por Lauro Santos Blandy, S.Paulo, MC Graw - Hill, 1987.
- [33] MONTEVECHI, Jose A. B. et alli - **A tecnologia de grupo aplicada ao**

**projeto de fabricação**, X Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, pp 449-502, dezembro 1989.

- [34] MOTTA, J. E. M. - **PERT - Tempo e Custo**, Rio de Janeiro, Distribuidora Record, 1967.
- [35] O'BRIEN, James J. - **CPM in Construction Management**, USA, Mc Graw - Hill, 1971.
- [36] PHILLIPS, Don T. et alli - **Operations research: Principles and practice**, John Wiley & Sons, New York, 1976.
- [37] RADCLIFFE, Byron M., KAWAL, Donald E. e STEPHMENSON, Ralph J. - **Critical Path Method**, Cahnera Publishing Co., 1967.
- [38] SHAFFER, L. R., RITTER, J. B. e MEYER, W. L. - **The Critical Path Method**, Mc Graw - Hill, USA, 1965.
- [39] SCULLI, D. et alli - **The maximum and sum of two beta variables and the analysis of PERT networks**, Omega, 1985 (13), 233-240.
- [40] VIANNA, Paulo - **comunicação pessoal**, 1991.
- [41] WHITEHOUSE, Gary E. - **Systems analysis and design using network techniques**, Prentice - Hall, 1973.

- [42] **ZADERENKO, Sergio G. - Sistemas de Programacion por Camino Critico PERT/CPM y otros métodos de elaboración y de control de programas, Sezaco International,Argentina, 1965.**

## ANEXO I

### 1. Introdução

Neste anexo, apresentaremos os conceitos sobre as distribuições probabilísticas contínuas Normal, Gama, Beta e Lognormal.

#### 1.1. Distribuição Normal

A função de densidade da distribuição normal, também denominada de Distribuição de Gauss e, usualmente, representada por  $N(\mu, \sigma^2)$ , é dada pela expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2}, \quad -\infty < x < +\infty \quad (\text{a.1.1.1})$$

sua função de distribuição é dada por:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} dx, \quad -\infty < x < +\infty \quad (\text{a.1.1.2})$$

Sendo  $\mu$  e  $\sigma$  dois parâmetros da distribuição denominados de média e desvio padrão respectivamente.



A função de densidade (a.1.1.1) e a função de distribuição (a.1.1.2) estão graficamente representadas nas figuras A.1.1 e A.1.2 respectivamente.

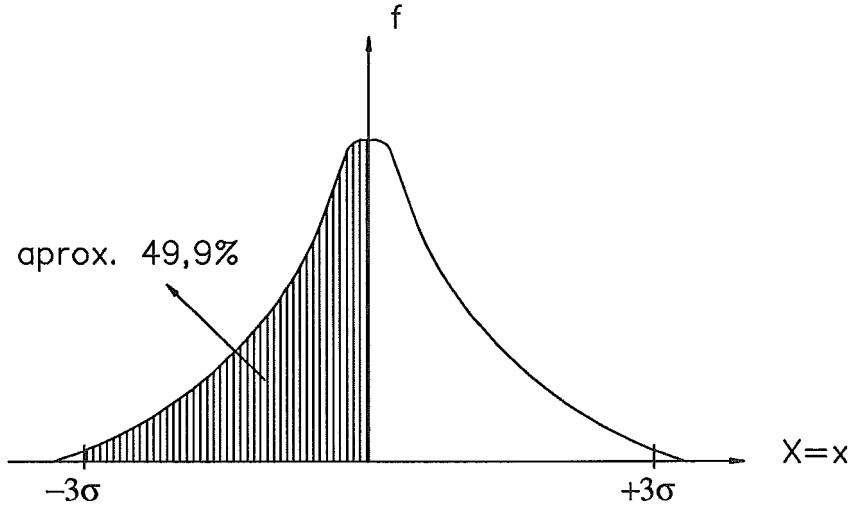


Figura A.1.1

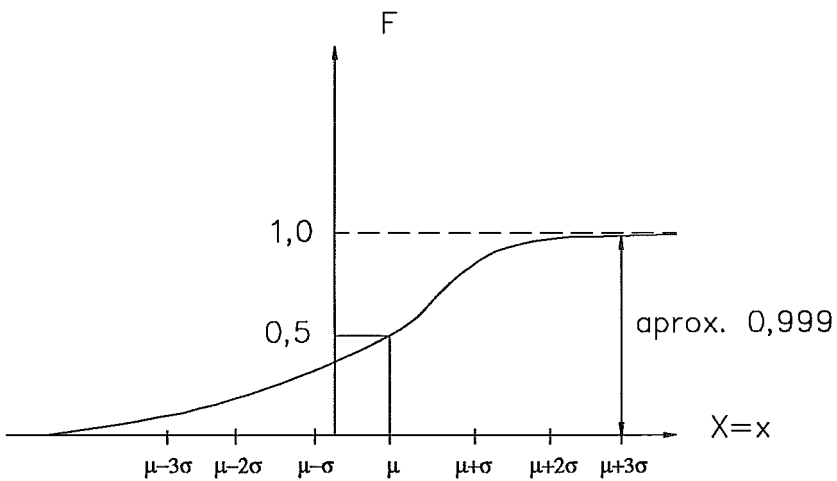


Figura A.1.2

Consideremos uma outra variável aleatória

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{a.1.1.3})$$

onde  $\mu$  é a média e  $\sigma$  o desvio padrão da variável aleatória  $X$ . A variável aleatória  $Z$  é denominada variável aleatória padronizada. Pode-se, facilmente, mostrar que se  $X$  for distribuída normalmente com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ , a variável aleatória  $Z$  será

distribuída normalmente com média 0 e variância 1. A função de densidade é dada por:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}, \quad -\infty < Z < +\infty \quad (\text{a.1.1.4})$$

sua função de distribuição é dada por

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}z^2} dz, \quad -\infty < Z < +\infty \quad (\text{a.1.1.5})$$

A distribuição dada por (a.1.1.4) é algumas vezes denominada de normal unitária ou ainda de distribuição normal padronizada e representada por  $N(0,1)$ , isto é, sua média é igual a zero e seu desvio padrão igual a 1. Na figura A.1.3, a área sombreada abaixo da curva normal entre a média,  $Z=0$ , e um valor específico de  $Z$ , é fornecida na tabela da distribuição normal padronizada.

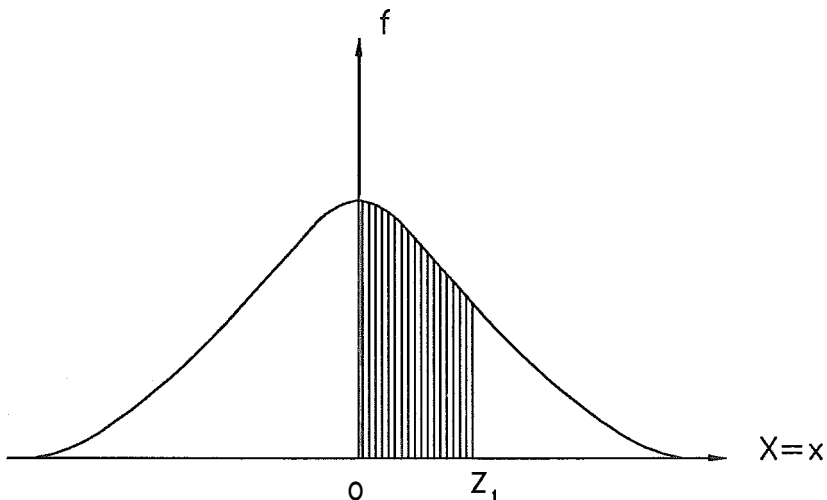


Figura A.1.3

Como a distribuição normal é simétrica, as áreas à esquerda da média podem ser calculadas utilizando áreas correspondentes, e iguais, à direita da média.

Temos que  $f(x)$  e  $f(z)$  são definidas respectivamente por (a.1.1.1) e (a.1.1.4) e sendo funções de densidade

logo,

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} dx = \\ & = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = 1 \end{aligned}$$

Sabemos que a variância de uma distribuição é medida de sua dispersão (GUPTA [17]). Isto poderá ser observado na figura A.1.4, onde algumas funções foram esquematizadas. Estas funções são de densidade normal para alguns valores de  $\sigma$ , mantendo a mesma média  $\mu$ .

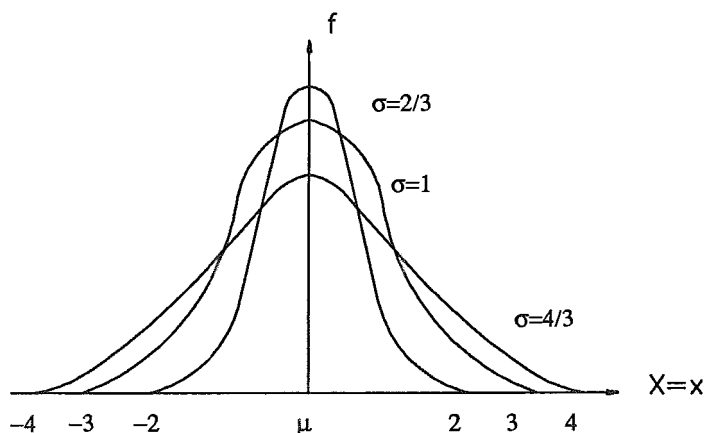


Figura A.1.4

A figura A.1.4 mostra, com clareza que quando a variância decresce, a massa de probabilidade se concentra cada vez mais em torno da média.

A função geratriz de momentos da variável aleatória normal padronizada  $Z$ , cuja função de densidade é dada pela expressão (a.1.1.4) é dada por

$$\begin{aligned}
 M_z(t) &= E(e^{tz}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{tz} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}(z^2 - 2tz)} dz \\
 &= e^{-\frac{t^2}{2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}(z-t)^2} dz \\
 &= e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot 1 \\
 M_z(t) &= e^{-\frac{t^2}{2}} \tag{a.1.1.6}
 \end{aligned}$$

Sua função característica pode ser obtida a partir da expressão (a.1.1.6) substituindo  $t$  por  $it$  ( $i=\sqrt{-1}$ ), assim sendo teremos

$$\phi(t) = e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (\text{a.1.1.7})$$

Utilizando a expressão para o primeiro momento ordinário, teremos:

$$\mu = \left[ \frac{\partial}{\partial t} M_z(t) \right]_{t=0} = 0$$

verificando que a média da distribuição normal unitária (padronizada) é zero.

Como a média da distribuição normal unitária é zero, então os momentos centrais são iguais aos momentos ordinários. Temos, então:

$$\mu_2 = \left[ \frac{\partial^2}{\partial t^2} M_z(t) \right]_{t=0} = 1$$

$$\mu_3 = \left[ \frac{\partial^3}{\partial t^3} M_z(t) \right]_{t=0} = 0$$

$$\mu_4 = \left[ \frac{\partial^4}{\partial t^4} M_z(t) \right]_{t=0} = 3$$

·  
·

Generalizando

$$\begin{aligned} \mu_{2r-1} &= 0, \text{ e} \\ \mu_{2r} &= 1.3.5\dots(2r-1), \text{ para } r=1,2,\dots \end{aligned} \quad (\text{a.1.1.8})$$

Em outras palavras, dizemos que todos os momentos de ordem ímpar da distribuição normal unitária são iguais a zero enquanto que os dados de ordem par são dados pela fórmula (a.1.1.8). Também para a distribuição  $N(\mu, \sigma^2)$  todos os momentos de ordem ímpar com relação à média são nulos e os momentos de ordem par são

$$\mu_{2r} = 1.3.5\dots(2r-1)\sigma^{2r} \quad r=1,2,\dots \quad (\text{a.1.1.9})$$

Assim sendo, pode-se facilmente verificar que para a distribuição normal, o coeficiente de achatamento,  $\beta_1$ , é igual a zero e o coeficiente de curtósis,  $\beta_2$ , é igual a 3.

Define-se o coeficiente de excesso com sendo  $\gamma = \beta_2 - 3$ . Pode-se então, verificar agora que o coeficiente de excesso é definido como sendo o excesso do coeficiente de curtósis de uma curva com relação à normal, tal que possamos comparar a forma de uma dada curva com a da normal. Obviamente para a curva normal,  $\gamma = 0$ .

Podemos, também, verificar que  $f(\mu + x) = f(\mu - x)$ , isto é, a distribuição normal é simétrica em relação à média.

Será dado a seguir um importante teorema: teorema da soma, para a distribuição normal (propriedade de convolução).

## Teorema 1.1

Sejam  $X_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) variáveis aleatórias independentes e cada uma tendo distribuição normal com média  $\mu_i$  e variância  $\sigma_i^2$ . Então a variável  $X = \sum_{i=1}^n c_i x_i$  tem também uma distribuição de probabilidade normal com média  $\mu = \sum_{i=1}^n c_i \mu_i$  e variância  $\sigma^2 = \sum_{i=1}^n c_i^2 \sigma_i^2$ , onde  $c_i$  são constantes.

Em particular, quando todos os  $c_i = 1$  ( $i=1,\dots,n$ ) temos que  $X = \sum_{i=1}^n x_i$ , isto é, a soma de qualquer número de variáveis aleatórias independentes normalmente distribuídas é também normalmente distribuída com média  $\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i$  e variância  $\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2$ .

## 1.2. Distribuição Gama

Na literatura matemática, a integral

$$\int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx \quad n > 0$$

é conhecida como sendo a função gama e escrita da seguinte maneira:

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx \quad (\text{a.1.2.1})$$

Integrando (a.1.2.1) por partes, teremos:

$$\Gamma(n) = \left[ -x^{n-1} e^{-x} \right]_0^{\infty} + (n-1) \int_0^{\infty} x^{n-2} e^{-x} dx$$

$$\Gamma(n) = 0 + (n-1) \Gamma(n-1)$$

Se  $n$  for um número inteiro positivo, repetir-se-á a integração por partes e como  $\Gamma(1)=1$ ,

$$\text{OU } \left. \begin{aligned} \Gamma(n) &= (n-1)(n-2) \dots 3.2.1 \\ \Gamma(n) &= (n-1)! \end{aligned} \right\} \quad (\text{a.1.2.2})$$

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição gama se sua função de densidade é

$$\left. \begin{aligned} f(x) &= \frac{1}{\Gamma(n)\alpha^n} x^{n-1} e^{-x/\alpha} && \text{para } x>0 \\ &= 0 && \text{caso contrário} \end{aligned} \right\} \quad (\text{a.1.2.3})$$

onde  $n>0$  e  $\alpha>0$  são os dois parâmetros da distribuição.  $\alpha$  é às vezes denominado de parâmetro de escala e  $n$  de parâmetro de forma.

Utilizando (a.1.2.1) verifica-se com facilidade que

$$\int_0^{\infty} f(x) dx = 1$$

A função de distribuição é



$$\begin{aligned}
 F(x) &= \frac{1}{\alpha^n \Gamma(n)} \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x/\alpha} dx & x > 0 \\
 &= 0 & x \leq 0
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} F(x) \\ = 0 \end{aligned}} \right\} \quad (a.1.2.4)$$

Encontraremos agora a média e a variância da distribuição gama determinando, primeiramente, a função geratriz de momento, isto é,

$$\begin{aligned}
 M_x(t) &= E(e^{tx}) \\
 &= \frac{1}{\Gamma(n)\alpha^n} \int_0^{\infty} e^{tx} x^{n-1} e^{-x/\alpha} dx \\
 &= \frac{1}{\Gamma(n)\alpha^n} \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x(1/\alpha-t)} dx
 \end{aligned}$$

Fazendo  $(1/\alpha-t) = a$  e  $ax = y$  podemos, facilmente verificar que

$$\begin{aligned}
 M_x(t) &= \frac{1}{\Gamma(n)\alpha^n} \int_0^{\infty} \frac{1}{a^n} y^{n-1} e^{-y} dy \\
 &= \frac{1}{\Gamma(n)\alpha^n a^n} \int_0^{\infty} \frac{1}{a^n} y^{n-1} e^{-y} dy \\
 &= \frac{1}{\Gamma(n)\alpha^n a^n} \Gamma(n) \\
 &= \frac{1}{\alpha^n a^n}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{\alpha^n (1/\alpha - t)^n}$$

$$= \frac{1}{(1\alpha - t)^n}, \quad \text{ou ainda}$$

$$M_x(t) = (1\alpha - t)^{-n} \quad (\text{a.1.2.5})$$

Diferenciando (a.1.2.5) duas vezes e substituindo  $t$  por  $t=0$  nos resultados, obteremos

$$\mu'_1 = n\alpha$$

$$\mu'_2 = n(n+1)\alpha^2$$

$$\text{Então Média } (x) = \mu = n\alpha \quad (\text{a.1.2.6})$$

$$\text{Variância } (x) = \mu_2 = \mu'_2 - (\mu'_1)^2 \quad (\text{a.1.2.7})$$

A função característica pode ser obtida da equação (a.1.2.5) pela substituição de  $t$  por  $it$ , isto é,

$$\phi_x(t) = (1 - iat)^{-n} \quad (\text{a.1.2.8})$$

Estudaremos a seguir a propriedade de convolução da distribuição gama.

Sejam  $x_1$  e  $x_2$  duas variáveis aleatórias independentes com distribuição gama com parâmetros  $n_1$ ,  $\alpha$  e  $n_2$ , respectivamente. Da expressão (a.1.2.8) as funções características de  $x_1$  e  $x_2$  são:

$$\phi_{x_1}(t) = (1 - iat)^{-n_1}$$

$$\phi_{x_2}(t) = (1 - iat)^{-n_2}$$

Como a função característica da soma das variáveis aleatórias independentes é igual ao produto das correspondentes funções características, teremos

$$\begin{aligned} \phi_{x_1} + \phi_{x_2} &= \phi_{x_1}(t) \phi_{x_2}(t) \\ &= (1 - iat)^{-n_1} (1 - iat)^{-n_2} \\ &= (1 - iat)^{-(n_1+n_2)} \end{aligned}$$

que é a função característica de uma variável aleatória com distribuição gama e parâmetros  $n_1+n_2$ ,  $a$ . Assim sendo, enunciaremos o seguinte teorema de adição para a distribuição gama.

## Teorema 1

A soma de duas variáveis aleatórias independentes com distribuição gama de parâmetros  $n_1$ , e  $n_2$ ,  $a$  continua sendo ainda uma variável aleatória com distribuição gama de parâmetros  $n_1+n_2$ ,  $a$ .

Observação : É preciso notar que o parâmetro tem que ser o mesmo para que o resultado do teorema 1 seja verdadeiro.

O resultado inverso do teorema 1 pode ser enunciado da seguinte maneira:

## Teorema 2

Seja a soma de duas variáveis aleatórias independentes positivas  $X$  e  $Y$  uma variável aleatória com distribuição gama de parâmetros  $n_1+n_2$ ,  $a$  e seja  $X$  uma variável aleatória com distribuição gama de parâmetros  $n_1$ ,  $a$  então  $Y$  terá distribuição gama de parâmetros  $n_2$ ,  $a$ .

### Demonstração

Seja  $\phi(t)$  a função característica de  $Y$ . Comparando a função característica de  $X + Y$  com o produto das funções características de  $X$  e  $Y$  teremos

$$(1 - i\alpha t)^{-(n_1+n_2)} = (1 - i\alpha t)^{-n_1} \phi(t) \quad \text{que implica}$$

$$\phi(t) = (1 - i\alpha t)^{-n_2},$$

que nada mais é do que a função característica de uma variável aleatória com distribuição gama de parâmetros  $n_2$ ,  $a$ . Assim sendo,  $Y$  é uma variável com distribuição gama de parâmetros  $n_2$ ,  $a$ , completando dessa maneira a prova do teorema.

A distribuição gama para alguns valores de  $n$  e  $a=1$  é mostrado na figura A.2.1.

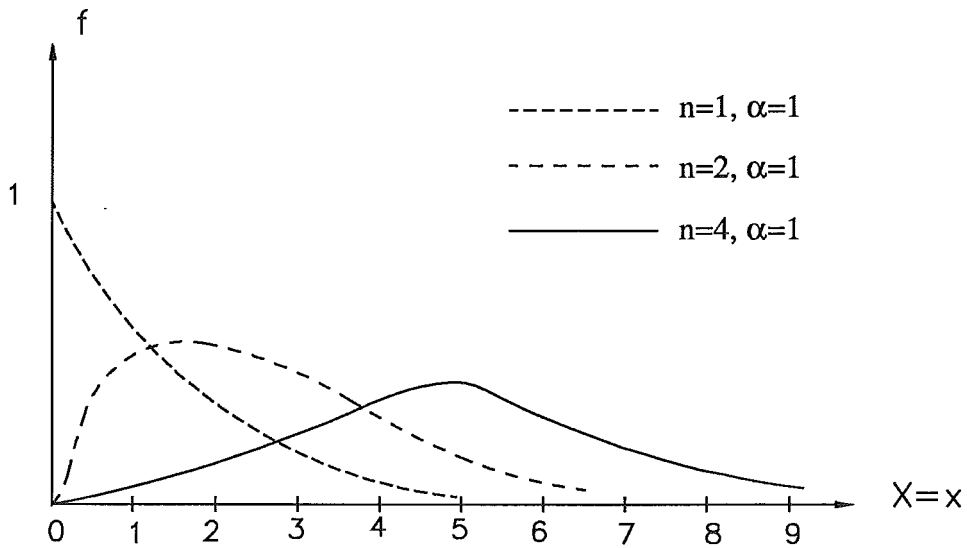


Figura A.2.1

Quando  $n=1$ , a expressão (a.1.2.3) se reduzirá a:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= \frac{1}{a} e^{-x/a} && \text{para } x > 0 \\
 &= 0 && \text{caso contrário}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} f(x) \\ = 0 \end{aligned}} \right\} \quad (a.1.2.9)$$

Uma variável  $X$  com a função de densidade dada por (a.1.2.9) é dita estar distribuída com distribuição exponencial. A função geratriz de momentos e a função característica podem ser obtidas das expressões (a.1.2.5) e (a.1.2.8) simplesmente fazendo-se  $n=1$ . Assim:

$$M_x(t) = \frac{1}{(1 - at)} \quad (a.1.2.10)$$

$$\phi_x(t) = \frac{1}{(1 - iat)} \quad (a.1.2.11)$$

Similarmente, a média e a variância podem ser obtidas a partir das expressões (a.1.2.6) e (a.1.2.7) fazendo-se  $n=1$ , isto é,

$$\text{Média} = \mu = \alpha \quad (\text{a.1.2.12})$$

$$\text{Variância} = \mu_2 = \alpha^2 \quad (\text{a.1.2.13})$$

É interessante notar que a média de uma variável aleatória com distribuição exponencial, dada pela expressão (a.1.2.9), é igual ao parâmetro  $\alpha$ .

As distribuições gama e exponencial são utilizadas na modelagem de problemas de tempos de espera, isto é, os intervalos de tempo entre a ocorrência de certos tipos de eventos.

Um processo aleatório (estocástico) será denominado de processo de Poisson se satisfizer:

(i) a probabilidade de ocorrer mais de um evento durante um pequeno intervalo de tempo  $t$  até  $t + \Delta t$  é  $h = \Delta t$ .

(ii) a probabilidade de ocorrer mais de um evento neste intervalo de tempo é desprezível.

(iii) a probabilidade de ocorrer mais de um evento durante este intervalo de tempo não depende do que aconteceu antes do tempo  $t$ .

Então o tempo de espera para o  $r$ -ésimo evento de uma série de eventos

ocorridos de acordo com a lei de Poisson com a taxa de  $h$  eventos por unidade de tempo é uma variável aleatória com distribuição gama, cuja densidade será

$$f(t) = \left. \begin{array}{l} \frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} t^{r-1} e^{-\lambda t} \quad \text{para } t > 0 \\ = 0 \quad \text{caso contrário} \end{array} \right\} \quad (\text{a.1.2.14})$$

Se  $r=1$ , isto é, o tempo de espera para o primeiro evento tem distribuição

$$f(t) = \left. \begin{array}{l} \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{para } t > 0 \\ = 0 \quad \text{caso contrário} \end{array} \right\} \quad (\text{a.1.2.15})$$

que é a mesma distribuição dada por (a.1.2.9) com  $h = 1/a$ .

Isto pode ser visto da seguinte maneira :

Seja

$F_r(t)$  = probabilidade que o tempo de ocorrência do  $r$ -ésimo evento seja  $\leq t$

então

$1 - F_r(t)$  = probabilidade que o tempo de ocorrência do  $r$ -ésimo evento seja  $> t$ .

= probabilidade que o número de eventos ocorridos no tempo  $t$  seja  $\leq r - 1$ .

Como o número de eventos no tempo  $t$  segue uma lei de Distribuição Poisson com parâmetro  $ht$ . Assim

$$1 - Fr(t) = \sum_{n=0}^{r-1} \frac{1}{n!} e^{-\lambda t} (\lambda t)^n$$

Diferenciando essa expressão em relação a  $t$  teremos

$$f(t) = \frac{1}{(r-1)!} (\lambda t)^{r-1} e^{-\lambda t}, \quad \text{para } t > 0$$

$$= 0 \quad \text{caso contrário}$$

ou ainda

$$f(t) = \frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} t^{r-1} e^{-\lambda t}, \quad \text{para } t > 0$$

$$= 0 \quad \text{caso contrário}$$

Que é a mesma expressão vista em (a.1.2.14) com  $n=r$  e  $h=1/a$ .



### 1.3. Distribuição Beta

Como a função gama, temos também uma outra função na literatura matemática, denominada função beta, definida para toda a  $m > 0, n > 0$  e pela integral.

$$B(m,n) = \int_0^1 x^{m-1}(1-x)^{n-1} dx \quad (\text{a.1.3.1})$$

Além do mais, a função beta é relacionada com a função gama da seguinte maneira:

$$B(m,n) = \frac{\Gamma(m)\Gamma(n)}{\Gamma(m+n)}$$

Uma variável aleatória é dita ter distribuição beta se sua função densidade é

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{1}{B(m,n)} x^{m-1} (1-x)^{n-1} \quad \text{para } 0 \leq x \leq 1 \\ &= 0 \quad \text{caso contrário} \end{aligned} \quad (\text{a.1.3.2})$$

Utilizando (a.1.3.1) segue-se imediatamente que

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = \int_0^1 \frac{1}{B(m,n)} x^{m-1}(1-x)^{n-1} dx = 1$$

A função geratriz de momentos da distribuição beta não possui uma forma simples. No entanto, os momentos podem ser obtidos diretamente de maneira fácil. Por exemplo:

$$\begin{aligned}
\mu'_r &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx \\
&= \frac{1}{B(m,n)} \int_0^1 x^r x^{m-1} (1-x)^{n-1} dx \\
&= \frac{1}{B(m,n)} \int_0^1 x^{r+m-1} (1-x)^{n-1} dx \\
&= \frac{B(r+m,n)}{B(m,n)} \tag{a.1.3.3}
\end{aligned}$$

Em particular, fazendo  $r=1,2$  na expressão (a1.3.3), teremos:

$$\begin{aligned}
\text{Média} = \mu &= \frac{B(m+1,n)}{B(m,n)} = \frac{\Gamma(m+1)\Gamma(n)}{\Gamma(m+n+1)} \frac{\Gamma(m+n)}{\Gamma(m)\Gamma(n)} \\
&= \frac{m! (n-1)!}{(m+n)!} \frac{(m+n-1)!}{(m-1)!(n-1)!} \\
&= \frac{m}{m+n} \tag{a1.3.4}
\end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned}
\mu'_2 &= \frac{B(m+2,n)}{B(m,n)} = \frac{\Gamma(m+2)\Gamma(n)}{\Gamma(m+n+2)} \frac{\Gamma(m+n)}{\Gamma(m)\Gamma(n)} \\
&= \frac{(m+1)! (n-1)!}{(m+n+1)!} \frac{(m+n-1)!}{(m-1)!(n-1)!} \\
&= \frac{(m+1)m}{(m+n+1)(m+n)}
\end{aligned}$$

A variância, então, será dada por

$$\begin{aligned} \mu_2 &= \mu_2' - \mu_2 = \frac{(m+1)m}{(m+n+1)(m+n)} = \left( \frac{m}{m+n} \right)^2 \\ &= \frac{mm}{(m+n+1)(m+n)^2} \end{aligned} \quad (\text{a.1.3.5})$$

A função de distribuição, chamada frequentemente de beta incompleta é

$$\begin{aligned} F(x) &= 0 && \text{para } x \leq 0 \\ &= \frac{1}{B(m,n)} \int_0^x x^{m-1}(1-x)^{n-1} dx && \text{para } 0 < x < 1 \\ &= 1 && \text{para } x \geq 1 \end{aligned} \quad (\text{a.1.3.6})$$

Se nós fizermos  $m = n = 1$  em (a.1.3.2), teremos uma outra distribuição

$$\begin{aligned} f(x) &= 1 && \text{para } 0 \leq x \leq 1 \\ &= 0 && \text{caso contrário} \end{aligned} \quad (\text{a.1.3.7})$$

denominada distribuição uniforme. Sua média e sua variância podem ser obtidas diretamente pelas expressões (a.1.3.4) e (a.1.3.5). Assim teremos:

$$\mu = 1/2 \quad \text{e} \quad \mu_2 = 1/12 \quad (\text{a.1.3.8})$$

O gráfico de uma função de densidade uniforme (sobre o intervalo  $[0,1]$ ) é mostrado na figura A.3.1.

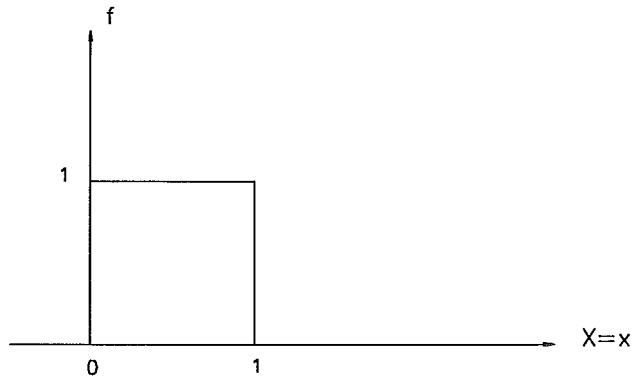


Figura A.3.1

Sua função de distribuição será dada por

$$\begin{aligned}
 F(x) &= 0 && \text{para } x \leq 0 \\
 &- x && \text{para } 0 < x < 1 \\
 &= 1 && \text{para } x \geq 1
 \end{aligned}
 \tag{a.1.3.9}$$

A média e a variância de uma variável aleatória uniformemente distribuída sobre o intervalo  $[a,b]$  são respectivamente

$$\mu = \frac{a+b}{2} \quad \text{e} \quad \mu_2 = \frac{(b-a)^2}{12}$$

## 1.4. Distribuição Lognormal

Se o logaritmo de uma variável aleatória tem uma distribuição normal, a variável aleatória tem uma distribuição contínua de assimetria positiva. A distribuição lognormal é frequentemente usada para descrever processos aleatórios que representam o produto de diversos pequenos eventos independentes (BROWN [6]).

Esta propriedade da distribuição lognormal é conhecida como "lei dos efeitos proporcionais" e fornece a base pela qual podemos decidir a considerar que a distribuição lognormal possa descrever uma determinada variável aleatória.

A maior parte das importantes aplicações da distribuição lognormal se situa nos campos da "probit analysis" (PROBability unIT - unidade estatística de medida de probabilidade baseada nos desvios em relação à média de uma distribuição de frequência normal. (N.T.), análise de vendas e teoria de quebras.

Esta última teoria fornece os fundamentos para a identificação da distribuição dos tamanhos de certas partículas (incluindo o tamanho de firmas ou de reservatórios de óleo) e a distribuição das receitas, como lognormais (AITCHISON e BROWN[1], CRAMER[11]). Por exemplo, em vez de usarmos uma distribuição normal para dividirmos em classes um conjunto de dados numéricos tais como as receitas de vendas, poderíamos usar a função de distribuição normal para graduar os logaritmos dos valores numéricos.

Perto da extremidade maior de uma escala logarítmica uma dada diferença do argumento corresponde a uma pequena variação nos logaritmos, enquanto que, na outra extremidade, esta mesma diferença conduzirá a uma maior variação nos logaritmos.

A escala logarítmica tem assim o efeito de "comprimir" a distribuição nos altos níveis e de "alargar" a distribuição nos baixos níveis. Este tipo de transformação seria o mais apropriado para transformar qualquer distribuição de assimetria positiva em uma distribuição aproximadamente simétrica.

Se o logaritmo neperiano de uma variável aleatória  $X$  tem uma função de densidade dada por:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma_y^2}(y-\mu_y)^2}, \quad -\infty < y < +\infty \quad (\text{a.1.4.1})$$

onde  $\log x = y$  e apenas são considerados os valores positivos de  $x$ , então dizemos que  $X$  tem uma distribuição lognormal. Os parâmetros  $\mu$  e  $\sigma^2$  correspondem à média e à variância de  $y$ .

O valor esperado (esperança matemática) e a variância do valor de  $x$  lognormalmente distribuídos são dados pelas seguintes fórmulas.

$$EX = e^{\left(\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}\right)} \quad (\text{a.1.4.2})$$

$$VX = e^{(2\mu_y + \sigma_y^2)} \cdot e^{(\sigma_y^2) - 1} \quad (\text{a.1.4.3})$$

$$= (EX)^2 \cdot e^{(\sigma_y^2) - 1} \quad (\text{a.1.4.4})$$

## Anexo 2

### 1. Validação de Modelos

Veremos neste anexo algumas idéias sobre a validação de modelos usados em simulações. Ao se construir um modelo de simulação, muitas vezes o objetivo é construir um sistema que imite a realidade, com a finalidade de averiguamos o que ocorreria no sistema real se fossem feitas alterações em seu funcionamento. Devemos cuidar para que o modelo imite a realidade da melhor maneira possível. Todas as simplificações e suposições feitas sobre o sistema que vamos simular devem ser estudadas com muito cuidado. O modelo de simulação deve ser usado nas condições existentes atualmente, no sistema real, para vermos se o seu comportamento é parecido com o que podemos observar na realidade (DACHS[12]).

Para que possamos entender mais facilmente as idéias vamos sempre que possível discuti-las no contexto do exemplo das filas de uma agência bancária.

Apresentaremos a seguir, uma relação de alguns problemas que potencialmente, podem tornar o modelo não válido.

#### 1.1. Problemas Amostrais

Para determinar o perfil dos clientes que são atendidos na agência (no nosso caso, o perfil dos funcionários que trabalham na Gráfica da UFRJ) é necessário medir os tempos de atendimento (o tempo de execução das tarefas) e os intervalos entre chegadas, para podermos chegar a uma distribuição adequada para os mesmos e a

estimativa dos parâmetros dessas distribuições. Esse estudo geralmente deve ser feito tomando uma amostra de clientes (tarefas) e medindo os tempos de atendimento (tempo de execução das tarefas), e outra amostra de horários de serviço em que se medem os intervalos entre as chegadas. Um bom conhecimento de técnicas de amostragem é indispensável nessa etapa para evitar problemas futuros. Não só é necessário conhecer as técnicas como também dispor de especialistas com experiência de amostragem, que em discussão com os funcionários da Agência (Gráfica da UFRJ) determinem possíveis fontes de erros chamados não probabilísticos. Por exemplo, suponhamos que a amostragem para determinar tempos entre chegadas seja feita no dia 10 do mês. Como nesse dia muitas firmas fazem seus pagamentos, possivelmente ele não é representativo do que ocorre no caso geral. Pode também ser necessário dispor de amostra para diferentes dias da semana. Os tamanhos das amostras devem ser adequados para que a determinação de valores de parâmetros e tipos de distribuições seja feita com precisão mínima aceitável.

## **1.2. Escolha das Distribuições**

O conhecimento profundo do funcionamento do sistema é indispensável para ajudar na escolha dos tipos de distribuição mais adequados para as variáveis aleatórias a serem incorporadas no modelo de simulação. Muitas vezes, o conhecimento do tipo de fenômeno faz com que a escolha seja natural (no nosso caso, do tempo de execução das tarefas o tipo de distribuição mais apropriada são as distribuições contínuas). A escolha de uma distribuição inadequada para uma variável pode arruinar completamente os resultados de uma simulação que, de outra maneira, seria bastante razoável. Uma fonte interessante de informações são os livros (KOTZ[24]), em que para cada distribuição estudada existe uma seção sobre aplicações na qual se



discutem usos da mesma. Para muitas distribuições existem técnicas gráficas que permitem investigar se os dados com que vamos trabalhar seguem aproximadamente essa distribuição - são os chamados gráficos probabilísticos -, como o gráfico probabilístico normal, apresentado, por exemplo, em (HUNTER[22]). Para a distribuição de Poisson, tão utilizada em problemas de filas, tráfego etc., existe um procedimento gráfico que é apresentado em (HOAGLIN[20]).

### **1.3. Problemas de Transitoriedade**

Um sistema em geral muda de funcionamento ao longo do período de interesse. O caso mais evidente é o que ocorre ao iniciar-se o funcionamento de um sistema: o período de partida ou **start up**. No caso da agência bancária, por exemplo, em geral já existe um número de clientes esperando à porta, no momento de iniciar-se o expediente. Como exemplo, suponhamos que o período a ser simulado seja das 13:30 às 15:30 horas. No procedimento inicial devem ser feitas várias suposições sobre como estarão as filas ao iniciar-se o período. A maioria delas serão inadequadas. Devemos tomar cuidado com esses períodos de transição. Muitas vezes um modelo totalmente adequado sob outros aspectos deixa de funcionar devido a problemas de transitoriedade nos momentos em que ocorrem mudanças nas condições de funcionamento. Pode oscilar, podem haver crescimentos exponenciais etc.

### **1.4. Problemas de Causas e Efeitos**

No caso da simulação da agência bancária não existe nenhum exemplo de relacionamento de causa e efeito. Esse tipo de problema ocorre em situações onde duas ou mais variáveis são relacionadas no modelo, através de uma ou mais

equações. Neste caso a alteração de valores de algumas variáveis causa, no modelo, uma variação dos valores de outras. Muitas vezes, no entanto, duas ou mais variáveis, podem estar relacionadas sem que haja relação de causa e efeito entre elas. Um exemplo simples é com o número de casamentos e de mortes por causas violentas em uma cidade. Quando uma delas aumenta, quase sempre cresce a outra também. Mas dificilmente poderíamos pensar que o aumento de uma está causando o crescimento da outra. O que ocorre é que ambas crescem quando a população é maior. Esse tipo de erro, de supor relacionamentos de causa e efeito inexistentes, é mais comum em simulações de sistemas econômicos. Mas pode também ocorrer em simulações de sistemas de produção e outros. Uma maneira de evitar muitos desses problemas é usar técnicas experimentais (HUNTER [22]), sempre que possível, ao esclarecer as regras de funcionamento do sistema a ser simulado.

## 1.5. Problemas de Esquecimentos

Para poder se montar um modelo de simulação devemos fazer simplificações. Isso é indispensável. Essas simplificações devem ser feitas de maneira muito criteriosa. Cada simplificação a ser feita deve ser discutida, apresentada a outras pessoas que conheçam o assunto, testada etc. Em muitos outros casos ocorre um problema potencialmente mais sério. São as omissões de aspectos e variáveis importantes do sistema a ser simulado. E que são deixadas por esquecimento. Devemos estar muito atentos a esses lapsos. O filósofo Francis Bacon classificou as falhas humanas em grupos. Essa classificação ajuda a compreender porque deixamos de considerar as falhas da caverna, as tendências e características individuais de cada ser humano, suas indiosincrasias e tendenciosidades. Na terceira classe estão as do mercado, aquelas devidas basicamente a problemas de comunicação com outras pessoas,

principalmente devido a falhas de linguagem e sua interpretação. A última classe é a das falhas do palco, aquelas devidas aos modismos da época, inclusive devido às teorias existentes sobre os assuntos relacionados com a realidade a ser estudada e simulada.

## **1.6. Conclusão**

Mesmo tendo nos precavido contra todos esses tipos de erros (a relação não é exaustiva e completa), e a outros, ainda resta um recurso, que deve ser usado sempre, de averiguarmos se o funcionamento do modelo é satisfatório. Consiste em fazê-lo operar nas condições atuais do sistema real e verificar, através de testes de hipóteses, e outras análises estatísticas, se os resultados observados na simulação estão de acordo com o que se vê no sistema real, operando sob as mesmas condições.

No nosso caso, a amostra coletada para o tempo de execução das tarefas foi feita através de entrevistas com o responsável pela Gráfica da UFRJ e através de informações catalogadas sobre os mesmos.

## **2. Teste de Aderência**

Quando não conhecemos a que família de distribuição pertence uma certa variável aleatória, e além disso, não estejamos nem sequer seguros sobre a forma da distribuição básica, recorreremos a algumas técnicas estatísticas as quais tais problemas podem ser analisados.

O problema de testar a hipótese de que uma variável aleatória tenha uma certa distribuição especificada pode ser considerado como um caso especial do seguinte problema geral:

Considere um experimento  $E$  realizado  $n$  vezes. Cada repetição de  $E$  dá como resultado um e somente um dos eventos  $A_i$ ,  $i=1,2,\dots,k$ . Suponha-se que  $P(A_i)=p_i$ . Seja  $n_i$  o número de vezes que  $A_i$  ocorra dentre as  $n$  repetições de  $E$ ,  $n_1+n_2+\dots+n_k = n$ .

Desejamos testar a hipótese  $H_0 : p_i = p_{i0}$ ,  $i= 1,\dots,k$ , onde  $p_{i0}$  é um valor especificado. Apresentamos o seguinte teste de "aderência" para testar a hipótese acima:

$$\text{Rejeitar } H_0 \text{ sempre que } D^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_{i0})^2}{np_{i0}} > C, \quad (\text{A.2.2.1})$$

onde  $C$  é uma constante a ser determinada.

Comentários:

a) A estatística  $D^2$  é, algumas vezes, sugestivamente escrita sob a forma  $\sum_{i=1}^k (\sigma_i - e_i)^2 / e_i$ , onde  $\sigma_i$  e  $e_i$  se referem aos valores observados e esperados de  $n_i$ , respectivamente.

b) É importante compreender que  $D^2$  é uma estatística e, portanto, é uma variável aleatória. De fato,  $D^2$  é uma variável aleatória discreta que toma um grande número, finito, de valores. A distribuição verdadeira de  $D^2$  é muito complicada.

Felizmente, existe uma aproximação para a distribuição de  $D^2$ , válida se  $n$  for grande, tornando o procedimento apresentado acima muito utilizável.

## **Teorema A.2.1**

Se  $n$  for suficientemente grande, e se  $p_i = p_{i0}$  a distribuição de  $D^2$  tem, aproximadamente, a distribuição de qui-quadrado, com  $(k-1)$  graus de liberdade.

Como poderemos encontrar um teste para decidir, aceitar ou rejeitar a hipótese de que uma particular amostra tenha sido extraída de uma variável aleatória com uma distribuição especificada? Usando o teste qui-quadrado e/ou o teste Kolmogorv-Smirnov, entre outros (MEYER [30]).

### **2.1. Teste qui-quadrado**

O teste qui-quadrado permite avaliar o ajuste de uma distribuição através da estatística qui-quadrado, que permite a comparação de frequências esperadas à frequências observadas. Qui-quadrado é definida como o quadrado da soma das diferenças das frequências observada menos esperada, dividida pelo valor esperado. A estatística resultante seguirá uma distribuição qui-quadrado se nenhuma das frequências esperadas forem muito pequenas. O resultado da "bondade" do ajuste de um teste qui-quadrado dependerá do nível de significância utilizado ( no nosso trabalho utilizamos um nível de significancia igual a 0,05).

## 2.2. Teste de Kolmogorov-Smirnov

Quando tentamos ajustar uma distribuição a um conjunto de dados, estamos usualmente interessados na distribuição como um todo, não apenas no seu valor central. O teste de Kolmogorov-Smirnov para uma amostra, permite-nos testar a qualidade do ajuste de um conjunto de dados, para determinar se este conjunto segue uma distribuição especificada. Esta estatística compara a função de distribuição acumulada empírica com a função de distribuição hipotética, usando o valor máximo da distância absoluta entre as duas para testar se estas funções de distribuição acumulada são semelhantes.

O pacote estatístico **Statgraphics** apresenta como resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov o valor máximo obtido entre as duas distribuições e o nível de significância aproximado. Assim quanto mais próximo de 1 for o nível de significância indicado no teste de Kolmogorov-Smirnov melhor será a distribuição ajustada.

## 3. Resultados obtidos para o cálculo das médias e variâncias das observações

Os dados obtidos através de amostra foram introduzidos no computador para serem processados por um pacote estatístico (Statgraphics). A média e a variância para cada observação está apresentada na tabela VI.1. A tabela **A.2.1** apresenta informações complementares dos dados apresentados na tabela citada anteriormente. A seguir apresentaremos alguns dos resultados obtidos.

```

ENTER THE NAME OF THE VARIABLE CONTAINING YOUR DATA: a37
NUMBER OF OBSERVATIONS  30 ( MISSING VALUES EXCLUDED)
SAMPLE AVERAGE  240.3
SAMPLE VARIANCE = 2135.94
SAMPLE STANDARD DEVIATION  46,2162

MINIMUM VALUE = 156    MAXIMUM = 326    RANGE  170
LOWER AND UPPER QUANTILES  202 274
INTERQUANTILE RANGE  72
MEDIAN  240

COEFF. OF SKEWNESS  -1.9249E-3    STANDARDIZED VALUE  -4.30422E-3
COEFF. OF KURTOSIS  2.16322    STANDARDIZED VALUE = -8.935545
Press ENTER to continue.

```

```

      1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
-----
1  LABEL 3 SAUSC 4 RECORD 5 6 7 8 9 REVIEW 10 QUIT
INPUT  FRI AUG 9 1991 05:59:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

```

Figura A.2.1

```

ENTER THE NAME OF THE VARIABLE CONTAINING YOUR DATA: a11
NUMBER OF OBSERVATIONS  38 ( MISSING VALUES EXCLUDED)
SAMPLE AVERAGE  34.4667
SAMPLE VARIANCE  41.4989
SAMPLE STANDARD DEVIATION = 6.44196

MINIMUM VALUE = 24    MAXIMUM = 47    RANGE  23
LOWER AND UPPER QUANTILES = 29 39
INTERQUANTILE RANGE  10
MEDIAN  34

COEFF. OF SKEWNESS = 0.283389    STANDARDIZED VALUE = 6.633677
COEFF. OF KURTOSIS = 2.19844    STANDARDIZED VALUE = -8.896168
Press ENTER to continue.

```

```

      1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
-----
1  LABEL 3 SAUSC 4 RECORD 5 6 7 8 9 REVIEW 10 QUIT
INPUT  FRI AUG 9 1991 05:43:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

```

Figura A.2.2

```

ENTER THE NAME OF THE VARIABLE CONTAINING YOUR DATA: a18
NUMBER OF OBSERVATIONS  30 ( MISSING VALUES EXCLUDED)
SAMPLE AVERAGE = 166.2
SAMPLE VARIANCE  417.269
SAMPLE STANDARD DEVIATION  20.4272

MINIMUM VALUE = 119    MAXIMUM = 223    RANGE = 184
LOWER AND UPPER QUANTILES = 151 178
INTERQUANTILE RANGE  27
MEDIAN  167

COEFF. OF SKEWNESS  0.647571    STANDARDIZED VALUE = 1.44801
COEFF. OF KURTOSIS = 4.39632    STANDARDIZED VALUE  1.56113
Press ENTER to continue.

```

```

      1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
-----
1  LABEL 3 SAUSC 4 RECORD 5 6 7 8 9 REVIEW 10 QUIT
INPUT  FRI AUG 9 1991 05:46:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

```

Figura A.2.3

```

ENTER THE NAME OF THE VARIABLE CONTAINING YOUR DATA: a25
NUMBER OF OBSERVATIONS = 30 (0 MISSING VALUES EXCLUDED)
SAMPLE MEAN = 301.967
SAMPLE STANDARD DEVIATION = 49.8518
MINIMUM VALUE = 237 MAXIMUM = 404 RANGE = 167
LOWER AND UPPER QUANTILES = 259 345
INTERQUANTILE RANGE = 86
MEDIAN = 294.5
COEFF. OF SKEWNESS = 0.412848 STANDARDIZED VALUE = 8.923156
COEFF. OF KURTOSIS = 1.86923 STANDARDIZED VALUE = -1.26423
Press ENTER to continue.

```

```

HELP LABEL STATUS RECORD 5 6 7 8 9 REVIEW INPUT
INPUT FRI AUG 9 1991 05:47:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

```

Figura A.2.4

```

ENTER THE NAME OF THE VARIABLE CONTAINING YOUR DATA: a15
NUMBER OF OBSERVATIONS = 30 (0 MISSING VALUES EXCLUDED)
SAMPLE MEAN = 23.0333
SAMPLE VARIANCE = 38.8609
SAMPLE STANDARD DEVIATION = 6.23385
MINIMUM VALUE = 12 MAXIMUM = 40 RANGE = 28
LOWER AND UPPER QUANTILES = 19 27
INTERQUANTILE RANGE = 8
MEDIAN = 22.5
COEFF. OF SKEWNESS = 0.527604 STANDARDIZED VALUE = 1.17976
COEFF. OF KURTOSIS = 3.29111 STANDARDIZED VALUE = 8.325471
Press ENTER to continue.

```

```

HELP LABEL STATUS RECORD 5 6 7 8 9 REVIEW INPUT
INPUT FRI AUG 9 1991 06:00:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

```

Figura A.2.5



## 4. Gráficos das distribuições de frequências das observações

Após calculadas as médias e variâncias das distribuições foram feitos vários gráficos para cada variável aleatória a fim de obtermos informações que ajudassem na escolha da distribuição apropriada para aquela variável (foi utilizado também o **Statgraphics**). Apresentaremos abaixo alguns dos gráficos gerados nesta análise.

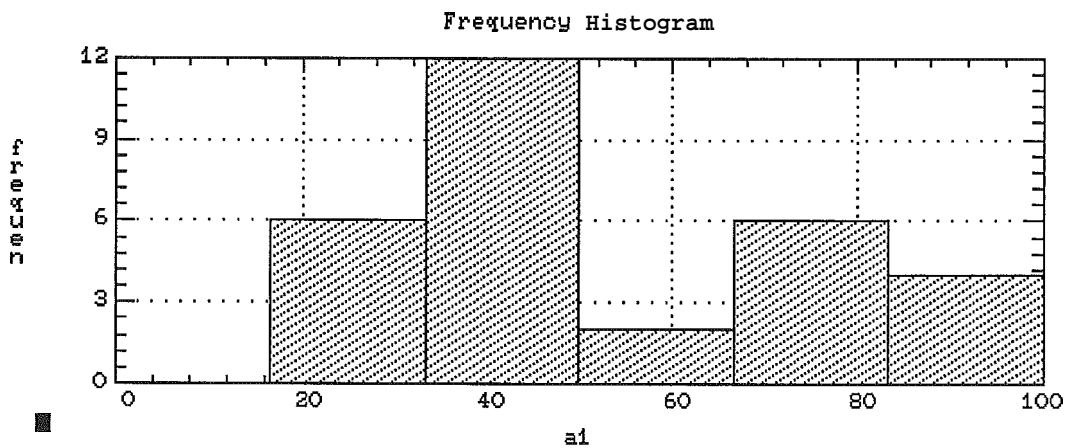


Figura A.2.6

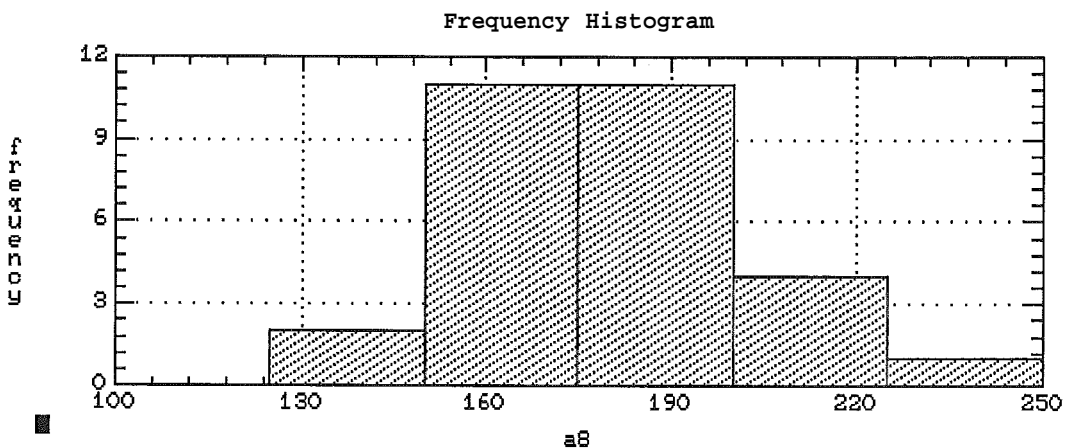


Figura A.2.7

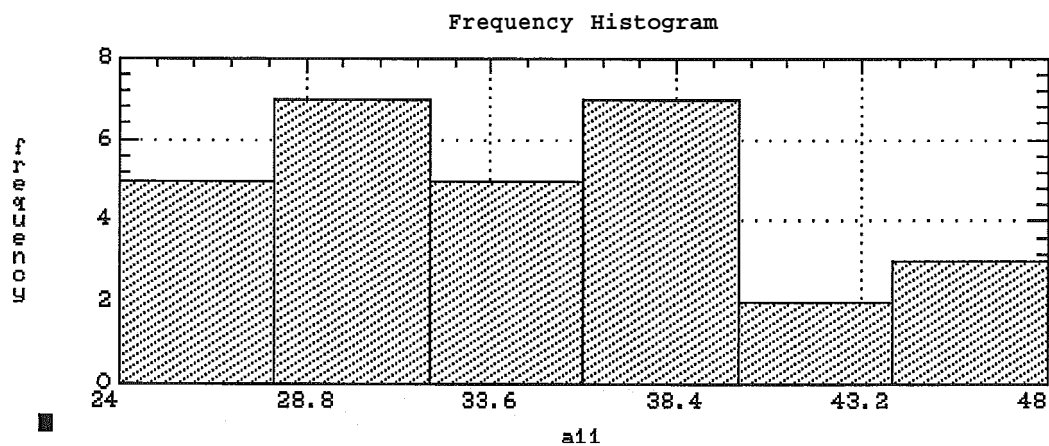


Figura A.2.8

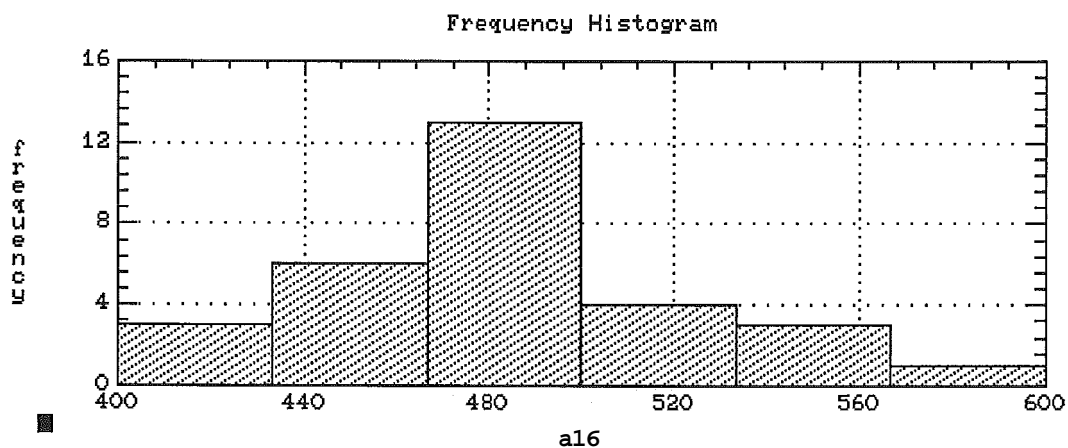


Figura A.2.9

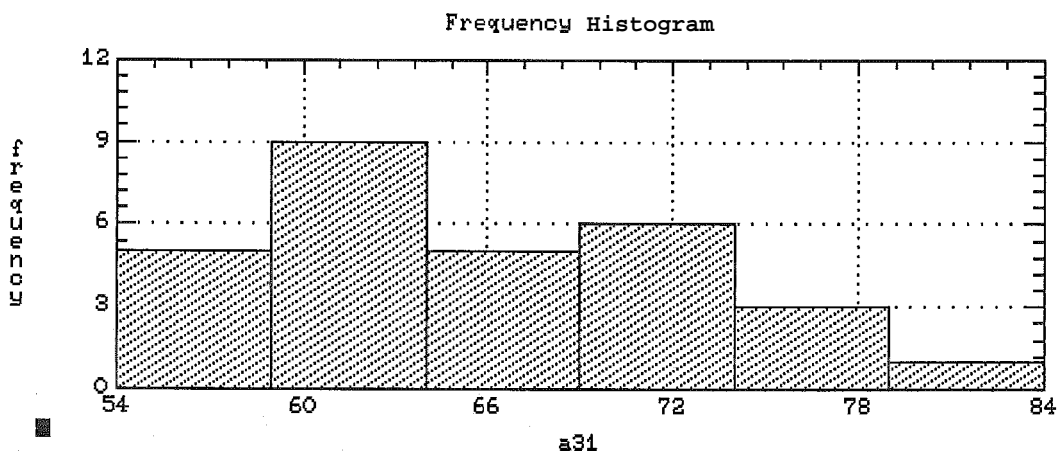


Figura A.2.10

## 5. Saídas dos Testes de distribuições de frequência (de aderência)

Com base nos resultados obtidos anteriormente foi feito para cada variável testes para a escolha da distribuição que mais se adequava a variável estudada. Alguns dos resultados gerados através do Statgraphics estão ilustrados a seguir.

```

THE FOLLOWING BISTRIBUTIONS ARE AVAILABLE:
Discrete data
 1. Bernoulli
 2. binomial
 3. discrete uniform
Continuous data
 7. beta
 8. chisquare
 9. Erlang
10. exponential
11. F
12. gamma
 4. geometric
 5. negative binomial
 6. Poisson
13. lognormal
14. normal
15. Student's t
16. triangular
17. uniform
18. Weibull
ENTER THE NUMBER OF YOUR CHOICE (1): 16

```

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
LABEL 3SHAUSC 4RECORD 5 6 7 8 9REVUEN 10QUIT
INPUT FRI AUG 9 1991 06:13:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

```

Figura A.2.11

```

ENTER NBME OF VECTOR LONTRINING YOUR DATA: a18
DO YOU WANT TO ENTER KNOWN PARAMETER VALUES (N/Y):

```

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
LABEL 3SHAUSC 4RECORD 5 6 7 8 9REVUEN 10QUIT
INPUT FRI AUG 9 1991 06:15:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF

```

Figura A.2.12

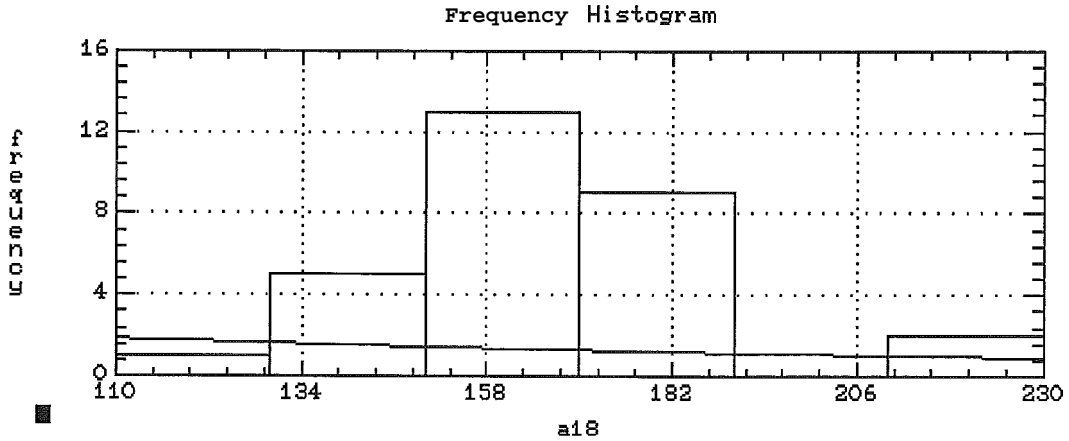


Figura A.2.13

ESTIMATED PRRRMETERS: 166.2  
 INPUT ARRAY TOO SMRLI FOR VALID TEST.

```

1HELP  2LABEL  3SAUSC  4RECORD  5          6          7          8          9REUCEN 10QUIT
PROCESS FRI AUG 9 1991 06:17:00 PM VERSION 1.1                                REC:OFF
  
```

Figura A.2.14

THE FOLLOWING DISTRIBUTIONS ARE AVAILABLE:

Discrete data

1. Bernoulli	4. geometric
2. binomial	5. negative binomial
3. discrete uniform	6. Poisson

Continuous data

7. beta	13. lognormal
8. chisquare	14. normal
9. Erlang	15. Student's t
10. exponential	16. triangular
11. F	17. uniform
12. gamma	18. Weibull

ENTER THE NUMBER OF YOUR CHOICE (1): 13

```

1HELP  2LABEL  3SAUSC  4RECORD  5          6          7          8          9REUCEN 10QUIT
INPUT  FRI AUG 9 1991 06:18:00 PM VERSION 1.1                                REC:OFF
  
```

Figura A.2.15

ENTER NAME OF VECTOR CONTAINING YOUR DATA: a18  
 DO YOU WANT TO ENTER KNOWN PARAMETER VALUES (N/Y):

```

1:LABEL 2:SAUSE 3:RECORD 4: 5: 6: 7: 8: 9:REUSE 10:UNIT
INPUT FRI AUG 9 1991 06:19:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF
  
```

Figura A.2.16

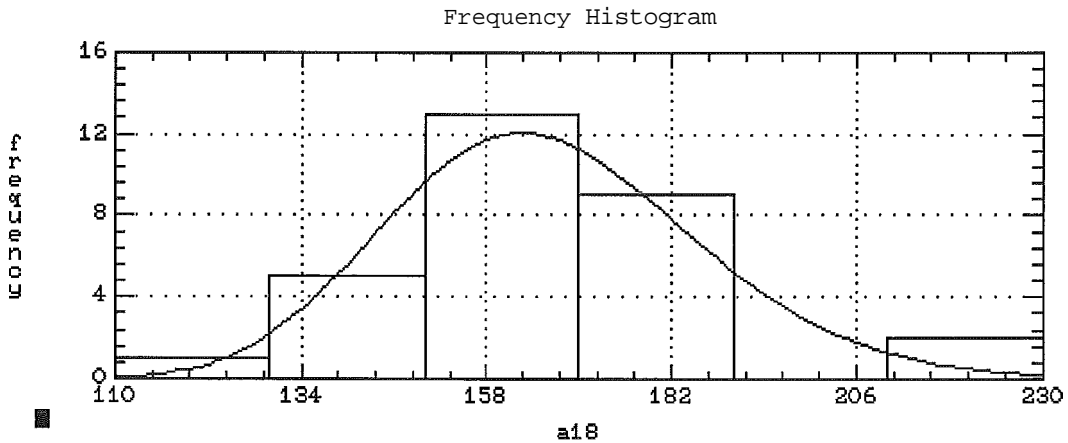


Figura A.2.17

ESTIMATED PARAMETERS: 166.23 20.224  
 CHI-SQ GOODNESS-OF-FIT STATISTIC = 8.32883 WITH 4 DEGREES OF FREEDOM  
 PROBABILITY OF A LARGER VALUE =

DO YOU WANT THE KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST? (IT MAY TAKE A WHILE.) (N/Y):  
 ESTIMATED KOLMOGOROV STATISTIC DPLUS = 0.10951  
 ESTIMATED KOLMOGOROV STATISTIC DMINUS = 0.11794  
 ESTIMATED OVERALL STATISTIC DN = 0.11794  
 APPROXIMATE SIGNIFICANCE LEVEL = 0.99997  
 Press ENTER to continue.

```

1:LABEL 2:SAUSE 3:RECORD 4: 5: 6: 7: 8: 9:REUSE 10:UNIT
INPUT FRI AUG 9 1991 06:20:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF
  
```

Figura A.2.18

TWO FOLLOWING DISTRIBUTIONS ARE AVAILABLE:

Discrete data

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| 1. Bernoulli        | 4. geometric         |
| 2. binomial         | 5. negative binomial |
| 3. discrete uniform | 6. Poisson           |

Continuous data

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| 7. beta         | 13. lognormal   |
| 8. chisquare    | 14. normal      |
| 9. Erlang       | 15. Student's t |
| 10. exponential | 16. triangular  |
| 11. F           | 17. uniform     |
| 12. gamma       | 18. Weibull     |

ENTER THE NUMBER OF YOUR CHOICE (1): 14

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
LABEL SOURCE RECORD 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
INPUT FRI AUG 9 1991 06:21:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF
  
```

Figura A.2.19

ENTER NAME OF VECTOR CONTAINING YOUR DATA: a18  
DO YOU WANT TO ENTER KNOWN PARAMETER VALUES (N/Y):

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
LABEL SOURCE RECORD 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
INPUT FRI AUG 9 1991 06:22:00 PM VERSION 1.1 REC:OFF
  
```

Figura A.2.20

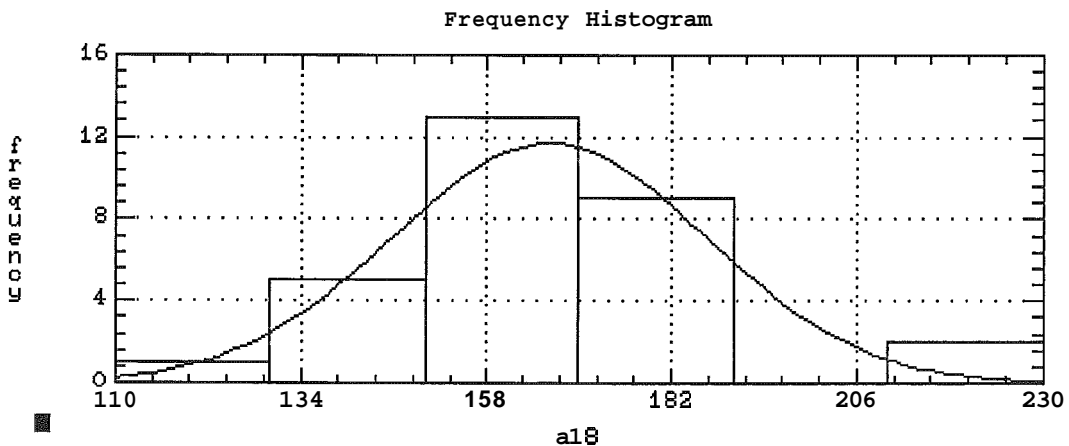


Figura A.2.21

ESTIMATED PERIMETERS: 166.2 20.421  
 CHI<sup>2</sup> GOODNESS-OF-FIT STATISTIC  0.78814 WITH 0 DEGREES OF FREEDOM  
 PROBABILITY OF R LARGER VALUE =

DO YOU WANT THE KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST? (CIT MRY TRKE L WHILE.) (N/Y):   
 ESTIMATED KOLMOGOROV STATISTIC DPLUS  0.11962  
 ESTIMATED KOLMOGOROV STATISTIC DMINUS = 8.1198  
 ESTIMATED OVERALL STATISTIC DN  0.1198  
 APPROXIMATE SIGNIFICANCE LEVEL  8.99996  
 Press ENTER to continue.

11:00	21:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
INPUT	FRI AUG 9	1991	06:25:00	PM	VERSION	1.1				REC:OFF

Figura A.2.22

## 6. Resumo dos resultados obtidos

Resumimos na tabela A.2.1 os resultados dos testes estatísticos feitos para a obtenção das distribuições dos dados amostrais

Tarefa	Descrição	Média	VAR.	Distribuição
a1	Compreensão da necessidade do cliente	52	27	normal
a2	Discussão sobre a forma do trabalho	31	9	normal
a3	Formalização da proposta	30	14	normal
a4	Escolha da melhor alternativa	15	9	lognormal
a5	Início da escolha do material	60	24	lognormal
a6	Verificação do estoque	62	10	normal
a7	Meio da escolha do material	59	3	lognormal
a8	Orçamento	178	27	normal
a9	Término da escolha do material	61	20	lognormal
a10	Compra do material	12	4	lognormal
a11	Projeto visual	34	6	lognormal
a12	Início da programação das tarefas	238	4	normal
a13	Distribuição das tarefas	143	42	normal
a14	Meio da programação das tarefas	129	40	normal
a15	Execução do projeto visual	23	6	lognormal
a16	Preparação dos textos para composição	487	42	lognormal
a17	Revisão da composição	25	5	lognormal
a18	Composição	166	20	lognormal
a19	Arte finalização da capa	359	32	lognormal



Tarefa	Descrição	Média	VAR.	Distribuição
a20	Fotolito 1	37	9	lognormal
a21	Fotolito 2	5	3	lognormal
a22	Retoque e montagem do fotolito	50	7	lognormal
a23	Revisão	340	65	lognormal
a24	Gravação da chapa	14	2	normal
a25	Corte do papel	302	49	lognormal
a26	Impressão 1	30	3	lognormal
a27	Impressão 2	19	5	lognormal
a28	Conferência	390	75	lognormal
a29	Impressão 3	21	4	lognormal
a30	Dobra	32	6	lognormal
a31	Alceamento	75	7	lognormal
a32	Colagem do miolo	73	6	lognormal
a33	Colagem da capa	79	5	lognormal
a34	Secagem	65	6	lognormal
a35	Refile	100	10	lognormal
a36	Trabalhos adicionais	180	21	normal
a37	Conf. do trabalho/Cont. de qual.	240	46	normal
a38	Separação do material	508	56	lognormal
a39	Embalagem 1	353	57	lognormal
a40	Arrumação na ordem necessária	183	28	lognormal
a41	Embalagem 2	310	117	lognormal
a42	Expedição e contabilidade de custos	337	48	normal
a43	Entrega do material ao cliente	31	8	normal

Tabela A.2.1