

CARLOS AUGUSTO DORNELLAS DO NASCIMENTO

GERENCIAMENTO DE PRAZOS: UMA REVISÃO CRÍTICA DAS
TÉCNICAS EM USO EM EMPREENDIMENTOS EM REGIME DE EPC

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Naval.

São Paulo

2007

CARLOS AUGUSTO DORNELLAS DO NASCIMENTO

GERENCIAMENTO DE PRAZOS: UMA REVISÃO CRÍTICA DAS
TÉCNICAS EM USO EM EMPREENDIMENTOS EM REGIME DE EPC

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Naval.

Área de Concentração: Engenharia Naval

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Luís R.
Andrade

v. 1

São Paulo

2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 14 de abril de 2007.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

**Nascimento, Carlos Augusto Dornellas do
Gerenciamento de prazos: uma revisão crítica das técnicas
em uso em empreendimentos em regime EPC / C.A.D. do
Nascimento. – ed.rev. – São Paulo, 2007.
100 p.**

**Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade
De São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.**

**1.Administração de projetos 2.Método de Monte Carlo
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento
de Engenharia Naval e Oceânica II.t.**

DEDICATÓRIA

Meu amor e gratidão aos meus pais, à minha esposa Maria Aparecida e filhos Laís Fernanda, Adriana e Renato, pela compreensão das horas subtraídas do convívio, em razão de estudos, e constante afeto que me deram forças para prosseguir em direção a este objetivo.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação teve como orientador o Prof. Dr. Bernardo Luiz R. Andrade da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, a quem agradeço a dedicação e as importantes orientações recebidas.

In memoriam do Prof. Dr. Oswaldo Fadigas Fontes Torres, meu co-orientador, a quem devo o incentivo à realização do mestrado e a transmissão de seu imenso conhecimento na gestão de prazos e riscos que nortearam este trabalho, dirijo meus especiais agradecimentos à sua esposa, Sr^a Maria Haydee Paixão Fontes Torres. A ela também agradeço pessoalmente, visto que, após o falecimento do professor, muito gentilmente deu-me acesso a diversos livros a ele pertencentes, que foram fundamentais ao desenvolvimento da dissertação.

Ao Prof. Dr. Newton Nunes Toledo, meu muito obrigado, pelo incentivo a ministrar aulas em Gerenciamento de Projetos, a iniciar o mestrado e pelas importantes orientações realizadas durante o Exame de Qualificação, que impulsionaram o desenvolvimento do trabalho.

Meus agradecimentos ao Prof. Dr. Sérgio Alfredo Rosa da Silva que, com seu conhecimento e sabedoria em Gerenciamento de Projetos, muito contribuiu para a realização da dissertação.

Às empresas que contribuíram com este trabalho, especialmente na figura de seus gerentes que disponibilizaram valiosas informações as quais serviram de base para o desenvolvimento da dissertação: Liliam Maria Torresan Valentin, Luís Paulo Meinberg Sacchetto e, especialmente, ao Dr. Antonio Carlos B. F. Matos, meu sincero obrigado, extensivo aos meus colegas de trabalho: Alexandre Vinícius Galli, Osório Augusto Casella e Silva, Marcelo Moraes Barros Leite Mor e Yonekazu Tanaka, pela ajuda no levantamento dos dados e modelagem desta dissertação.

Não poderia também deixar de lembrar e agradecer os meus amigos Ciro di Dio, Elias Jean Trambacos João Carlos Boyadjian, Luiz Henrique T. R. Pedroso e Paulo Dias Harrison que sempre me incentivaram a concluir o mestrado.

RESUMO

O segmento de Consultoria em Engenharia, ao lado das Universidades e Centros de Pesquisas, é um dos pilares do desenvolvimento científico-tecnológico do país e é considerado um dos responsáveis pela otimização de investimentos, redução dos prazos e dos custos de implantação de empreendimentos públicos e privados, industrial ou de infra-estrutura. Atualmente, esses empreendimentos vêm passando por modificações significativas, exigindo cada vez um melhor desempenho de seus contratados, tanto nos aspectos de qualidade, desempenho, prazo e custos, quanto nos aspectos associados aos riscos contratuais, pois tornaram-se freqüentes contratações nas modalidades EPC (*engineering, procurement, construction*) e “*turn-key*”. Neste novo cenário, as organizações precisam ser mais competitivas para sobreviverem às condições impostas pelo mercado, e, neste novo contexto, o gerenciamento de prazos tem-se tornado um fator crítico de sucesso.

Esta dissertação desenvolve uma extensa revisão das técnicas de gerenciamento de prazos, com ênfase na etapa de programação, e uma análise comparativa das principais técnicas utilizadas no gerenciamento de projetos. Para isto, tomou-se como referência o caso de um projeto real, contratado mediante a modalidade EPC, em desenvolvimento por uma Empresa de Consultoria em Engenharia.

Foi realizada a comparação entre os Métodos do Caminho Crítico, Corrente Crítica, Análises Probabilísticas e de Monte Carlo, abordando a aplicabilidade dessas técnicas neste caso. Ao final é feita uma síntese dos principais resultados alcançados, bem como dos requisitos demandados na aplicação de cada uma destas técnicas.

Palavras-chave: Administração de projetos. Gestão de prazos. Método do caminho crítico. Método da corrente crítica. Método de Monte Carlo.

Abstract

The segment of Consultancy in Engineering, as well as the Universities and the Research Centers are some of the pillars of the scientific -technological development in the country and they have been responsible for optimizing the investments, reducing the deadlines and the costs of project implementation in the public and private sectors, along with the industrial and infra-structure sectors.

Nowadays, these projects have been going through major changes, which have demanded better performances from those who are contracted, in areas such as the quality control, performances, time and costs, as well as the contract risks, which more often than ever, have fallen into the EPC category (engineering, procurement, and construction) and the 'turn-key' category.

In this new scenario, companies need to be more competitive to live through the conditions imposed by the market, and, in this new context, time management has turned into a critical success factor.

This dissertation develops an extensive review of the time management techniques focusing on scheduling and also a comparative analysis of the most important techniques used in Project Management. To do that, a real project was created as reference case in which the EPC category was defined and was developed by an Engineering Consultancy.

A comparison among The Critical Path Method and The Critical Chain, Probability Analysis Method and The Monte Carlo Method was made, and it approached the applicability of these techniques in this case. At the end, there is a summary of the most important outcomes, as well as the necessary conditions to apply each of these techniques.

Key words: Project management, time management, The Critical Path Method, the Critical Chain Method, the Monte Carlo Method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Balanceamento entre objetivos e interesses.....	28
Figura 1.2 – Intensidade média de conflitos.....	30
Figura 2.1 – Quatro categorias de projetos.....	50
Figura 2.2 – A tripla restrição.....	62
Figura 2.3 – Grupos de processos de gerenciamento de projetos	67
Figura 2.4 – Interação entre as fases.....	69
Figura 2.5 – Interação de grupos de processos em um projeto.....	70
Figura 2.6 – Funções principais no gerenciamento de projetos.....	71
Figura 2.7 – Ciclo de vida do projeto conforme Archibaldi.....	73
Figura 2.8 – Triângulo dos grupos de processos de gerenciamento de projetos.....	76
Figura 2.9 – Modelo genérico de um ciclo de vida.....	80
Figura 2.10 – Ciclo de vida do sistema conforme Stuckenbruck.....	81
Figura 2.11 – Ciclo de vida do carregamento de um esforço Stuckenbruck.....	82
Figura 2.12 – Modelo típico de Warne para projetos industriais.....	83
Figura 2.13 – Atividades típicas durante as fases do ciclo de vida.....	84
Figura 2.14 – Comparação entre os ciclos de negócios corporativos, de instalação/produto e de projeto.....	87
Figura 2.15 – Modelo convencional de ciclo de vida em cascata (<i>waterfall</i>).....	89
Figura 2.16 – Ciclo de vida de um software	89
Figura 2.17 – Modelo espiral de Boehm para desenvolvimento de software.....	90
Figura 2.18 – Modelo incremental.....	91
Figura 2.19 – Modelo em V de Fish.....	91
Figura 2.20 – Tarefas realizadas por fase de projeto.....	94
Figura 2.21 – Modelo típico de Morris para projetos industriais.....	95
Figura 2.22 – Estimativa de custos realizada no início do projeto.....	98
Figura 2.23 – Estimativa de custos realizada nos instantes t_0 , t_1 , t_2	98
Figura 2.24 – Incerteza relativa a prazos e custos por fase do ciclo de vida.....	99
Figura 2.25 - Nível típico de incerteza do projeto ao longo de seu ciclo de vida.....	100
Figura 2.26 - Influência dos interessados ao longo do ciclo de vida.....	101

Figura 2.27 – Distribuição dos esforços ao longo do tempo.....	102
Figura 2.28 – Nível típico de custos e de pessoal ao longo do ciclo de vida.....	103
Figura 2.29 – Ciclo de vida de um projeto genérico por Allen.....	105
Figura 2.30 - Processo de Portão-Estágio Cooper, Edgbert & Kleinschmidt.....	107
Figura 2.31 – Fluxograma do planejamento e controle de projetos.....	120
Figura 2.32 – Fluxograma simplificado dos processos de planejamento.....	125
Figura 2.33 – Atividade.....	139
Figura 2.34 - Exemplo de atividade resumo ou sumariada (<i>hammock</i>).....	141
Figura 2.35 - Atividade sumariada (<i>hammock</i>).....	143
Figura 2.36 – Cronograma de marcos (<i>milestone schedule</i>).....	145
Figura 2.37 - Evento ou nó.....	147
Figura 2.38 - <i>Harmonygraph</i>	152
Figura 2.39 - Diagrama de rede mostrando o relacionamento lógico.....	154
Figura 2.40 - Atividade na flecha (AOA).....	156
Figura 2.41 - Atividade no nó (AON).....	156
Figura 2.42 - Principais formas de diagramas de rede.....	159
Figura 2.43 - Diagrama de rede do projeto – atividades nas flechas (AOA).....	160
Figura 2-44 - Rede de atividades nos eventos ou nós do projeto de construção da casa.....	161
Figura 2.45 - Exemplo de um diagrama de precedências.....	162
Figura 2.46 - Inter-relacionamento entre a estrutura analítica e a organização funcional.....	163
Figura 2.47 - Método do diagrama de flechas.....	168
Figura 2.48 - Diagrama de flechas – AOA.....	168
Figura 2.49 - Diagrama de rede (AOA) com atividade-fantasma.....	169
Figura 2.50 – Atividade-fantasma.....	170
Figura 2.51 - Diagrama de flechas.....	170
Figura 2.52 - Exemplo de um diagrama de flechas.....	172
Figura 2.53 - Exemplo de falsa dependência.....	173
Figura 2.54 - Exemplo de falsa dependência.....	173
Figura 2.55 - Exemplo de atividade na flecha.....	174

Figura 2.56 - Diagrama de eventos ou nós aplicado no projeto de pesquisa.....	176
Figura 2.57 - Rede PERT simplificada.....	177
Figura 2.58 - Método do diagrama de precedências.....	179
Figura 2.59 - Diagrama de precedências.....	180
Figura 2.60 - Relacionamentos de precedências.....	181
Figura 2.61 - Projeto exemplo convertido em um diagrama de precedências.....	183
Figura 2.62 - Exemplo de falsa dependência nos diagramas i – j e blocos.....	184
Figura 2.63 - Quatro tipos de relacionamentos.....	185
Figura 2.64 - Diagrama de precedências – AON.....	187
Figura 2.65 - Atividades em paralelo representadas no diagrama de flechas.....	200
Figura 2.66 - Atividades em paralelo representadas no diagrama de flechas.....	201
Figura 2.67 - Sumariando em uma única atividade.....	201
Figura 2.68 - Atividades em paralelo representadas no diagrama de atividade no nó.....	202
Figura 2.69 - Atividades em paralelo representadas no diagrama de precedências.....	203
Figura 2.70 - Soluções apresentadas para a diagramação de atividades em série.....	204
Figura 2.71 - Soluções apresentadas para a diagramação de atividades em série.....	204
Figura 2.72 - Soluções apresentadas para a diagramação de atividades em série.....	204
Figura 2.73 – Soluções apresentadas para a diagramação de atividades em série.....	205
Figura 2.74 - Comparação das distribuições estatísticas.....	208
Figura 2.75 - Representação do diagrama de flechas.....	225
Figura 2.76 - Folga total.....	233
Figura 2.77 - Folga livre.....	235
Figura 2.78 - Tipos de restrições utilizadas nos diagramas de precedência.....	243
Figura 2.79 – Diagrama de rede sem permissão de quebra.....	245
Figura 2.80 – Exemplo de atividade crítica reversa.....	246
Figura 2.81 - Diferença entre o calendário manual e o usado pelos computadores.....	247
Figura 2.82 - Passo progressivo.....	248
Figura 2.83 - Exemplo de cálculo das datas cedo e tarde.....	250
Figura 2.84 – Diagrama de rede com datas.....	251
Figura 2.85 – Análise probabilística do PERT.....	256
Figura 2.86 – Contingência.....	265

Figura 2.87– Curva de desempenho da síndrome do estudante.....	267
Figura 2.88 – Fenômeno da multitarefa.....	268
Figura 2.89 – Os cinco passos de focalização.....	269
Figura 2.90 - Processos de um sistema de gerenciamento de projetos.....	271
Figura 2.91 – Pulmão do projeto.....	273
Figura 2.92 – A concentração da contingência ao término do caminho demanda um prazo total menor.....	274
Figura 2.93 – Pulmão de convergência.....	275
Figura 2.94 - Restrição de recursos.....	276
Figura 2.95 – Corrente crítica.....	278
Figura 2.96 – Principais características da corrente crítica.....	279
Figura 2.97 – Penetração nos pulmões.....	283
Figura 2.98 – Gráfico de controle evidenciando as tendências de penetração dos pulmões.....	284
Figura 3.1 – Configuração do turbogerador.....	297

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 - Crescimento dos membros do PMI® (1986 – 2006).....	35
Gráfico 1.2 – Resolução do projeto por tipo.....	36
Gráfico 1.3 - Evolução do histórico dos projetos de TI (1994 – 2004).....	37
Gráfico 3.1 – Histograma do recurso engenheiro sem o nivelamento de recursos.....	314
Gráfico 3.2 – Histograma do recurso engenheiro com o nivelamento de recursos.....	315
Gráfico 3.3 – Distribuição acumulada da probabilidade de conclusão do projeto (distribuição uniforme).....	324
Gráfico 3.4 – Distribuição acumulada da probabilidade de consumo de Hh do recurso engenheiro, no mês de nov/06 (distribuição uniforme).....	325
Gráfico 3.5 – Distribuição da probabilidade da alocação de engenheiros (distribuição uniforme).....	326
Gráfico 3.6 – Distribuição acumulada da probabilidade de conclusão do projeto (distribuição triangular).....	329
Gráfico 3.7 – Distribuição acumulada da probabilidade de consumo de Hh do recurso engenheiro, no mês de nov/06 (distribuição triangular).....	330
Gráfico 3.8 – Distribuição da probabilidade de alocação de engenheiros (distribuição triangular).....	331
Gráfico 3.9 – Histograma de recursos gerado através da CCPM.....	333
Gráfico 3.10 – Distribuição acumulada de probabilidade para o pulmão de convergência 01 (distribuição uniforme).....	337
Gráfico 3.11 – Distribuição da probabilidade de duração dos pulmões de convergência (distribuição uniforme).....	338
Gráfico 3.12 – Distribuição acumulada de probabilidades para o pulmão de convergência 01 (distribuição triangular).....	340

Gráfico 3.13 – Distribuição da probabilidade de duração dos pulmões de convergência (distribuição triangular).....	341
Gráfico 7.1 – Distribuição das probabilidades do recurso engenheiro para cada mês (distribuição uniforme).....	378
Gráfico 7.2 – Distribuição das probabilidades do recurso engenheiro para cada mês (distribuição triangular).....	380
Gráfico 7.3 – Distribuição das probabilidades das datas de término e durações do projeto e dos pulmões (distribuição uniforme).....	560
Gráfico 7.4 – Distribuição das probabilidades das datas de término e durações do projeto e dos pulmões (distribuição triangular).....	562

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Resultado da programação do projeto usando o <i>Pertmaster Project Risk</i>	343
Quadro 3.2 - Resultado da programação do projeto, em dias, usando o <i>Pertmaster Project Risk</i>	343
Quadro 3.3 – Análise do recurso engenheiro utilizando o <i>Pertmaster Project Risk</i>	344
Quadro 3.4 – Índice de criticidade do projeto.....	345
Quadro 3.5 – Índice de sensibilidade do projeto.....	345
Quadro 3.6 – Índice de criticidade x sensibilidade do projeto.....	346
Quadro 7.1 – Comparação do cronograma operacional após o nivelamento com o cronograma sem o nivelamento.....	366
Quadro 7.2 – Diagrama de rede mostrando a localização dos pulmões de convergência.....	564
Quadro 7.3 – Programação do projeto conforme o método da corrente crítica.....	565
Quadro 8.1 – Escopo de trabalho da Empresa A	586
Quadro 8.2 – Estrutura analítica do projeto.....	593
Quadro 8.3 – Diagrama de precedências.....	597
Quadro 8.4 – Relatório de informações básicas da programação.....	598
Quadro 8.5 – Cronograma operacional do projeto.....	607

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Matriz de definição do projeto.....	45
Tabela 2.2 – Definições de fases do ciclo de vida.....	79
Tabela 2.3 – Ações gerenciais por fase do projeto.....	93
Tabela 2.4 - Tipos de diagramas de rede segundo Rosenau	158
Tabela 2.5 - Estatísticas das distribuições comuns	208
Tabela 3.1 – Distribuição das probabilidades de conclusão do projeto (distribuição uniforme).....	323
Tabela 3.2 – Distribuição das probabilidades de conclusão do projeto (distribuição triangular).....	327
Tabela 3.3 – Quadro comparativo das distribuições uniforme e triangular.....	328
Tabela 4.1 – Resumo geral das técnicas utilizadas.....	353
Tabela 7.1 – Cálculo das durações aleatórias das atividades considerando a distribuição uniforme.....	382
Tabela 7.2 – Tabela resumo das datas de término e durações do projeto (distribuição uniforme).....	459
Tabela 7.3 – Tabela resumo do nivelamento do recurso engenheiro (distribuição uniforme).....	461
Tabela 7.4 – Cálculo das durações aleatórias das atividades considerando a distribuição triangular.....	464
Tabela 7.5 – Tabela resumo das datas de término e durações do projeto (distribuição triangular).....	554
Tabela 7.6 – Tabela resumo do nivelamento do recurso engenheiro (distribuição triangular).....	556
Tabela 7.7 – Cálculo das durações dos pulmões.....	576

Tabela 7.8 – Cálculo das durações aleatórias das atividades considerando a distribuição uniforme.....	578
Tabela 7.9 – Tabela resumo das datas de término, durações do projeto e dos pulmões , considerando a distribuição uniforme.....	579
Tabela 7.10 – Cálculo das durações aleatórias das atividades considerando a distribuição triangular.....	582
Tabela 7.11 – Tabela resumo das datas de término, durações do projeto e dos pulmões, considerando a distribuição triangular.....	583
Tabela 8.1 – Estimativas de homens-hora e quantidades de serviços.....	624

LISTA DE SIGLAS

AACE	The Association for the Advancement of Cost Engineering
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ADM	Arrow Diagramming Method
AF	Activity Float or Slack
ALAP	As Late as Possible
AOA	Activity-on-Arc
AOA	Activity-on-Arrow
AON	Activity-on-Node
APP	Análise Preliminar de Perigos
ASAP	As Soon as Possible
BC	Bi-Critical
BOP	Balance of Plant
CCFB	Critical Chain Feeding Buffer
CCPM	Critical Chain Project Management
CII	US Construction Industries Institute
CMMI	Capability Maturity Model Integrated
CP	Critical Path
CPA	Critical Path Analysis
CPS	Critical Path Scheduling
CPM	Critical Path Method
CSF	Critical Success Factors

C/SCSC	Cost / Schedule Control Systems Criteria
D	Normal Activity Performance Time
DOD	Department of Defense
DOE	Department of Energy
DR	Design Review
E	Earliest (expected) Event Occurrence Time
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
ECA	Erection Completion Acceptance
EDT	Estrutura de Divisão do Trabalho
EPC	Engineering, Procurement and Construction.
EPCC	Engineering, Procurement, Construction and Commissioning
EF	Early Finish or Earliest Finish Time
ES	Early Start or Earliest Start Time
EV	Earned Value
EVM	Earned Value Management
EVT	Earned Value Technique
FT	Total Float
FA	Final Acceptance
FC	Finish Critical
FCS	Fatores Críticos de Sucesso
FEED	Front End Engineering Design
FEL	Front End Loading
FEL 1	Fase de Planejamento do Negócio
FEL 2	Fase de Engenharia Conceitual
FEL 3	Fase de Engenharia Básica

FF	Fim - Fim
FF	Finish-to-Finish
FF	Free Float
FI	Fim – Início
FL	Folga livre
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FNLT	Finish no Later Than
FS	Finish-to-Start
FT	Folga Total
GAO	Government Accounting Office
GERT	Graphical Evaluation and Review Technique
HAZIP	Hazard Identification
HAZOP	Hazard and Operability
Hh	Homens-hora
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICE	Institution of Civil Engineers
IF	Início - Fim
II	Início - Início
IPA	Independent Project Analysis
IPA	Industrial Plant Acceptance
IPMA	International Project Management Association
ISO	International Standardization Organization
IT	Início - Término
KPI	Key Performance Indicators

JIT	Just In Time
L	Latest Allowable Event Occurrence Time
LCC	Life Cycle Costs
LESS	Least Cost Estimating and Scheduling
LOB	Line of Balance
LOE	Level of Effort
LF	Late Finish or Latest Allowable Finish Time
LS	Late Start or Latest Allowable Start Time
MBC	Mid portion is Bi-Critical
MBO	Management by Objectives
MNC	Mid portion is Normal Critical
MRC	Mid portion is Reverse Critical
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NC	Normal Critical
NET	Not Earlier Than
NLT	Not Later Than
OBS	Organizational Breakdown Structure
ON	Exactly On
P3e	Primavera Enterprise
PA	Provisional Acceptance
PBS	Project Breakdown Structure
PCT	Performance, Cost, and Time
PDM	Precedence Diagram Method
PEP	Plano de Execução do Projeto

PEP	Program Evaluation Procedure
PERT	Program Evaluation Research Task
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PERT	Project Evaluation and Review Technique
PES®	Project Evaluation System
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S.A.
PIP	Project Implementation Profile
PMBOK®	Project Management Body of Knowledge
PMI®	Project Management Institute
PMP®	Project Management Professional
PMP	Project Management Process
PMS	Project Management System
PSD	Pacote de Suporte à Decisão
QCB	Quantitative Competitive Benchmarking
QFD	Quality Function Deployment
RBS	Risk Breakdown Structure
RC	Reverse Critical
RFP	Request for Proposals
ROI	Return on Investment
R&D	Resource and Development
SC	Start Critical
SF	Start-to-Finish
SINAENCO	Sindicato Nacional de Engenharia Consultiva
SMS	Segurança, Meio Ambiente e Saúde

SNET	Start no Earlier Than
SOW	Scope of Work
SS	Start-to-Start
TBAOA	Time Based AOA
TI	Término - Início
TIR	Taxa Interna de Retorno
TE	Tempo Esperado
TE	Expected Time
TOC	Theory of Constraints
TOPS	The Operating PERT System
TQM	Total Quality Management
TT	Término - Término
USP	Universidade de São Paulo
VERT	Venture Evaluation and Review Technique
VIPs	Value Improving Practices
VPL	Valor Presente Líquido
WBS	Work Breakdown Structure
WP	Work Package

LISTA DE SÍMBOLOS

%	percentagem
±	mais ou menos
®	marca registrada
™	marca comercial
@	arroba
<	menor
>	maior
=	igual
≤	menor ou igual
≥	maior ou igual
Σ	somatória
μ	média
s ²	variância
s	desvio-padrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	27
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	27
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	33
1.3 OBJETIVO DO TRABALHO.....	37
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	39
2 CONCEITOS DE GERENCIAMENTO E PLANEJAMENTO DE PROJETOS.....	41
2.1 CONCEITOS GERAIS DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS.....	41
2.1.1 Conceito de sistemas, programas, projetos, subprojetos, tarefas e atividades.....	41
2.1.1.1 Sistemas.....	42
2.1.1.2 Programas.....	43
2.1.1.3 Projetos.....	45
2.1.1.4 Subprojetos.....	54
2.1.1.5 Tarefas e atividades.....	55
2.1.2 Gerenciamento de projetos.....	55
2.1.2.1 O conceito de gerenciamento de projetos.....	56
2.1.2.2 A tripla restrição.....	62
2.1.3 Processos de gerenciamento de projetos.....	64
2.1.4 Gerenciamento pelo ciclo de vida dos projetos.....	72
2.1.4.1 O ciclo de vida de um projeto e suas fases.....	72
2.1.4.2 Modelos de ciclos de vida do projeto.....	88
2.1.4.3 Gerenciando através do ciclo de vida do projeto.....	92
2.1.4.4 Características comuns aos ciclos de vida.....	96
2.1.4.4.1 <i>O ciclo de vida e a incerteza.....</i>	<i>97</i>
2.1.4.4.2 <i>A influência dos interessados.....</i>	<i>100</i>
2.1.4.4.3 <i>O comportamento dos esforços despendidos ao longo do ciclo de vida.....</i>	<i>101</i>

2.1.4.4.4	<i>O comportamento dos custos ao longo do ciclo de vida</i>	102
2.1.4.5	O processo de portões e fases.....	103
2.1.5	Visão geral sobre o planejamento de projetos	110
2.1.5.1	Planejamento do projeto.....	110
2.1.5.2	Tipos de planejamento.....	115
2.1.5.3	Porque os projetos falham?.....	117
2.1.5.4	Técnicas de planejamento de projetos.....	119
2.1.5.5	Responsabilidade pelo planejamento.....	128
2.2	TÉCNICAS TRADICIONAIS UTILIZADAS NO GERENCIAMENTO DE PRAZOS EM PROJETOS	132
2.2.1	Introdução	132
2.2.2	Definição de atividades	137
2.2.2.1	Agregação de atividades.....	140
2.2.2.1.1	<i>Atividade resumo ou sumariada</i>	141
2.2.2.1.2	<i>Marcos (milestones)</i>	143
2.2.2.1.3	<i>Eventos</i>	146
2.2.3	Gráfico de barras	149
2.2.3.1	Gráfico de Gantt.....	149
2.2.3.2	Harmonygraph.....	150
2.2.4	Diagramas de rede	153
2.2.4.1	Introdução.....	153
2.2.4.2	Tipos de diagramas de rede.....	156
2.2.4.3	Desenvolvimento dos diagramas de rede.....	162
2.2.4.4	Benefícios da utilização dos diagramas de rede.....	166
2.2.4.5	Diagrama de flechas.....	167
2.2.4.6	Diagrama de eventos ou de atividades nos nós.....	175
2.2.4.7	Diagrama de precedências.....	178
2.2.5	Estimativa de duração das atividades	187
2.2.5.1	Introdução.....	187
2.2.5.2	Métodos e técnicas de estimativa.....	191
2.2.5.3	Redefinindo as atividades e o seqüenciamento.....	199
2.2.5.4	Estimativa de três pontos.....	205
2.2.6	Desenvolvendo a programação	209

2.2.7 Método do caminho crítico.....	215
2.2.7.1 Introdução.....	215
2.2.7.2 Cálculo do CPM utilizando o diagrama de flechas.....	222
2.2.7.2.1 Cálculo das datas cedo e tarde.....	224
2.2.7.2.2 Definição e cálculos das folgas.....	230
2.2.7.2.3 Identificação do caminho crítico.....	236
2.2.7.2.4 Cálculo do diagrama considerando múltiplos eventos de início e/ou término.....	239
2.2.7.3 Cálculo do CPM utilizando o diagrama de eventos ou atividades nos nós.....	242
2.2.7.4 Cálculo do CPM utilizando o diagrama de precedências.....	242
2.2.7.4.1 Características do caminho crítico.....	244
2.2.7.4.2 Convenção usada pelos computadores	246
2.2.8 PERT.....	252
2.2.8.1 Introdução.....	252
2.2.9 Método da corrente crítica.....	259
2.2.9.1 Introdução.....	259
2.2.9.2 A corrente crítica.....	262
2.2.9.2.1 Síndrome do estudante	266
2.2.9.2.2 Multitarefa.....	267
2.2.9.2.3 Lei de Parkinson.....	268
2.2.9.3 Focalização.....	269
2.2.9.4 Principais características da corrente crítica.....	78
2.2.9.5 Dimensionamento e gerenciamento dos pulmões.....	281
2.2.9.5.1 Dimensionamento dos pulmões.....	281
2.2.9.5.2 Gerenciamento dos pulmões.....	282
2.2.9.5.3 Softwares para a corrente crítica.....	284
2.3 GERENCIAMENTO DE RISCO EM PROJETOS	285
2.3.1 Método de Monte Carlo.....	285
2.3.1.1 Histórico da simulação de Monte Carlo	286
2.3.1.2 Modelos e simulação.....	287
2.3.1.3 Geração numérica aleatória.....	290
3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS.....	293

3.1 PANORAMA DAS EMPRESAS DE ENGENHARIA BRASILEIRA	293
3.2 A EMPRESA ANALISADA.....	294
3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO.....	297
3.4 CONTRATO DE ENGENHARIA, SUPRIMENTO E CONSTRUÇÃO.....	298
3.4.1 A modalidade EPC.....	298
3.4.2 Exemplos de cláusulas contratuais.....	301
3.4.3 O escopo geral do projeto.....	303
3.5 METODOLOGIA APLICADA À ANÁLISE DAS TÉCNICAS EM USO EM EMPREENDEMENTOS EPC.....	305
3.5.1 Dados básicos para desenvolvimento da análise das técnicas.....	305
3.5.2 Análise e tratamento dos dados recebidos da Empresa A.....	310
3.5.2.1 Análise dos aspectos gerenciais	310
3.5.2.2 Análise dos aspectos técnicos comuns a todas as técnicas.....	311
3.5.3 Método do Caminho Crítico.....	313
3.5.3.1 Procedimento adotado.....	313
3.5.3.2 Análise dos resultados.....	315
3.5.4 Consideração das incertezas nas estimativas (Simulação de Monte Carlo).....	316
3.5.4.1 Procedimento adotado.....	316
3.5.4.1.1 <i>Primeiro caso: distribuição uniforme ou linear.....</i>	<i>319</i>
3.5.4.1.2 <i>Segundo caso: distribuição triangular.....</i>	<i>321</i>
3.5.4.2 Análise dos resultados.....	322
3.5.4.2.1 <i>Primeiro caso: distribuição uniforme ou linear.....</i>	<i>322</i>
3.5.4.2.2 <i>Segundo caso: distribuição triangular.....</i>	<i>326</i>
3.5.5 Método da Corrente Crítica.....	332
3.5.5.1 Procedimento adotado.....	332
3.5.5.1.1 <i>Primeiro caso: distribuição uniforme ou linear.....</i>	<i>334</i>
3.5.5.1.2 <i>Segundo caso: distribuição triangular.....</i>	<i>335</i>
3.5.5.2 Análise dos resultados.....	335
3.5.5.2.1 <i>Primeiro caso: distribuição uniforme ou linear.....</i>	<i>335</i>
3.5.5.2.2 <i>Segundo caso: distribuição triangular.....</i>	<i>338</i>
3.5.6 Simulação de Monte Carlo utilizando o software Pertmaster.....	341
3.5.6.1 Procedimento adotado (distribuição triangular).....	342

3.5.6.2 Análise dos resultados (distribuição triangular)	342
4 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	347
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	354
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	357
7 APÊNDICES.....	365
APÊNDICE A – DADOS E RESULTADOS UTILIZANDO O MÉTODO DO CAMINHO CRÍTICO.....	365
APÊNDICE B – DADOS E RESULTADOS CONSIDERANDO A INCERTEZA NAS ESTIMATIVAS (MONTE CARLO).....	377
APÊNDICE C – DADOS E RESULTADOS UTILIZANDO O MÉTODO DA CORRENTE CRÍTICA.....	559
8 ANEXOS.....	586
ANEXO A – DADOS BÁSICOS FORNECIDOS PELA EMPRESA A REFERENTES À APLICAÇÃO DO MÉTODO DO CAMINHO CRÍTICO NO PROJETO DO TURBOGERADOR.....	586

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A abordagem de gerenciamento de projetos é relativamente moderna. Ela é caracterizada por meio de métodos de reestruturação do gerenciamento e adaptação de técnicas especiais de gerenciamento, com o propósito de obtenção de melhor controle e de utilização dos recursos existentes. Há cinquenta anos, o gerenciamento de projetos estava confinado às empresas contratantes e de construção ligadas ao DOD *U.S. Department of Defense*. Hoje em dia, o conceito de gerenciamento de projetos é aplicado às indústrias e organizações diversas, como as de defesa, construção, farmacêutica, químicas, bancos, hospitais, propaganda, governo, etc. As mudanças, tanto de tecnologia como no mercado, criaram uma imensa tensão nas estruturas organizacionais existentes, provocando a substituição dessa estrutura tradicional pela estrutura de gerenciamento de projetos, ou por outras temporárias, que podem responder rapidamente às situações desenvolvidas dentro e fora das organizações (KERZNER, 2006).

A utilização do gerenciamento de projetos teve um rápido crescimento, pois ele foi visto pelas organizações como um meio para buscar seus objetivos. Kerzner (2006) destaca que hoje em dia as empresas estão sob tremenda pressão, para rapidamente introduzirem novos produtos no mercado, isso porque os ciclos de vida dos produtos estão cada vez menores.

O gerenciamento de projetos pode ser considerado bem-sucedido quando os objetivos do projeto são alcançados dentro do prazo e custo estabelecidos, de acordo com o desempenho e tecnologia especificada, utilizando-se de forma efetiva e eficiente os recursos alocados ao projeto e, evidentemente, com a aceitação do cliente. Mas, para alcançar esses objetivos, torna-se necessário sobrepor uma série de obstáculos, como, por exemplo, a complexidade do projeto, requisitos especiais do cliente, mudanças de escopo, reestruturação organizacional, riscos, mudanças na

tecnologia, tendências de planejamento e preços, interessados¹ com diferentes necessidades e expectativas (Figura 1.1).

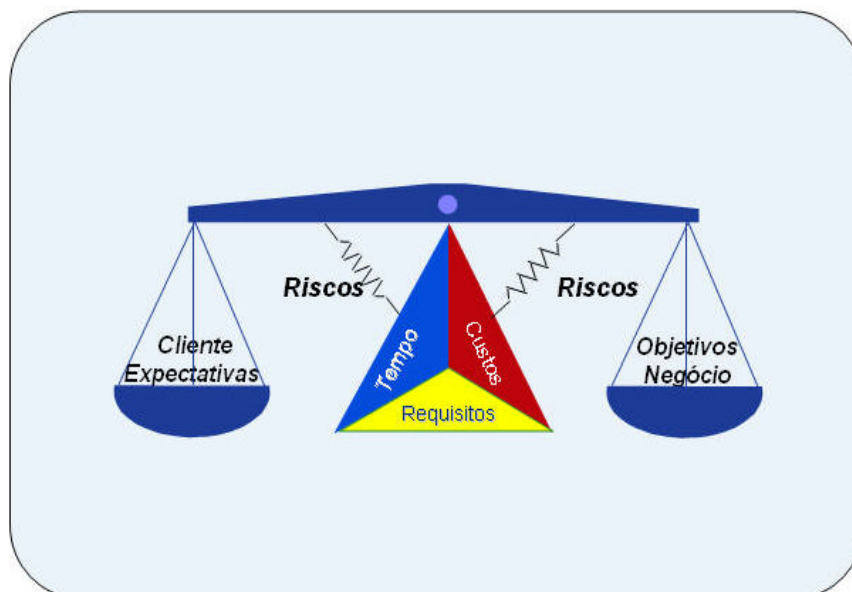


Figura 1.1 – Balanceamento entre objetivos e interesses.
Fonte – Desconhecida.

É mais fácil dizer que fazer o gerenciamento de projetos dentro do prazo, custo e desempenho, pois o ambiente de gerenciamento de projetos é extremamente turbulento, sendo composto de inúmeras reuniões, relatórios de reportagem, resolução de conflitos, contínuo planejamento e replanejamento, processos intensivos de comunicações e gerenciamento de crises. Idealmente, o gerente de projetos é um gerente, não um executor, mas, na prática, observamos que ele desempenha as duas funções² (KERZNER, 2006, p. 279).

Conforme observado acima, todo projeto envolve riscos, segundo Harvey Levine em Dinsmore (1993), uma avaliação antecipada das ameaças potenciais auxilia a equipe do projeto a se preparar para conviver com essas ameaças e minimizar seus impactos. Por outro lado, qualquer projeto também envolve oportunidades. Enquanto as principais oportunidades normalmente fazem parte do propósito e justificativa original do projeto, uma avaliação das potenciais oportunidades secundárias pode descobrir benefícios adicionais à empresa e aos participantes do projeto.

Portanto, a equipe do projeto deve, constantemente, identificar todas as ações que podem impactar o projeto, gerar uma lista de oportunidades e ameaças, e promover

¹ Stakeholders, no original.

² Tradução própria.

discussões com os principais interessados do projeto, objetivando o estabelecimento de planos de ações, para eliminar ou minimizar os efeitos dos riscos. Também devem ser elaborados os planos de contingências para implementação das ações corretivas, previamente estudadas.

Outro aspecto importante apresentado na Figura 1-2 é o conflito. Cleland e Ireland (2002, p. 145) definem:

Conflito como algo que ocorrerá, em razão da natureza temporária de uma equipe de projeto e da quantidade de interfaces externas que um gerente de projetos precisa administrar. O conflito ocorre em função de uma divergência, entre duas ou mais partes, em relação a algum importante elemento de trabalho do projeto, que tanto pode ser uma diferença de opinião sobre uma solução técnica, o custo de um item, a forma como algo deve ser executado ou ainda sobre uma data ou prazo de entrega de um item ou atividade.

O conflito é, portanto, inevitável, sendo necessário identificar rapidamente suas causas e a forma de solucioná-los. O conflito está sempre presente no ambiente de projetos.

Thamhain e Wilemon³ (apud MEREDITH; MANTEL, 2000, p. 165) publicaram em 1975 um trabalho focalizando a natureza dos conflitos em projeto, e este trabalho é tão relevante hoje como o foi em 1975. Com esse trabalho foram identificadas as principais fontes de conflito e respectivas sugestões de soluções para cada fase do ciclo de vida do projeto. Esses conflitos focalizam programações, prioridades, requisitos de mão-de-obra, fatores técnicos, procedimentos administrativos, estimativas de custos e conflitos de personalidade.

Esta pesquisa objetivou a medição de três variáveis: a intensidade média das sete causas potenciais de conflitos através de todo o ciclo de vida do projeto (Figura 1.2), a intensidade das sete causas de conflito em cada uma das quatro fases do ciclo de vida e as formas de resolução de conflitos usadas pelos gerentes de projetos. Observar que a principal fonte de conflito identificada na pesquisa foi a programação⁴ (ou cronograma).

³ THAMHAIN, H. J. and D. L. WILEMON. "Conflict Management in Project Life Cycles." *Sloan Management Review*, Summer 1975.

⁴ Schedule, no original.

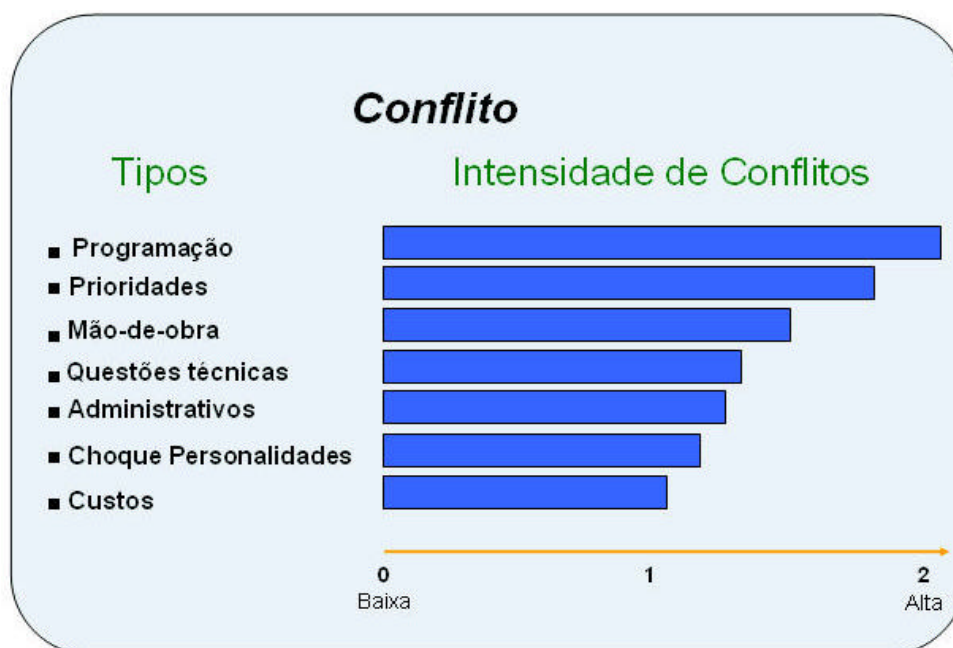


Figura 1.2 – Intensidade média de conflitos.
Fonte – Kerzner (1997, p. 384).

Richard Westney em Dinsmore (1993) alerta que não é nenhum segredo que o sucesso do gerenciamento de projetos é resultado de um planejamento minucioso e cuidadosamente elaborado, sendo que planejamento significa prever antecipadamente condições ou eventos futuros, que evidentemente é difícil. Todo mundo prefere lidar com o ambiente de certeza do aqui e agora, em vez da incerteza do amanhã. Em resposta a esses problemas, a evolução dos métodos de planejamento tornou possível aos gerentes de projetos escolherem entre uma variedade de maneiras de visualização do futuro e de traduzir essa visão em um dado específico de planejamento. Esses métodos fazem uso de interfaces interativas através de computadores, de maneira a fornecer ao gerente de projeto uma forma mais fácil e efetiva de planejar.

Segundo Kerzner (2002), as metodologias de gerenciamento de projetos exigem software de apoio. Houve um aumento significativo dos softwares de computadores pessoais para planejamento, estimativas, organização e controle de projetos. Os pacotes mais importantes utilizados até o final da década de 1980 eram:

- ✓ Técnica de avaliação e análise de programas - PERT⁵;

⁵ Program Evaluation and Review Technique, no original.

✓ Método do caminho crítico - CPM⁶.

Estas técnicas de diagramação e gestão de redes e organização proporcionaram aos gerentes de projeto capacidade de computação que superou largamente os gráficos de barras e de marcos.

A primeira ferramenta reconhecidamente utilizada em gerenciamento de projetos foi o gráfico de Gantt, criado em 1918 por Henry Gantt. Posteriormente, por volta de 1931, foi desenvolvido por Karol Adamiecki o gráfico harmonia⁷, o precursor do diagrama de flechas. O CPM e o PERT foram desenvolvidos na década de 1950 e considerados os primeiros procedimentos formais de gerenciamento de projetos. O PERT introduziu a incerteza em gerenciamento de projetos, possibilitando, por exemplo, o cálculo da probabilidade de se concluir o projeto em uma determinada data. Na década de 1960, Van Slyke introduziu a abordagem da simulação de Monte Carlo, uma técnica mais precisa que o PERT, para incorporar o tratamento estocástico a esta classe de programação. Mais recentemente, em 1997, foi criada por Eliahu Goldratt uma nova ferramenta, chamada de Corrente Crítica⁸, baseada na teoria das restrições. Esta nova ferramenta combina abordagens determinísticas com abordagens probabilísticas, tendo como ponto de partida o diagrama de rede e estimativas de duração não-conservadoras.

Mas, alerta Kerzner (2002, p. 100), “infelizmente, técnicas de programação não podem substituir o planejamento, e estas técnicas de programação, ou seqüenciamento, não podem jamais ser mais eficientes do que a qualidade das informações do plano”.

O gerenciamento de tempo, pelo Método do Caminho Crítico, é praticado pela maioria das empresas de engenharia, fabricantes, sejam eles fornecedores de equipamentos ou de projetos em regime completo (*turn key*), empresas de construção civil e montagem, que atuam em contratos do tipo EPC⁹. Infelizmente, o que se observa, na prática, é uma má utilização do CPM, mesmo nas grandes empresas que atuam no setor. A utilização desta ferramenta, na prática, é bastante incipiente, pois a grande maioria dos usuários não tem conhecimento das técnicas

⁶ Critical Path Method - CPM, no original.

⁷ Harmonygraph, no original.

⁸ Critical chain, no original.

⁹ Engineering, Procurement and Construction. A definição desta modalidade contratual será apresentada no Capítulo 3.

empregadas, como: ciclo de vida, estrutura analítica do projeto, diagramas de rede, técnicas de estimativas de mão-de-obra e de equipamentos, desenvolvimento da programação, nivelamento de recursos, etc..

O PERT – *Project Evaluation and Review Technique*, conforme evidenciado pelo próprio PMI^{®10}, em seu *Guia de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos – Guia PMBOK^{®11}* - Edição 2000 é raramente usado nos dias de hoje e por esta razão, ele não será abordado nesta dissertação.

A Corrente Crítica, como mencionado, é uma técnica nova, ainda pouco utilizada no Brasil. Atualmente o interesse sobre o assunto tem aumentado de forma significativa, podendo ser observado através das publicações em revistas especializadas e no crescimento na quantidade de cursos oferecidos sobre o tema.

A ampla maioria das empresas de engenharia brasileira não utiliza o gerenciamento de riscos em seus contratos. Algumas apenas o utilizam no cálculo das contingências a serem colocadas nos preços de suas propostas, não gerenciando os riscos ao longo de todo o ciclo de vida dos projetos.

Neste trabalho será abordado o Gerenciamento de Prazos. Isto será feito mediante uma revisão crítica das principais técnicas de suporte ao gerenciamento de prazo, complementada por uma análise comparativa do possível desempenho a ser esperado destas técnicas por meio de sua aplicação a um caso de referência.

Mesmos as mais sofisticadas ferramentas nunca substituirão uma equipe de projeto competente. Por si só, tais ferramentas não podem identificar ou corrigir problemas relacionados às atividades. Podem ser excelentes ferramentas para gestão de projetos a serem usadas no rastreamento das inúmeras variáveis e atividades relacionadas que entram em jogo na gestão de projetos (KERZNER, 2002).

Existe uma farta literatura a respeito do gerenciamento de prazos (ou de tempo), com destaque para os seguintes livros e manuais: PMBOK[®] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (PMBOK, 2004), os populares: Archibald (1992), Burke (1999), Cleland (1994), Cleland e Ireland (2002), Cleland e King (1988), Dinsmore (1993), Goldratt (1998), Kerzner (2006), Kimmons e Loweree (1989),

¹⁰ Project Management Institute.

¹¹ *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. O PMBOK[®] é uma publicação do PMI[®].

Leach (2000), Levine (2002), Meredith e Mantel (2000), Moder (1983), Shtub; Bard e Globerson (1994), Whitehouse (1973).

Para o tema riscos em projetos são destacados os seguintes livros e manuais: PMBOK® *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (PMBOK, 2004), os populares Anderson, Sweeney e Williams (2003), Geweke (1992), Goodpasture (2004), Kanabar (1997), Kendrich (2003), Mulcahy (2003), Pritchard (1997), Ragsdale (2001), Schuyler (2001), Kerzner (2006), Wildeman (1992) e Raftery (1994).

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A engenharia consultiva brasileira está constituída por cerca de 200 empresas pequenas, médias e grandes, dotadas de estrutura empresarial compatível com o seu porte, tendo pelo menos um núcleo multidisciplinar de profissionais altamente qualificados, e por um número indeterminado de escritórios prestadores de serviços técnicos de engenharia e arquitetura, geralmente pequenas firmas uniprofissionais (VIAN, 2006).

A partir da década de 1950, a engenharia e a arquitetura brasileiras comprovaram imensa capacidade, criatividade e genialidade nas soluções executadas com sucesso e de forma independente. Foi criada Brasília, construíram-se hidrelétricas como as de Paulo Afonso, Sobradinho, Itaipu, Furnas, Xingó, Barra Bonita, Ilha Solteira, etc. A malha viária foi expandida com a construção das rodovias Bandeirantes, Castelo Branco, Anhangüera, Anchieta, Imigrantes, etc. Grande desenvolvimento foi obtido na área de saneamento básico (Sistema Cantareira em São Paulo, o Sistema Pedra do Cavalo em Salvador, Sistema Rio das Velhas para Belo Horizonte). Nesta época também foram criados os primeiros sistemas metroviários, desenvolvidas as telecomunicações e a informática, e foi criada a Petrobrás, atualmente uma forte alavanca ao desenvolvimento da engenharia consultiva nacional (DÓRIA, 2006). Neste cenário, foi criada a Empresa, cujos trabalhos na área de gerenciamento de empreendimentos estão sendo considerados nesta dissertação.

A engenharia consultiva é um setor altamente estratégico para qualquer nação, especialmente para o Brasil, por ser um dos pilares sobre os quais se apóia e desenvolve o patrimônio tecnológico do país, ao lado das universidades e instituições de pesquisa e desenvolvimento científico-tecnológico, e o bom resultado da implantação de qualquer empreendimento público ou privado, industrial ou de infra-estrutura, aferido pela otimização de investimentos, redução dos prazos e dos custos de execução e manutenção, com a máxima qualidade e segurança para os usuários, depende diretamente da qualidade e do correto uso da engenharia consultiva (VIAN, 2006).

A otimização de prazos, custos e qualidade só é possível, se existir uma gestão de projetos eficaz. “O mundo está finalmente reconhecendo a importância da gestão de projetos e seu impacto na lucratividade da empresa. As empresas que optaram por utilizar uma metodologia de gestão de projetos perceberam, em seguida, que o potencial de benefícios existente era bem maior que o originalmente visto como possível” (KERZNER, 2000, p. 32).

Nas mais diversas áreas de aplicação, produtos e serviços são produzidos através de projetos, o que pode ser demonstrado pelo aumento do número de empresas que estão adotando a metodologia de gerenciamento de projetos e pelo crescimento do número de membros do PMI¹² *Project Management Institute*, uma das principais instituições de gerenciamento de projetos, como pode ser observado no Gráfico¹³ 1.1.

¹² Por simplicidade, será usado em todo o texto o acrônimo PMI para designar o Project Management Institute.

¹³ Dados de 31 out 2006 – Site: <http://www.pmi.org>, acesso em 12 fev 2006. PMI Today – PMI.

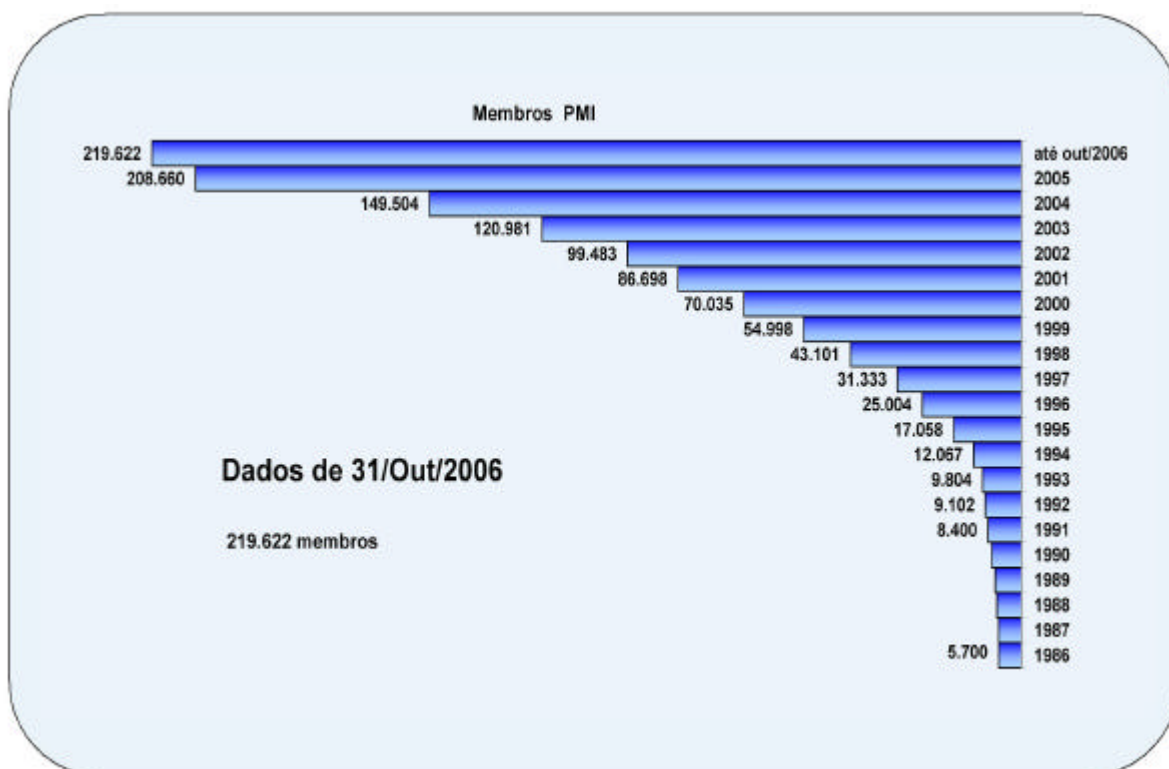


Gráfico 1.1 – Crescimento dos membros do PMI[®] (1986 – 2006).

Fonte – PMI – PMI Today Dec 06 – www.pmi.org – baixado em 12 fev 2006.

e-mail do PMI[®] de 04 mai 2006, de Sandra Heinbach.

The Standish Group International, empresa especializada na área de tecnologia de informação, realizou em 1995 uma pesquisa para identificar:

- ✓ As falhas existentes na definição do escopo dos projetos de software;
- ✓ Os principais fatores que causam falhas nos projetos;
- ✓ Os principais ingredientes que podem reduzir das falhas nos projetos.

Esta pesquisa mostrou que 31,1% dos projetos foram cancelados antes de seu término e que 52,7% dos projetos custaram 189% de suas estimativas originais. Baseado nesta pesquisa, o *Standish Group* revelou que em 1995 as empresas americanas irão desembolsar US\$ 81 bilhões em projetos cancelados. Também será desembolsado um adicional de US\$ 59 bilhões em projetos que serão completados, excedendo as estimativas de prazo originais.

Para propósitos de estudos, o *Standish Group* classificou os projetos em três tipos:

- ✓ Tipo 1 – **Sucesso do projeto**: quando o projeto foi concluído no prazo, conforme orçamento e com todas as características e funções originalmente especificadas;

- ✓ Tipo 2 - **Sucesso parcial**: quando o projeto foi concluído e está operando, apresentando excessos de custos e prazo, com poucas características e funções originalmente especificadas;
- ✓ Tipo 3 - **Insucesso**: o projeto foi abortado em algum momento do ciclo de vida (cancelado antes de sua conclusão) ou nunca implementado.

O Gráfico 1.2 apresenta os resultados da pesquisa.

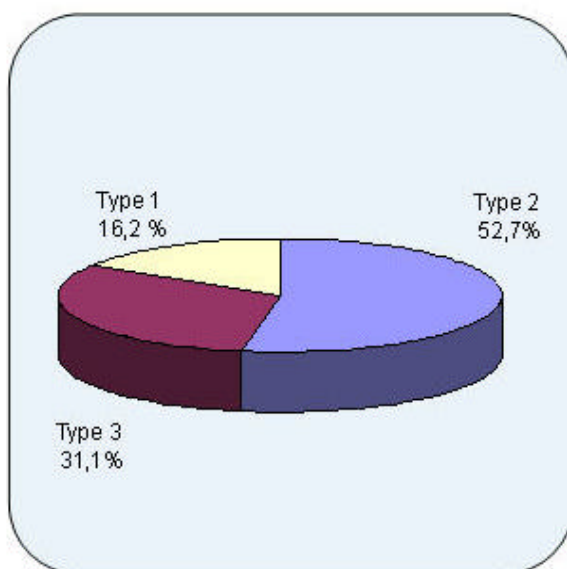


Gráfico 1.2 – Resolução do projeto por tipo.

Fonte – The Standish Group International – The Chaos Report, p. 3.

Como ilustração dessas diversas pesquisas, o Gráfico 1.3 apresenta taxas de sucesso retratadas pela *The Standish Group International*, durante o período de 1994 a 2004.

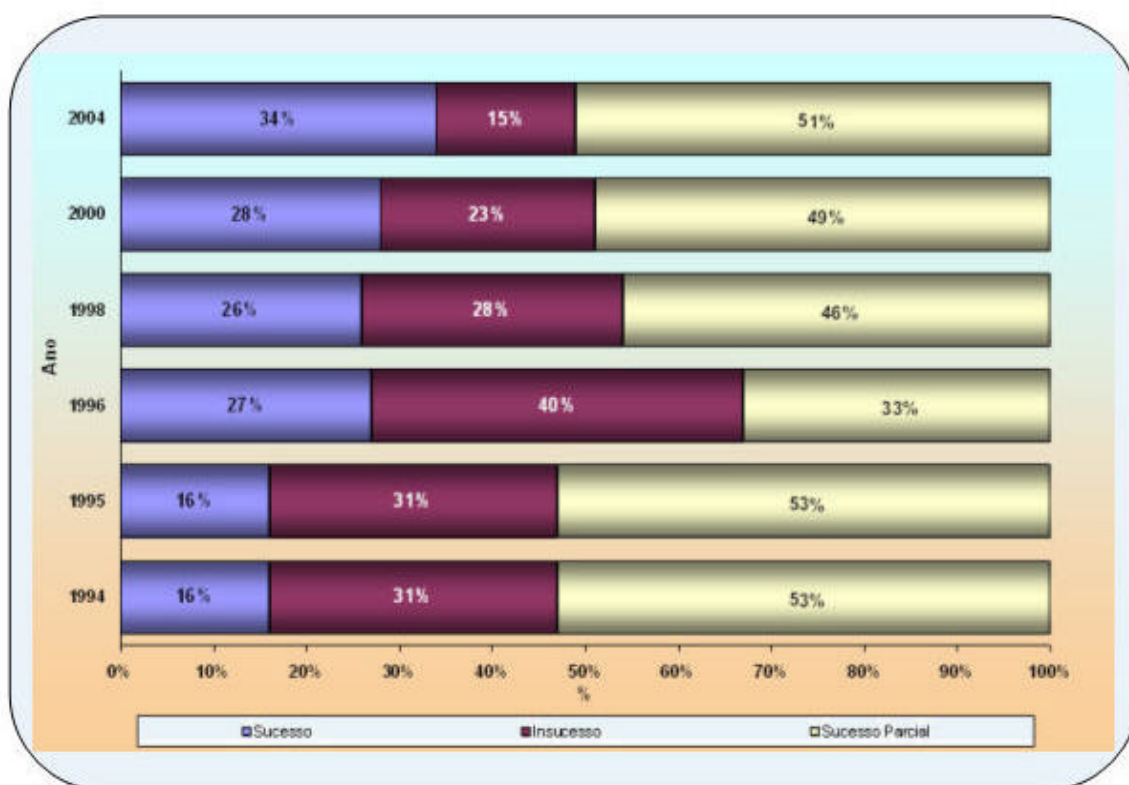


Gráfico 1.3 - Evolução do histórico dos projetos de TI (1994 – 2004).

Fonte - The Standish Group International – Extreme Chaos.

Esse crescimento do gerenciamento de projeto, aliado ao desenvolvimento tecnológico do país motivou a realização desta dissertação, onde se pretende a discussão das principais técnicas de gerenciamento de prazos e a utilização do gerenciamento de riscos, particularmente da simulação de Monte Carlo, durante todo o ciclo de vida de um projeto de engenharia em regime de EPC.

1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

Uma gestão de projetos bem-sucedida exige planejamento e coordenação extensivos. Assim, o fluxo de trabalho e a coordenação do projeto devem ser administrados horizontalmente, não mais verticalmente, como ocorria no gerenciamento tradicional, em que o trabalho é gerenciado ao longo de vários grupos funcionais que trabalham em interação permanente. Isso permite uma melhoria na coordenação e comunicação entre os subordinados e os seus gerentes (KERZNER, 2006).

O gerenciamento de projetos é uma disciplina com vantagens significativas sobre os outros processos, inclusive a de poder adaptar-se de acordo com as necessidades únicas de diferentes empresas. A gerência de projetos pode ser moldada para adaptar-se a muitas situações diferentes no mundo inteiro e ser planejada para acomodar níveis diversos de refinamentos (CLELAND, 2002).

O gerenciamento de prazos, dentro do campo do gerenciamento de projetos, tem se tornado um item crítico nos dias atuais, em particular naqueles empreendimentos nos quais os riscos relativos à implantação dos empreendimentos são tomados pelos seus executores, como ocorre nos contratos de engenharia em regime de **EPC**, notadamente no ramo da construção pesada. Neste cenário torna-se imprescindível que os **epcistas**, em função das incertezas inerentes a este tipo de negócio, utilizem durante todo o ciclo de vida de seus projetos, técnicas de gerenciamento de riscos, associadas ao gerenciamento de prazos e custos.

Isto torna a revisão e consolidação do emprego das técnicas de suporte ao gerenciamento de prazos um fator relevante na manutenção da competitividade das empresas que atuam neste segmento de mercado.

A presente dissertação tem como objetivo desenvolver uma análise crítica das principais técnicas utilizadas no gerenciamento de prazos de projetos, em uma empresa de engenharia, de porte médio, atuando em projetos que englobam as fases de engenharia, suprimento e construção (EPC¹⁴). Tomando-se como ponto de partida a implantação do planejamento de um projeto existente, elaborado pelo Departamento de Planejamento de uma Empresa de Consultoria em Engenharia de Projetos Industriais, será feita uma análise crítica do CPM – Método do Caminho Crítico, CCPM – Método da Corrente Crítica e da Simulação de Monte Carlo, aplicada no diagrama de rede deste projeto.

Não faz parte deste trabalho a análise crítica do PERT.

¹⁴ Engineering, procurement and construction, no original.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O que se pretende nesta dissertação é uma revisão crítica das principais técnicas normalmente usadas e a proposição de uma abordagem para o planejamento de empreendimentos industriais¹⁵ no segmento de montagem industrial, em regime de EPC, levando em consideração os riscos existentes nesta modalidade contratual.

Os capítulos estão estruturados de maneira a apresentar o tema de forma gradativa e de acordo com a abordagem adotada para o desenvolvimento do planejamento de projetos.

O Capítulo 1 introduz o problema, evidenciando a relevância e interesse do assunto abordado, discutindo, genericamente, os problemas apresentados nas diversas técnicas de planejamento de projetos, usadas pela maioria das empresas de engenharia, procurando-se evidenciar a necessidade de desenvolvimento de uma sistemática que mais se aproxime do ambiente de projeto. Um ambiente caracterizado por: múltiplos componentes interdependentes; altamente dinâmico; múltiplos processos de *feedback* e relacionamentos lineares e não-lineares. Um ambiente no qual os desvios em relação às metas se tornam freqüentes e demandam um exercício competente das técnicas de gerenciamento de projetos. Enfim, um ambiente extremamente complexo, em que se torna necessário uma modelagem que considere a incerteza, possibilitando abordagens integradas que levem em conta tanto ameaças quanto oportunidades.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica que possibilitou um melhor entendimento dos conceitos relevantes ao estudo. Este capítulo está subdividido em três grandes itens que fornecem todo o embasamento teórico para o desenvolvimento da abordagem, desde os conceitos gerais de gerenciamento de projeto, explicando detalhadamente as vantagens da abordagem pelo ciclo de vida dos projetos. A seguir serão apresentadas as principais ferramentas para o gerenciamento de prazos em um projeto, sendo evidenciadas o CPM e a Corrente

¹⁵ Segundo Yazbek (2005, p. 29), no meio acadêmico e profissional não existe um consenso sobre a divisão dos vários setores da construção civil brasileira. Assumpção (apud Yazbek, 2005, p. 29) classifica essas empresas em dois grandes segmentos de atuação: subsetor de produtos e subsetor de serviços ou de obras empreitadas, podendo este último ser dividido em três outras especialidades: edificações, montagem industrial e construção pesada. As empresas foco desta dissertação se encontram classificadas no segmento de montagem industrial.

Crítica, além da simulação de Monte Carlo, neste caso como suporte as abordagens voltadas para o gerenciamento de riscos em projetos. Embora longo, este capítulo é fundamental para a compreensão dos conceitos utilizados na modelagem a ser adotada, com uma extensa pesquisa bibliográfica.

O Capítulo 3 apresenta o ambiente das empresas de engenharia, particularmente a área de projetos industriais, mostrando as particularidades e necessidade de planejamento, deste segmento, decorrente dos riscos associados à contratação de um EPC. Também será apresentado neste capítulo o projeto e a respectiva base de dados, onde será aplicada a modelagem e aplicados os principais métodos de gerenciamento de prazos.

O Capítulo 4 apresenta a análise dos resultados obtidos com a aplicação do método do caminho crítico, método da corrente crítica e simulação de Monte Carlo, na base de dados do projeto escolhido.

Já o Capítulo 5 apresenta um quadro analítico que confronta as ferramentas analisadas, possibilitando as conclusões e sugestões de temas para estudos futuros.

Espera-se que este trabalho possa contribuir nesta árdua tarefa de desenvolvimento de um modelo que possa auxiliar na definição e seleção de técnicas e ferramentas para o gerenciamento de prazos em projetos.

2 CONCEITOS DE GERENCIAMENTO E PLANEJAMENTO DE PROJETOS

2.1 CONCEITOS GERAIS DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS

O PMI (2004, p. 16) enfatiza que:

O gerenciamento de projetos existe em um contexto mais amplo, que inclui o gerenciamento de programas, o gerenciamento de portfólios e o escritório de projetos. Frequentemente existe uma hierarquia de plano estratégico, portfólio, programa, projeto e subprojeto, na qual um programa constituído de diversos projetos associados contribuirá para o sucesso de um plano estratégico¹.

2.1.1 Conceito de sistemas, programas, projetos, subprojetos, tarefas e atividades.

Segundo Archibald (1992) a abordagem de gerenciamento de projetos é aplicável a programas, projetos, subprojetos e tarefas. O entendimento destas palavras chave é a primeira barreira a ser vencida, na busca de um bom gerenciamento de programas ou de projetos. Por exemplo, a palavra inglesa *programme* frequentemente se refere a um plano, a espanhola *proyecto*, a francesa *projet* e a italiana *progetto* são frequentemente usadas para identificar desenhos técnicos ou plantas, em vez da palavra projetos no sentido aqui usado. Em algumas organizações, a palavra programa pode se referir a um esforço contínuo.

Cleland e King (1983) salientam que diversos nomes são empregados para o Gerenciamento de Projetos, e este algumas vezes é chamado de gerenciamento de programas, gerenciamento de sistemas, gerenciamento da força-tarefa, gerenciamento de equipes.

¹ Tradução própria.

A palavra “Programa” é geralmente usada como sinônimo de “projeto”. Assim, a expressão “gerenciamento de programas” é com frequência usada no lugar de “gerenciamento de projetos”. Algumas organizações empregam também a expressão “gerenciamento de tarefas”. Gerenciamento de programas, gerenciamento de projetos e gerenciamento de tarefas são geralmente idênticos, e normalmente os programas são maiores do que os projetos, e os projetos são normalmente maiores que as tarefas [...]”² (ROSENAU, 1992, p. 8).

2.1.1.1 Sistemas

Para Kerzner (2006, p. 52) a definição exata de um sistema depende do usuário, ambiente e objetivo final. Praticantes da área de negócios definem sistema como “um grupo de elementos, humanos ou não, que são organizados e dispostos propriamente, de tal modo que os elementos podem agir como um todo para alcançar alguns objetivos e metas comuns³”.

Sistemas são grupos de subsistemas interativos que, se organizados corretamente, podem prover um resultado com sinergia. Os sistemas são caracterizados por suas fronteiras ou condições de interface (KERZNER, 2006).

Maximiano (1997, p. 28) comenta que:

A palavra sistema é usada com menor frequência do que subprojeto e programa. Algumas organizações a usam como sinônimo de subprojeto, para designar uma parte física de um empreendimento maior. A palavra sistema também é empregada para indicar um conjunto relativamente complexo de atividades ou subprojetos. Por exemplo: sistema de apoio à vida dentro de um projeto de espaçonave ou sistema de propulsão de um veículo.

Conforme proposto por Kerzner (2006, p.80):

A abordagem de sistemas pode ser definida como um processo lógico e

² Tradução própria.

³ Tradução própria.

disciplinado de resolução de problemas. A palavra processo indica um sistema contínuo ativo que é alimentado por meio da contribuição de suas partes.

Os sistemas abordam:

- ✓ Forçar a revisão do relacionamento dos vários subsistemas;
- ✓ É um processo dinâmico que integra todas as atividades em um sistema total coerente;
- ✓ Sistemáticamente junta e associa as partes do sistema em um todo unificado;
- ✓ Busca uma solução ou estratégia ótima na resolução de um problema⁴.

O pensamento sistêmico é vital para o sucesso de um projeto. Sistemas de gerenciamento de projetos necessitam urgentemente de novas formas de visão estratégica, questionando e analisando as necessidades do projeto para soluções alternativas, técnicas e não técnicas. A habilidade para analisar um projeto inteiro, no lugar de partes individuais, é a primeira condição prévia para o sucesso do gerenciamento de projetos (KERZNER, 2006).

A abordagem por sistema é comumente usada no ambiente de gerenciamento de projetos, como por exemplo, em projetos Termoeletricos. Normalmente, o comissionamento, pré-operação e partida são fases do ciclo de vida de projetos de obras industriais onde também se utiliza esta abordagem.

2.1.1.2 Programas

Um programa, de acordo com o PMBOK (2004), é um grupo de projetos relacionados, gerenciados de modo coordenado, de forma a obter benefícios e controle que não estariam disponíveis se gerenciados individualmente. Muitos programas também incluem elementos de organizações rotineiras, podendo envolver uma série de esforços cíclicos e repetitivos. O programa, por esta razão, difere de um projeto pelo fato de o projeto ter um início e um término bem definidos,

⁴ Tradução própria.

enquanto um programa pode ter uma série de projetos gerenciados de forma coordenada e também incluir operações rotineiras.

O PMI (2002) alerta, contudo, que em algumas áreas de aplicação, o gerenciamento de programas e o gerenciamento de projetos são tratados como sinônimos, tornando-se, portanto, imperativo que qualquer discussão envolvendo esses conceitos seja precedida de um acordo a respeito de uma definição clara e coerente para cada termo.

Noção similar é apresentada por Cleland e King (1983, p. 189) quando comentam que “os termos “projetos” e “programas” são usados freqüentemente como sinônimos, e que “realmente algumas organizações usam essas duas palavras para significar a mesma coisa, porém, projetos e programas são diferenciados por suas dimensões e suas durações”. Para a GE⁵ (apud CLELAND; KING, 1983, p. 189) um projeto é formalmente definido como uma atividade que é planejada para uma duração finita, com um objetivo específico a ser alcançado (como, por exemplo, o lançamento de um novo produto). Quando um projeto é completado com sucesso, ele estará terminado. Já um programa é definido como uma atividade de negócios, funcional ou multifuncional, que é planejada para ter de duração contínua e também irá estipular a liderança que influenciará as estratégias do grupo.

Similarmente, Maximiano (1997, p. 27) define um programa como sendo “um grupo, família ou conjunto de projetos que é conveniente administrar de forma coordenada. Os projetos de um programa podem desenvolver-se paralelamente ou seqüencialmente. Há programas que abrangem, além de projetos, atividades funcionais ou rotineiras”.

Archibald (1992, p. 24) também utiliza a característica temporária, ao definir “um programa como um empreendimento de longo prazo que é normalmente composto de mais de um projeto, salientando que o termo programa algumas vezes é usado como sinônimo de projeto”. A NASA (apud KERZNER, 2006, p. 53) também utiliza essa característica, definindo “um programa como uma série de empreendimentos que continuam por um período de tempo (normalmente anos) e que são projetados⁶

⁵ “Guideline for Use of Program / Project Management in Major Appliance Business Group.” General Electric Corporation, Mar, 14, 1977”.

⁶ Designed, no original.

para realizar um amplo objetivo, científico ou técnico, em um plano de longa duração (exploração lunar e planetária, sistemas de aeronaves tripulados)”.

2.1.1.3 Projetos

Durante a elaboração desta dissertação foram encontradas dezenas de definições de projeto. A grande maioria delas, conforme pode ser observado na Tabela 2.1, considera que os projetos são compostos de atividades ou tarefas, requerendo uma organização específica, possuindo objetivos bem definidos, sendo empreendidos para criar um produto, serviço ou resultado, sendo singulares e temporários, apresentando restrições de prazo, recursos, custos e qualidade. Como será observado a seguir, poucos autores apresentam, na definição de projeto, as características relativas às incertezas, riscos, oportunidades, conflito, comprometimento e alinhamento com as estratégias organizacionais.

Características \ Autores	Archibald (1962, p. 24-29) E (1962, p. 30)	PMBOOK (2004, P. 5)	ASMIT (2002, P.2)	HEZKUMER (2002 P. 17) e (2006 p. 03)	Robert Gilbreth em Cleland e King (1988, p. 8)	Chelton (1994, p. 4)	Chelton e King (1983, p. 70) E (1960, p. 187)	Daniel G. Hubbard em Diascoro (1993, p. 137)	John Tunari Jr. Em Cleland e King (1988, p. 663)	Maximiano (1997, p. 20) e (1977, p. 24)	Um C. Stuckerbook em Cleland e King (1988, p. 08)	Shua, Bars e Olszenken (1994, p. 5 E 6)	Knibben e Biz (1991, p. 1)	Jeffrey Pinto e Dennis Sivem em Cleland e King (1988, p. 450)	Levina em Cleland e King (1988, p. 604)	Dierstone (1998, p. 6)	Dwayne P. Coble e John R. Adams em Pennington (1987, p. 3 e 6)	Stuchlounck (post PENNYPACKER, 1997, p. 6)	Hastebour (1992, p. 1)	Levins (1995, p. 2)	Jeron (1999, Lewis, 1990, p. 3)
Único, Singular, Não Repetitivo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Objetivos definidos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gerar Produtos, serviços, resultados	X	X	X			X			X	X	X	X	X								
Ciclo de vida, times	X	X				X			X	X	X	X			X						
Elaboração progressiva		X	X																X		
Empenho ou Enfardo ou Empreendimento	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X
Compostos de Atividade ou tarefa	X		X	X				X	X	X	X	X	X	X	X			X			
Processo	X		X			X			X		X	X				X					
Sistema	X										X	X									
Restrição de Tempo, Temporário	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Restrição de custo	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Restrição de recursos			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Qualidade, Desempenho			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Organização da Estrutura Organizacional	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Conflito																			X		
Problema										X							X				X
Estratégico						X													X		
Complexidade	X		X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Incerteza, Riscos, Oportunidade								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Comprometimento da alta administração, equipe												X							X		
Integração, interação e Inter-relacionamentos	X		X					X	X	X	X	X		X					X		
Abordagem Teórica								X	X	X	X	X							X		

Tabela 2.1 - Matriz de definição do projeto.

Fonte - Autor.

O PMI (2004, p. 5), através do PMBOK⁷, a publicação mais difundida sobre o tema, define que “um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único”. Uma das características dos projetos é a de serem temporários, significando que todo projeto tem um início e um término bem definidos, apresentando um ciclo de vida que define as fases que conectam o início de um projeto ao seu término. O término de um projeto é alcançado quando seus objetivos são atingidos, ou quando se torna claro que estes não serão ou não poderão ser atingidos, ou ainda, quando não mais existe a necessidade de realização do projeto, sendo o mesmo abortado.

A singularidade também é uma característica do projeto, revelando que gera *produtos a serem entregues*, que são produtos, serviços ou resultados únicos, exprimindo que o produto, serviço ou resultado é de algum modo diferente de todos os produtos, serviços ou resultados similares, envolvendo, portanto, algo a fazer que nunca foi feito anteriormente, devendo para isso serem progressivamente elaborados, significando que sejam desenvolvidos passo a passo por meio de incrementos.

Pode-se observar que a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2000, p. 2), através da norma ISO 10006, é bastante similar a do PMI®, definindo o projeto como:

Um processo único, consistindo de um grupo de atividades coordenadas e controladas com datas de início e término, empreendido para alcance de um objetivo conforme requisitos específicos, incluindo limitações de tempo, custo e recursos. Um projeto normalmente apresenta as seguintes características:

- ✓ Um projeto individual pode fazer parte de uma estrutura de projetos mais abrangente;
- ✓ Em alguns projetos os objetivos são aperfeiçoados e as características do produto são definidas progressivamente, enquanto o projeto evolui;
- ✓ O resultado de um projeto pode ser uma ou várias unidades de um produto;

⁷ Project Management Body of Knowledge, em inglês, ou Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos.

- ✓ A organização é temporária e estabelecida para o tempo de vida do projeto;
- ✓ As interações entre as atividades do projeto podem ser complexas.

As características referentes à singularidade, restrições de prazo, custos e desempenho também são ressaltadas nas definições de projeto apresentadas por Cleland (1994, p. 4), Cleland e King (1983, p. 70 e 187), Hubbard em Dinsmore (1993, p. 131), Knutson e Bitz (1991, p. 1), Dinsmore (1999, p.5), Lewis (1995, p. 2), Levine em Cleland e King (1988, p. 694).

Kerzner (2002, p. 17) reconhece que “o projeto é um empreendimento com objetivo identificável, que consome recursos e opera sob pressões de prazos, custos e qualidade e que, além disso, os projetos são, em geral, atividades exclusivas de uma organização”. Ainda segundo KERZNER (2006, p. 53), “projetos são também esforços temporários (muito menores que programas), pertencendo ao primeiro nível da estrutura de um programa⁸”.

Robert Gilbreath apresenta em Cleland e King (1988, p. 8) uma definição interessante, enfatizando que:

Um projeto é um esforço mútuo, usando um grupo de recursos de forma orquestrada, para alcançar um objetivo comum. Desta forma, projetos são como “ondas” – forças e quantidades de energia que se movimentam através do tempo, cada uma com identidade própria, cultura e métodos de transformação e coesão artificial. Ao atingir o objetivo do projeto, esta coesão artificial não serve mais para manter a unidade do projeto (fazendo, portanto, desta coesão um anacronismo), em vez disso, ela dissolve o projeto, dissipando o projeto em ondas ao chegar à praia do sucesso.

Shtub; Bard e Globerson (1994) apresentam abaixo, uma das mais completas definições de projeto, evidenciando as características associadas aos conceitos de progresso, comprometimento, ciclo de vida, complexidade, incerteza e riscos.

O gerenciamento de projetos lida com um esforço temporário para alcançar um objetivo específico. A medição do progresso e do desempenho depende de fatores críticos como a tecnologia (especificação, desempenho e qualidade), tempo (datas reais e eventos), custos (investimento total e fluxo de caixa), como também lucros,

⁸ Tradução própria.

da utilização de recursos e aceitação do mercado. Estes fatores e suas importâncias relativas são os principais assuntos em gerenciamento de projetos, e, baseados em um conjunto de objetivos bem definidos, é possível desenvolver medições de desempenho apropriadas e selecionar a estrutura organizacional, os recursos necessários e as pessoas que irão se comprometer em alcançar esses objetivos (SHTUB; BARD; GLOBERSON, 1994).

Shtub; Bard e Globerson⁹ salientam que em função da característica temporária dos projetos, torna-se necessário um amplo envolvimento da alta administração, durante todo o ciclo de vida do projeto, e a ausência dessa continuidade, decorrente de suas características de singularidade e temporariedade, submete os projetos a um alto grau de incerteza. Essa incerteza é conhecida como fontes ou causas de riscos, que incluem variáveis aleatórias no desempenho de componentes e subsistemas, dados inadequados ou imprecisos e a incapacidade de se prever satisfatoriamente por causa da falta de experiência anterior. Especificamente, pode ser:

- ✓ **Incerteza na programação:** mudanças no ambiente que são impossíveis de prever com precisão, no início do ciclo de vida de um projeto, são prováveis de terem um impacto crítico na duração de certas atividades;
- ✓ **Incerteza em custos:** informações limitadas sobre a duração das atividades dificultam a previsão da quantidade de recursos necessários para completá-las conforme programado;
- ✓ **Incerteza tecnológica:** esta forma de incerteza é tipicamente encontrada em projetos de pesquisa e desenvolvimento, em que novas tecnologias (não testadas e aprovadas), métodos, equipamentos e sistemas são desenvolvidos ou empregados. A incerteza tecnológica pode afetar a programação, custos e o sucesso final do projeto.

Maximiano (1997) também apresenta uma definição bem completa de projeto, salientando suas características referentes ao ciclo de vida, complexidade e incerteza. Para o autor, os projetos são empreendimentos finitos, com objetivos claramente definidos em função de um problema, oportunidade ou interesse de uma

⁹ Ibid, p. 6.

pessoa ou organização. O resultado do projeto é o desenvolvimento da solução ou atendimento do interesse, dentro de restrições de tempo e recursos. As seguintes características principais definem os projetos:

- ✓ **Relação fornecedor - cliente ou fornecedor - usuário:** projetos em geral envolvem relação entre fornecedor e cliente ou usuário, que pode ter encomendado ou comprado uma solução ou idéia, ou que a avaliará quando for desenvolvida;
- ✓ **Singularidade:** projetos são “rotineiramente singulares”: não há dois iguais;
- ✓ **Incerteza:** projetos têm um componente de incerteza, que cerca o resultado esperado ou as condições de realização, ou ambos. Muitos projetos partem de um problema no presente, para desenvolver uma solução desconhecida no futuro. Quanto maior o grau de desconhecimento, maior a incerteza e o risco;
- ✓ **Administração específica:** as atividades ou situações que apresentam essas características têm maior probabilidade de êxito quando são administradas por meio de técnicas específicas, as técnicas de gerenciamento de projetos. Em essência, essas técnicas consistem em utilizar recursos e competências especializadas, integrando-as de maneira a possibilitar a transformação de idéias em resultados.

Maximiano¹⁰ (1997) ao definir projeto, sugere dois critérios importantes na classificação dos projetos: complexidade e incerteza.

A complexidade de uma situação é medida pelo número de variáveis que contém. Quanto maior o número de variáveis a serem gerenciadas, mais complexa a situação se torna. Conforme Maximiano (1997, p. 25), alguns dos fatores que aumentam a complexidade do gerenciamento de projetos são os seguintes:

- ✓ Multidisciplinaridade ou diversidade de profissões necessárias para a realização do projeto;
- ✓ Número de pessoas envolvidas;

¹⁰ ibid, p. 24.

- ✓ Número de instalações usadas e, eventualmente, dispersão geográfica ou distância entre elas;
- ✓ Diversidade e volume de informações a serem processadas;
- ✓ Duração do projeto;
- ✓ Número de organizações ou serviços que precisam ser mobilizados para realizar o projeto;
- ✓ Quantidade de condições a serem observadas (risco e segurança, por exemplo).

A incerteza de uma situação é medida pelo grau de desconhecimento a respeito de seus resultados, ou da forma de atingi-los, ou de ambos.

Em função da combinação, complexidade e incerteza, utilizando-se de escalas qualitativas (menor e maior), Maximiano (1997) sugere uma divisão dos projetos em quatro grandes categorias mostradas na Figura 2.1: incerteza menor, complexidade menor; incerteza menor, complexidade maior; incerteza maior, complexidade menor e incerteza maior, complexidade maior.

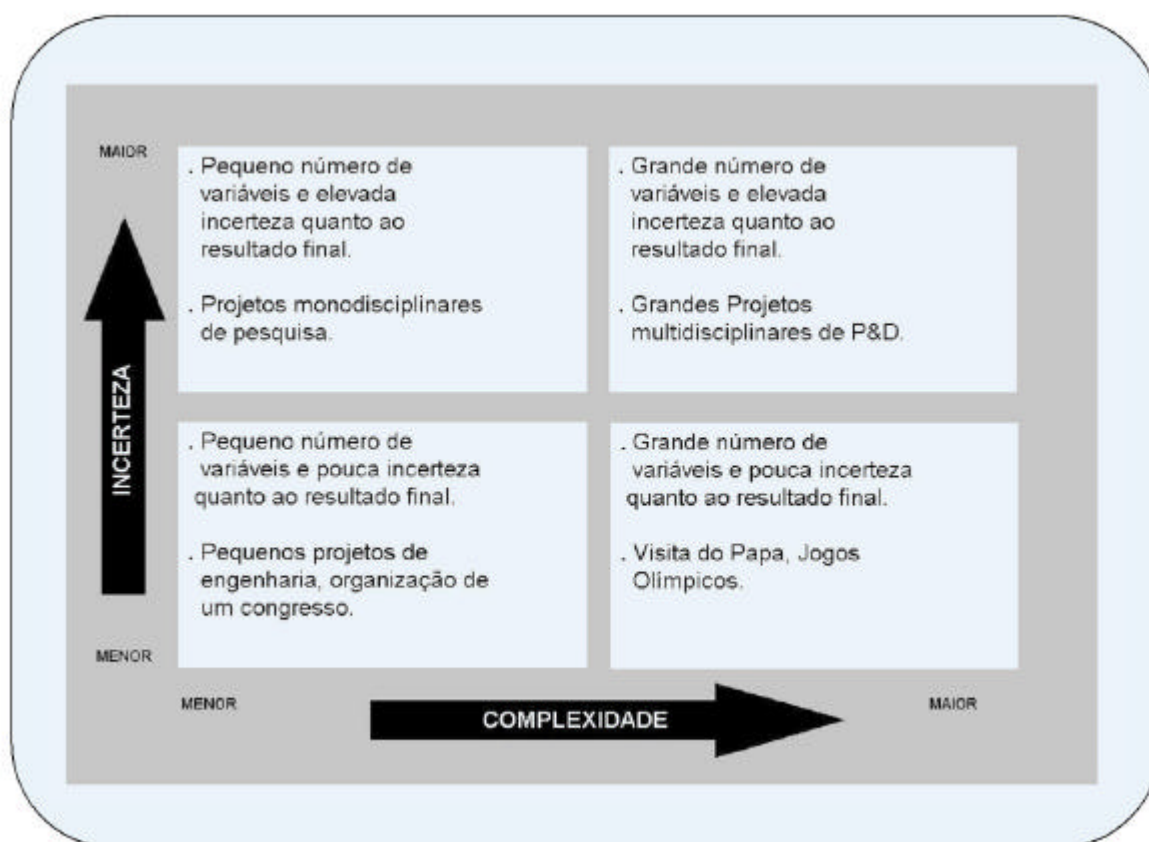


Figura 2.1 - Quatro categorias de projetos.

Fonte - Maximiano (1997, p. 27).

O conceito de riscos também é apresentado por John Tuman Jr. em Cleland e King (1988, p. 655) salientando que:

Um projeto é uma organização de pessoas dedicadas a um propósito ou objetivo específico. Os projetos podem ser grandes, envolver altos investimentos, singulares ou serem empreendimentos de altos riscos, entretanto, todos os projetos precisam ser concluídos em uma data pré-estabelecida, por um determinado custo e de acordo com o desempenho esperado. No mínimo, todos os projetos precisam possuir objetivos bem definidos e disponibilidade de recursos para desenvolver todas as tarefas requeridas.¹¹

Jeffrey Pinto e Dennis Slevin em Cleland e King (1988, p. 480) também introduzem na definição de projeto os conceitos de riscos salientando:

Um projeto, portanto, pode ser definido através das seguintes características:

- ✓ Um início e término definido;
- ✓ Um específico e pré-ordenado objetivo ou conjunto de objetivos;
- ✓ Uma série de atividades complexas ou inter-relacionadas;
- ✓ Um orçamento limitado.

Linn C. Stuckenbruck apresenta em Cleland e King (1988, p. 58) uma visão sistêmica de um projeto, afirmando:

Todo projeto é um sistema que consiste de muitas partes ou elementos inter-relacionados e interconectados, que precisam funcionar como um “todo”. Os projetos podem variar em tamanho, complexidade e urgência, entretanto, todos, mesmos os mais simples, possuem um elemento comum que é a necessidade de integração. A integração do projeto pode ser então descrita como o processo que assegura que todos os elementos do projeto, suas tarefas, subsistemas, componentes, partes, unidades organizacionais e pessoas, formam um todo integrado que operam de acordo com o plano¹².

Os processos voltados à criação do produto do projeto, definidos através do ciclo de vida do projeto, apresentando suas fases e seus produtos ou resultados

¹¹ Tradução própria.

¹² Tradução própria.

intermediários, são destacados por Archibald (1992) ao definir o projeto como sendo um esforço complexo, normalmente com menos de três anos de duração, composto de tarefas inter-relacionadas, executadas por várias organizações, com objetivos, cronograma e orçamento bem definidos. Os projetos são propostos para produzir determinados resultados em um ponto determinado do tempo e com um orçamento estabelecido. Eles cruzam as linhas organizacionais e são empreendimentos únicos, não sendo, portanto, repetições de esforços prévios. Um projeto pode ser visto como sendo os processos necessários para produzir um novo produto, uma nova planta, um novo sistema ou outros resultados específicos. O produto a ser criado em geral recebe maior atenção do que os processos, através dos quais ele foi criado, e ambos, o produto e os processos – o projeto – requerem um gerenciamento eficaz.

Francis Webster em Dinsmore (1993) introduz os conflitos na definição de projetos, salientando a presença de conflitos no ambiente de projetos e que o gerenciamento de conflitos é um assunto de grande importância no dia-a-dia dos projetos. Segundo o autor, os projetos envolvem mudança, criação de algo novo ou diferente, possuindo um início e um término. Na prática, a maioria dos projetos depende de recursos finitos ou limitados, pelos quais seus objetivos serão realizados. Esta definição, embora útil aos gerentes de projetos, pode não ser suficiente para que outros distingam os projetos, de outros negócios ou trabalhos. O entendimento de algumas características dos projetos e a comparação dos projetos com outros tipos de trabalhos fornecerão uma perspectiva mais clara.

Algumas características dos projetos:

- ✓ Os projetos são empreendimentos únicos que resultam em uma única unidade de produção;
- ✓ Os projetos são compostos de atividades, normalmente não repetitivas, operando em um conjunto de itens inter-relacionados que inerentemente possuem determinadas relações tecnológicas. Uma atividade deve ser completada antes que outra possa iniciar. Geralmente, esses relacionamentos tecnológicos são muito difíceis de serem transgredidos, pois normalmente caracterizam um relacionamento físico;
- ✓ Os projetos envolvem múltiplos recursos, tanto humanos quanto

materiais, requerendo uma estreita coordenação. Geralmente há uma variedade de recursos, cada um com suas próprias tecnologias, habilidades e características singulares. Isto conduz a uma característica inerente aos projetos: o conflito. Existe conflito entre recursos referente a conceitos, teoria, técnicas, entre outros. Existe conflito para recursos referente à quantidade, momento e atribuições específicas. Portanto, um gerente de projetos deve ser qualificado no gerenciamento de conflitos;

- ✓ O projeto não é sinônimo de “produto do projeto”. A palavra projeto é freqüentemente usada de forma ambígua, algumas vezes se referindo ao projeto e outras ao produto do projeto. Esta não é uma distinção trivial, pois estas entidades possuem características singulares, como, por exemplo, o ciclo de vida de custeio de um produto inclui o custo de sua criação (um projeto), o custo de operação, o custo de manutenção ou reformas (normalmente realizados como projetos), o custo de desmontagem (freqüentemente em um projeto quando realizado de maneira isolada).

Para J. M. Juran (apud LEWIS, 1995, p. 3) “um projeto é um problema programado para solução, significando que um projeto é sempre conduzido para resolver um problema para a organização”. Lewis (1995) comenta que a importância desta definição é que ela induz o reconhecimento da resolução de problemas, salientando que um problema é uma lacuna¹³ entre onde você está e onde você quer estar, existindo obstáculos que impedem a fácil ação de fechamento da lacuna. Por exemplo, no desenvolvimento de um novo produto, se fosse possível acenar uma varinha mágica e fazer o produto aparecer, não teríamos um problema, apenas um resultado desejado. Os obstáculos que impedem a fácil ação de fechamento da lacuna são muitos: a necessidade de definir totalmente os requisitos, resolver problemas de desenho, fabricação do produto, e assim por diante. Encontrar maneiras para lidar com estes obstáculos constitui a resolução do problema.

Embora as características principais dos projetos tenham sido evidenciadas pelos diversos autores, cumpre ressaltar as que estão diretamente relacionadas ao projeto apresentado nesta dissertação:

¹³ Gap, no original.

- ✓ Objetivos bem definidos;
- ✓ Restrições de prazos, custos e recursos;
- ✓ Incertezas, riscos e oportunidades
- ✓ Comprometimento da alta administração;
- ✓ Ciclo de vida e portões de fase;
- ✓ Conflitos;
- ✓ Abordagem técnica;
- ✓ Integração e gerenciamento das interfaces.

2.1.1.4 Subprojetos

“Os projetos são com freqüência divididos em componentes mais facilmente gerenciáveis ou subprojetos, embora os subprojetos individuais possam ser chamados de projetos e gerenciados como tal. Os subprojetos são normalmente contratados de uma empresa externa ou de outra unidade na organização executora” PMI (2004, p. 17).

Para Maximiano (1997), um subprojeto é uma parte de um projeto de grande porte, alertando que se deve ter cuidado na utilização deste termo, pois algumas organizações usam a palavra sistema como sinônimo de subprojeto, para designar uma parte física de um empreendimento maior. Podem ser considerados subprojetos:

- ✓ Uma fase de um projeto;
- ✓ Uma parte física de um equipamento;
- ✓ Uma tarefa específica;
- ✓ Um projeto dentro de um programa.

Wideman¹⁴ em seu glossário de gerenciamento de projetos apresenta três definições para subprojeto:

- ✓ Um pequeno projeto dentro de um maior;

¹⁴ http://www.maxwideman.com/pmglossary/PMG_S08.htm. Acesso em 21/04/06.

- ✓ Um grupo de atividades representadas como uma atividade sumariada em um nível mais elevado;
- ✓ Um grupo distinto de atividades que constituem um projeto, que por sua vez é uma parte de um projeto maior. Os subprojetos são sumariados em uma única atividade afim de não mostrar detalhes¹⁵.

2.1.1.5 Tarefas e atividades

Pode-se observar que nas definições acima, ao se definir projeto e gerenciamento de projetos, alguns autores se referem a atividades (ISO 10006, Maximiano, General Electric, Obriem, Shtub e Globerson) enquanto outros se referem a tarefas (Kerzner, Hubbard, Archibald, Cleland, Tuman, Cable e Adams, Gouse e Stickney). O PMBOK (1996, p. 59) comenta que:

Não existe consenso na profissão de gerente de projeto sobre o relacionamento existente entre atividades e tarefas:

- ✓ Em muitos campos de aplicação, as atividades são vistas como sendo constituídas de tarefas. Esta é a forma mais comumente usada e também a mais preferida;
- ✓ Em outros, as tarefas são vistas como sendo compostas de atividades¹⁶.

Archibald (1992, p. 24) define uma tarefa como “um esforço de curto prazo (poucas semanas a poucos meses), realizada por uma organização, podendo combinar com outras tarefas para formar um projeto”.

Para efeito deste trabalho considera-se que a atividade é decomposta em tarefas. A definição de atividade é apresentada no item 2.2.2.

2.1.2 Gerenciamento de projetos

¹⁵ Tradução própria.

¹⁶ Tradução própria.

2.1.2.1 O conceito de gerenciamento de projetos

Archibald (1992, p. 25) salienta que:

O gerenciamento de projetos se refere ao planejamento e execução de esforços particulares chamados de projetos. Os conceitos e sistemas empregados para gerenciar projetos, assim como suas dificuldades relacionadas, fluem da própria natureza dos projetos. Portanto, é importante que os gerentes e especialistas envolvidos com programas e projetos tenham um bom entendimento de suas características peculiares¹⁷.

Conforme Kezsbom; Schilling e Edward (1989), o desafio da alta tecnologia das últimas décadas e da próxima tem obrigado os gerentes de projetos e o pessoal similarmente envolvido em projetos a reconsiderar mais detalhadamente as técnicas atuais de gerenciamento de projetos. Apesar da resistência as mudanças, os gerentes têm observado com atenção o uso de abordagens mais sofisticadas de gerenciamento de projetos para aplicação no desenvolvimento de produtos e da produção.

As organizações envolvidas no desenvolvimento de produtos e serviços tecnológicos complexos observaram que os prazos para o desenvolvimento dos projetos estão diminuindo, os custos comprometidos para a elaboração de pré-projetos estão aumentado em decorrência dos riscos, a competição entre as empresas nunca foi tão intensa, com grande demanda para produtos de baixo custo e alta qualidade. O avanço tecnológico e a competição de mercado requerem um maior comprometimento de tempo, dinheiro e de pessoal mais especializado, emanando abordagens mais eficientes e sistemáticas para gerenciamento desse ambiente dinâmico e de alto nível de mudanças e conflitos, característica de programas e projetos de alta tecnologia. Em decorrência, as práticas e os princípios de gerenciamento de projetos precisam ser customizados para acomodarem as diversas necessidades singulares e dinâmicas, buscando um melhor controle dos recursos organizacionais.

¹⁷ Tradução própria.

Em torno de 1917, Henri Fayol¹⁸ (apud KEZSBOM; SCHILLING; EDUARD, 1989, p. 3), considerado o pai da Ciência de Gerenciamento, identificou as funções envolvidas no processo de gerenciamento. Essas funções incluem a responsabilidade e obrigação¹⁹ de planejar, organizar, conduzir, controlar e recrutar. Para tanto, é necessário um forte senso de comando e autoridade legal sobre os recursos contribuintes.

Portanto, gerenciamento de projetos é uma mistura de pessoas, sistemas, técnicas e tecnologias necessárias para conduzir o projeto ou programa a uma conclusão bem sucedida, dentro do prazo, orçamento e restrições de desempenho. Embora o assunto seja extremamente interessante e importante, uma compreensão mais profunda das funções básicas de Fayol, não é objetivo desta dissertação.

O PMBOK (2004, p. 8) define:

O gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto, a fim de atender aos seus requisitos. O gerenciamento de projetos é realizado através da aplicação e da integração dos seguintes processos de gerenciamento de projetos: iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento. O gerente de projetos é a pessoa responsável pela realização dos objetivos do projeto.

Gerenciar projetos inclui:

- ✓ Identificação dos requisitos;
- ✓ Estabelecimento de objetivos claros e atingíveis;
- ✓ Balanceamento de demandas conflitantes de qualidade, escopo, tempo e custos;
- ✓ Adaptação das especialidades, planos e abordagens às preocupações e expectativas dos diversos interessados.

Kerzner (2006) sugere uma abordagem similar à do PMI®, definindo o gerenciamento de projetos como os processos necessários para atingir os objetivos do projeto, através da estrutura organizacional tradicional e das especialidades individuais envolvidas. Objetivando a conclusão de uma tarefa, um gerente de

¹⁸ Fayol, H. General and Industrial Management (London: Sir Isaac Pitman and Sons, Ltd., 1949), p. 8.

¹⁹ Accountability and responsibility, no original.

projeto precisa:

- ✓ Estabelecer objetivos;
- ✓ Estabelecer planos;
- ✓ Organizar recursos;
- ✓ Alocar pessoas;
- ✓ Ajustar os controles;
- ✓ Emitir instruções;
- ✓ Motivar a equipe;
- ✓ Aplicar a inovação para ações alternativas;
- ✓ Permanecer flexível.

Knutson e Bitz (1991) destacam que o gerenciamento de projetos cultiva a especialização em planejar, monitorar, controlar e gerenciar pessoas, prazo, orçamento e a qualidade do trabalho em projetos. Salientam que o gerenciamento de projetos possui os propósitos de prover a documentação técnica e de negócios, para comunicar o plano e, subseqüentemente, a comparação do plano contra o desempenho real, e de fornecer suporte ao desenvolvimento de habilidades gerenciais, para facilitar o melhor gerenciamento de pessoas e seus projetos. O gerenciamento de projetos é um estilo pró-ativo de gerenciamento. Técnicas de negociação, boa comunicação e habilidades analíticas são partes integrantes desta abordagem. Outro ingrediente principal é a medição do desempenho contra os objetivos estabelecidos.

O gerenciamento de projetos é tanto uma ciência como uma arte. Ele é reconhecido como uma ciência porque é suportado por diagramas, gráficos, cálculos matemáticos e outras ferramentas e técnicas. A produção desses diagramas necessita de sólidas habilidades para gerenciar um projeto, mas o gerenciamento de projetos é também conduzido por fatores políticos, interpessoais e organizacionais, portanto, “a arte de gerenciamento de projetos”. Comunicação, negociação e resolução de conflitos são apenas algumas das habilidades “*soft*” usadas na arte de gerenciamento de projetos (KNUTSON; BITZ, 1991).

O gerenciamento de projetos, conforme definição da ABNT (2000, p. 3), “inclui

planejamento, organização, supervisão e controle de todos os aspectos do projeto, em um processo contínuo, para alcançar seus objetivos”.

Kezsbom; Schilling e Edward (1989, p. 6), apresentam uma definição mais formal do gerenciamento de projetos, declarando que:

O gerenciamento de projetos é o planejamento, organização, direção e controle dos recursos da organização (dinheiro, materiais, equipamentos, tempo e pessoas), para um objetivo relativamente em curto prazo. Ele é estabelecido para realizar um conjunto de metas e objetivos específicos através da utilização de uma abordagem sistêmica, em que a equipe funcional (a tradicional hierarquia – line-staff) é designada a um projeto específico (a hierarquia horizontal).²⁰

Maximiano (1997, p. 33) salienta que:

O mais importante é enxergar o processo de gerenciamento de projetos, como forma de raciocinar sobre a utilização de recursos e a realização de objetivos. Isso significa adotar a perspectiva de que o gerenciamento de projetos é uma doutrina que tem os seguintes princípios:

- ✓ O gerenciamento de projetos é uma solução ou método de trabalho que se aplica a determinados problemas, situações ou tipos de atividades;
- ✓ A aplicação do método depende mais de escolha consciente, do que da natureza intrínseca do problema ou situação;
- ✓ A tarefa básica do gerenciamento de projetos é assegurar a orientação para um resultado que resolve um problema. Controlar custos e prazos são condições básicas para realizar o resultado;
- ✓ Os princípios do gerenciamento de projetos aplicam-se igualmente a todos os tipos de projetos. A escala e sofisticação das técnicas variam de acordo com a dimensão do projeto²¹.

Cleland (1999) destaca que o gerenciamento de projetos utiliza a abordagem de processos definindo gerenciamento de projetos como uma série de atividades reunidas em um processo de realização de tarefas de um projeto, por meio do trabalho, com os membros da equipe do projeto e com outras pessoas a fim de atingir a programação, custo e objetivos técnicos de desempenho.

²⁰ Tradução própria.

²¹ Tradução própria.

Ainda no entender de Cleland (1999) o gerenciamento de projetos pode ser aplicado de forma eficaz para qualquer empreendimento. Se um dado empreendimento é único ou pouco conhecido, a necessidade de gerenciamento de projetos é intensificada. Em alguns casos, tais como aqueles empreendimentos cujo sucesso na realização envolve atividades complexas e interdependentes, um gerente de projetos pode juntar tudo para realizar um propósito da organização.

Levine em Cleland e King (1988, p. 692) alerta que “o gerenciamento de projetos pode ser um processo muito envolvente, requerendo uma grande experiência em muitas disciplinas. Necessita que esses processos sejam muito estruturados e organizados. Requer o desenvolvimento e processamento de grandes volumes de dados, e freqüente reportagem dos planos e do progresso²²”.

Cleland e King (1983, p. 188) salientam que “o gerenciamento de projeto ocorre quando a alta administração dá ênfase e atenção especial para a condução de atividades não repetitivas, com o propósito de chegar a um conjunto de metas específicas”.

Os atributos de riscos e incertezas são apresentados por Dwayne P. Cable e John R. Adams em Pennypacker (1997), ao definirem o gerenciamento de projetos como a aplicação de uma coleção de ferramentas e técnicas para direcionar o uso de recursos diversos para a realização de uma única e complexa tarefa temporária, dentro do prazo, custo e qualidade. Cada tarefa requer uma mistura particular de ferramentas e técnicas estruturadas para definir o ambiente e o ciclo de vida da tarefa.

Existe uma considerável incerteza nas tomadas de decisões em função das características singulares e complexas dos projetos. À medida que esta incerteza aumenta, a alta administração reage tipicamente de duas formas, seja pela redução da quantidade de informações que é exigida para a tomada de decisões nos projetos, ou pelo aumento da capacidade de manuseio das informações através da aplicação de procedimentos mais caros. Desempenhos menores, decisões medíocres e níveis de incerteza maiores do que as aceitáveis causam redução nas quantidades de informações necessárias, sendo uma alternativa inaceitável para o encerramento do projeto. O gerenciamento de projetos, cria alternativa – uma via de

²² Tradução própria.

acesso através da qual a informação especializada é trazida mais perto daqueles que delas necessitam para tomar decisões (CABLE; ADAMS em PENNYPACKER, 1997).

De maneira similar, ao abordar o gerenciamento de projetos, o PMI® resalta a importância do gerenciamento de riscos, salientando que os gerentes de projetos também gerenciam projetos em respostas às incertezas, sendo que os riscos são um evento ou condição incerta que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo em pelo menos um dos objetivos do projeto (PMBOK, 2004).

A definição proposta por Shtub; Bard e Globerson (1994, p. 537) também introduz a incerteza, salientando que o gerenciamento de projetos é o processo de alcançar objetivos multidimensionais relativos a entregas no prazo, de acordo com o programado, minimizando o custo, de acordo com a disponibilidade de recursos, fluxo de caixa e restrições tecnológicas, e todos esses itens ocorrem em um ambiente de incerteza.

Francis Webster em Dinsmore (1993) alerta que a concepção mais errônea sobre o gerenciamento de projetos é a de que este não é mais do que o PERT (Técnica de Avaliação e Análise de Programas), CPM (Método do Caminho Crítico) ou outros métodos de planejamento de projetos que utilizam software. Uma visão mais realista é de que o software de planejamento é uma pequena parte do gerenciamento de projetos. Sua importância é que tem permitido o planejamento e o gerenciamento de custos, serem realizados de uma forma muito mais eficaz, em menos tempo e com mais detalhes, tornando possível que um projeto possa ser planejado e executado de forma mais precisa, deixando mais tempo para realizar os outros aspectos do gerenciamento de projetos.

Segundo o PMBOK (2004, p.8), “o termo “gerenciamento de projetos” às vezes é usado para descrever uma abordagem organizacional ou gerencial do gerenciamento de projetos e de algumas operações já em andamento, podendo ser redefinidas como projetos, o que é também chamado de gerenciamento por projetos”, significando que uma organização que adota essa abordagem define suas atividades como projetos.

2.1.2.2 A tripla restrição

Conforme Rosenau (1992), um gerenciamento de projetos bem sucedido significa a realização de especificações de desempenho antes ou de acordo com o prazo e em conformidade com o custo orçado. O ponto principal é que a Tripla Restrição (Figura 2.2) estabelece a necessidade de satisfazer, simultaneamente, três metas independentes e não apenas uma. Infelizmente, é muito difícil de satisfazer a Tripla Restrição, pois o que ocorre durante um projeto normalmente conspira para puxar o desempenho abaixo do especificado, atrasando o projeto e acarretando que o orçamento seja excedido.

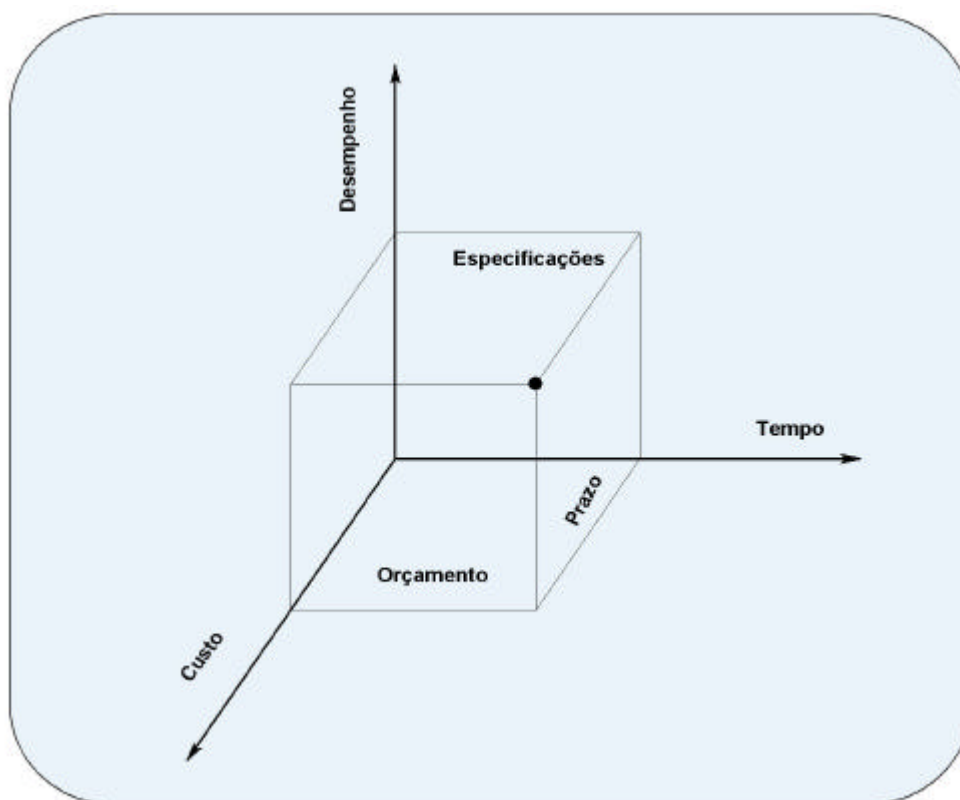


Figura 2.2 - A tripla restrição.

Fonte - Rosenau (1992, p. 16).

O PMI® comenta que os gerentes de projetos freqüentemente falam de uma “tripla restrição” (escopo, tempo e custo do projeto) no gerenciamento de requisitos conflitantes do projeto, sendo que a qualidade do projeto é afetada pelo balanceamento desses três fatores.

Lewis (1995) comenta que por muitos anos tem sido comum dizer que o gerenciamento de projetos é o planejamento, programação e controle das atividades do projeto para atingir os objetivos de desempenho, custo e tempo, para um dado escopo de trabalho, utilizando os recursos de forma eficiente e eficaz. Estes são referidos como objetivos PCT (*Performance, Cost and Time*), também comumente chamados de bom, rápido e barato.

O relacionamento entre as quatro variáveis é obtido por meio da Form.(2.1).

$$C = f(P, T, S)$$

(2.1)

onde:

C: custo

P: desempenho ou qualidade

S: escopo

T: prazo

Sendo especificadas três variáveis, a quarta irá variar conforme a equação. Na prática muitos gerentes de projetos querem fixar as quatro variáveis. Normalmente, esta é a causa mais comum do insucesso dos projetos.

2.1.3 Processos de gerenciamento de projetos

A ABNT (2000, p. 3) define “processo como um grupo de recursos e atividades inter-relacionadas, que transformam insumos em resultados. Os processos do projeto incluem os processos de gerenciamento do projeto. Os recursos podem incluir gerenciamento, serviços, pessoal, finanças, utilidades, equipamentos, técnicas e métodos”.

Um projeto é um processo que pode ser dividido em muitos subprocessos interdependentes.

Archibald (1992, p. 183) salienta que:

Deve ser reconhecido que um projeto não é igual ao resultado final a ser produzido. O projeto é o processo de criação de um novo resultado, que pode ser um produto novo ou modificado, instalações, serviços, sistemas, eventos (como os jogos olímpicos) ou até uma organização. Infelizmente, muitos projetos são nomeados pelos seus produtos, como um hospital novo, uma planta nuclear, um veículo espacial, um novo bem de consumo, um novo sistema de faturamento do cliente, ou um dos vários produtos criados por projetos. Deste modo, as pessoas olham para o fim do projeto e pensam “Este é o projeto”. Isso não é verdade; o projeto é o processo inteiro de criação do resultado final²³.

Toda organização que planeja e executa um projeto tem, ou precisa criar, um processo pelo qual o projeto caminha. Muitas organizações não sabem ou não entendem seus processos de desenvolvimento, especialmente como um sistema global integrado. Cada uma das disciplinas especializadas pode entender a sua participação no projeto, mas raramente existe documentação, análise e entendimento do quadro geral, em outras palavras, raras vezes a abordagem de sistema é utilizada. Como um resultado, o processo de desenvolvimento básico está freqüentemente escondido e quebrado em muitos pedaços (ARCHIBALD, 1992).

Conforme o PMBOK (2004, p. 37):

O gerenciamento de projetos é realizado através de processos, usando

²³ Tradução própria.

conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas de gerenciamento de projetos que recebem entradas (insumos) e geram saídas (produtos).

Para que um projeto seja bem-sucedido, a equipe do projeto deve:

- ✓ Selecionar os processos apropriados, dentro dos grupos de processos de gerenciamento de projetos, necessários para atingir os objetivos do projeto;
- ✓ Usar uma abordagem definida para adaptar os planos e as especificações do produto, de forma a atender os requisitos do produto e do projeto;
- ✓ Atender aos requisitos a fim de satisfazer as necessidades, desejos e expectativas dos interessados;
- ✓ Balancear as demandas conflitantes de escopo, tempo, custo, qualidade, recursos e riscos, para produzir um produto de qualidade.

Cleland (1999) explica que um processo é definido como um sistema de operações no projeto, desenvolvimento e produção de um projeto, em que são inerentes uma série de ações, mudanças, ou operações que geram um resultado final, no caso de um projeto, significa o cumprimento de seus objetivos de custos, programação e de desempenho técnico. Outro significado para processo é que ele é um progresso ou uma passagem de tempo, no qual algo é criado, é um movimento de avanço ou um progresso. Um processo de gerenciamento de projetos estabelece o tom e a conceituação do gerenciamento, o planejamento e a execução de conceitos, métodos e políticas, e o comprometimento de recursos com o projeto. Um processo de gerenciamento de projetos fornece um paradigma de como as funções gerenciais de planejamento, organização, motivação, direção e controle, serão executadas no comprometimento de recursos no projeto.

Um processo, conforme definido pelo PMBOK (2004, p. 38), é “um conjunto de ações e atividades inter-relacionadas realizadas para obter um conjunto pré-especificado de produtos, resultados ou serviços”. Tanto o PMBOK (2004, p. 38) como a ABNT (2000, p. 3) considera que os processos de gerenciamento de projeto se enquadram em uma das duas categorias:

- ✓ Processos de gerenciamento de projetos

São comuns à maioria dos projetos na maior parte do tempo, são associados entre si através de seu desempenho, objetivando um

propósito integrado. Esses processos são agregados em cinco grupos de processos: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle, e encerramento (Figura 2.3). Esses cinco grupos de processos possuem dependências claras e são executados na mesma seqüência em todos os projetos, sendo, portanto independentes dos campos de aplicação ou do foco do setor.

✓ Processos orientados ao produto

Especificam e criam o produto do projeto. Os processos orientados ao produto são normalmente definidos pelo ciclo de vida do projeto e variam conforme o campo de aplicação.

Ainda conforme o PMBOK (2004, p. 41) os cinco grupos de processos de gerenciamento de projetos são:

- ✓ Grupos de processo de iniciação: define e autoriza o projeto ou uma de suas fases;
- ✓ Grupos de processos de planejamento: define e refina os objetivos, planejando a ação necessária para alcançar os objetivos e o escopo para o qual o projeto foi empreendido;
- ✓ Grupos de processos de execução: integra pessoas e outros recursos para realizar o plano de gerenciamento do projeto;
- ✓ Grupos de processos de monitoração e controle: regularmente mede e monitora o progresso, para identificar variâncias em relação ao plano de gerenciamento do projeto, afim de que sejam tomadas, quando necessárias, ações corretivas para alcançar os objetivos do projeto;
- ✓ Grupo de processos de encerramento: formaliza a aceitação do produto, serviço ou resultado, conduzindo o projeto ou uma de suas fases a um final ordenado.

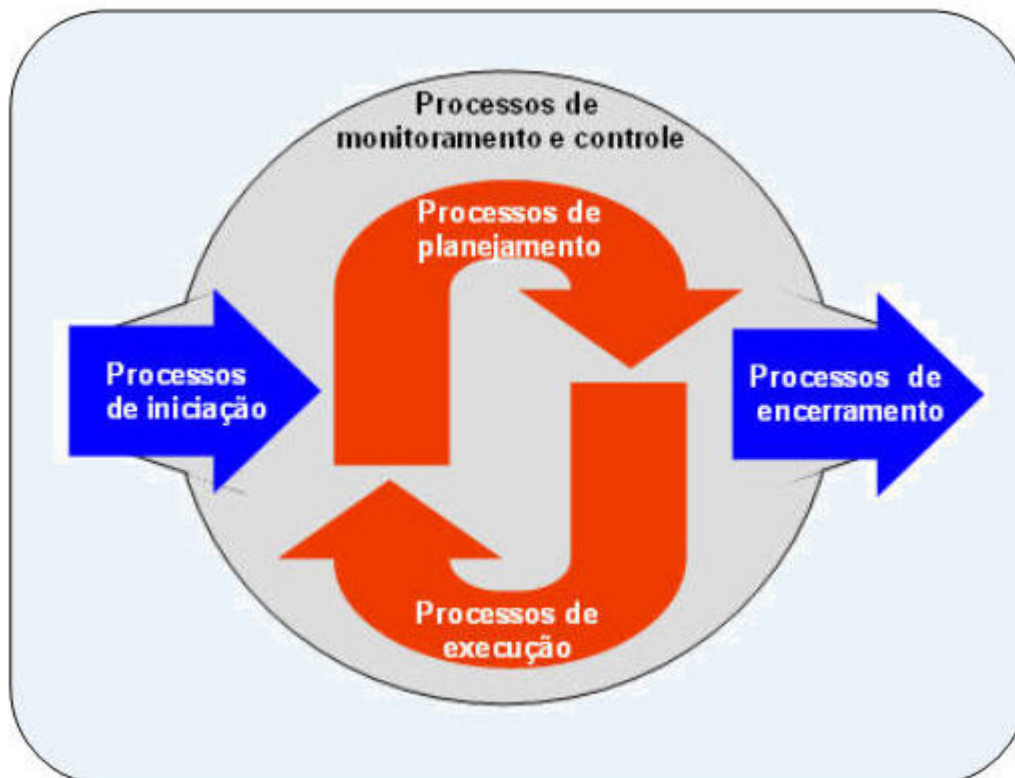


Figura 2.3 - Grupos de processos de gerenciamento de projetos.

Fonte - PMI (2004, p. 40).

Rosenau (1992) promove conceitos similares ao sugerir que o gerenciamento de projetos requer cinco atividades gerenciais diferentes que podem ser estruturadas, de forma mais simples, como um processo de 5 passos:

- ✓ **Definição:** definir as metas do projeto;
- ✓ **Planejamento:** planejar como será satisfeita a Tripla Restrição²⁴ (metas) referente à especificação de desempenho, programação e orçamento;
- ✓ **Direção:** prover orientação gerencial para os recursos humanos, a fim de que o trabalho seja realizado de forma eficaz e dentro do prazo;
- ✓ **Monitoração:** medir o trabalho do projeto, verificando os desvios em relação ao plano, para no momento oportuno, iniciar uma ação corretiva, que freqüentemente conduz ao replanejamento;

²⁴ Triple Constraint, no original.

- ✓ **Encerramento**: ter certeza que o trabalho está realizado, conforme a definição atual do que deve ser realizado.

De acordo com o modelo proposto por Knutson e Bitz (1991, p. 2), o processo de gerenciamento do projeto envolve as seguintes tarefas:

- ✓ Formar uma equipe de projeto com experiência necessária para executá-lo;
- ✓ Estabelecer os objetivos técnicos;
- ✓ Planejar o projeto;
- ✓ Gerenciar as mudanças de escopo;
- ✓ Controlar o empreendimento, de modo que ele seja concluído de acordo com o prazo e dentro do orçamento.

O PMBOK (2004, p. 41), deixa claro que **os grupos de processos não são fases do projeto**²⁵. Quando projetos de grande porte ou complexidade podem ser separados em fases ou subprojetos distintos, como estudo de viabilidade, desenvolvimento de conceitos, projeto, elaboração de protótipo, construção, testes, entre outras, **todos os processos dos grupos de processos são normalmente repetidos para cada fase ou subprojeto**²⁶ (Figura 2.4).

²⁵ Grifo do autor.

²⁶ O grifo é nosso.

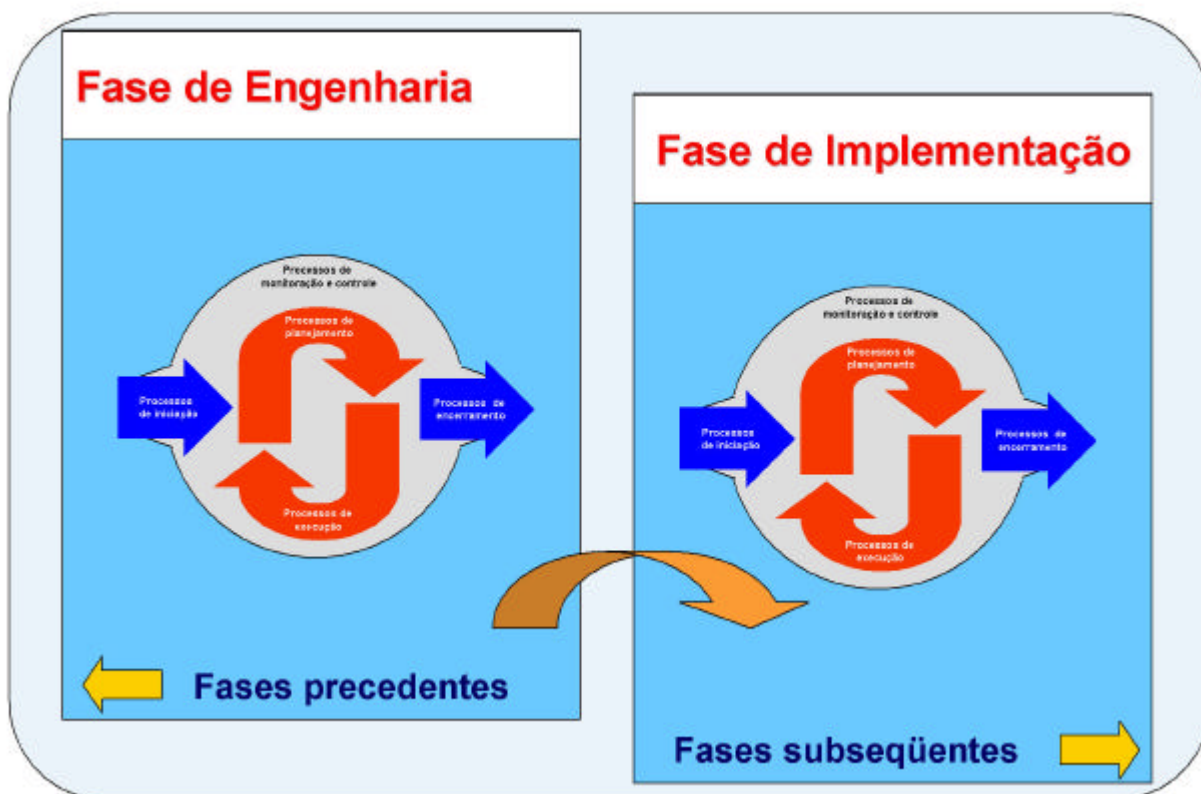


Figura 2.4 - Interação entre as fases.

Fonte - PMI (2001, p. 31).

Os grupos de processos de gerenciamento de projetos, conforme o PMBOK (2004), estão ligados pelos objetivos que produzem, e as saídas de um processo, tornam-se entradas para outro processo ou são entregas do projeto. Os grupos de processos raramente são eventos discretos ou singulares, eles são atividades sobrepostas que ocorrem em diversos níveis de intensidade durante todo o projeto (Figura 2.5). Se o projeto é dividido em fases, os grupos de processos interagem dentro de uma fase do projeto, podendo cruzar várias fases do projeto.

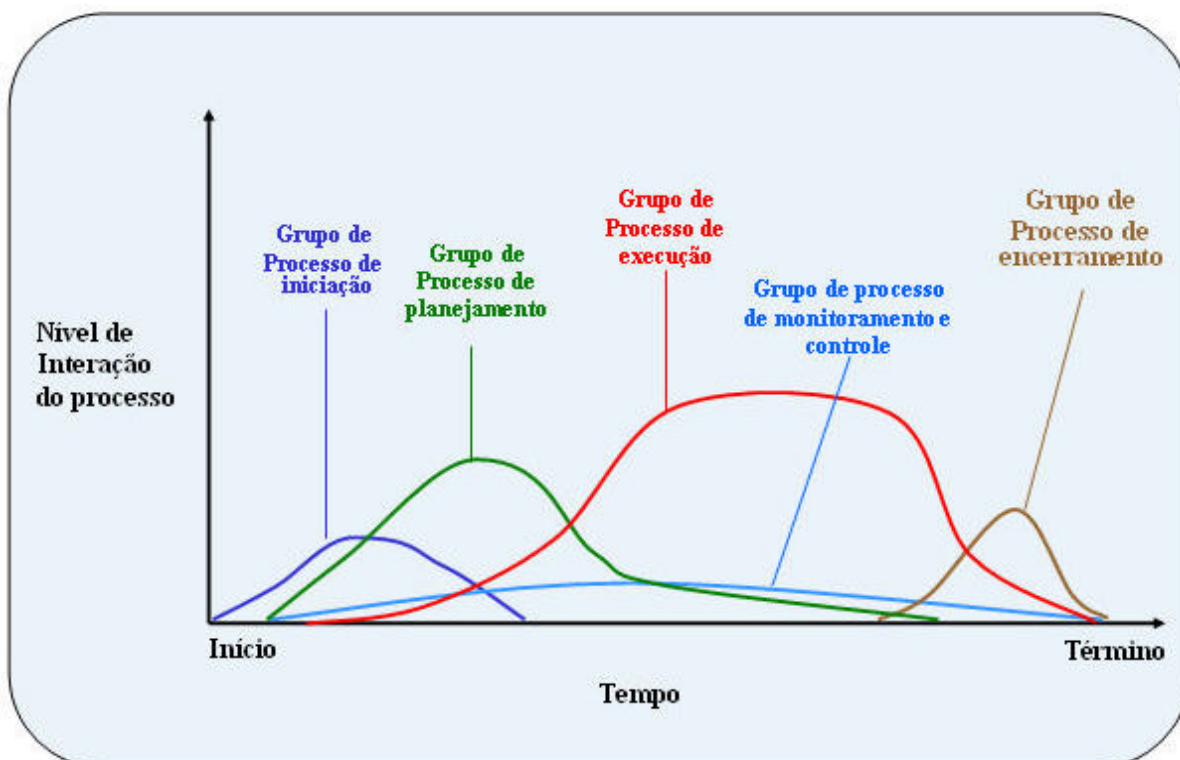


Figura 2.5 - Interação de grupos de processos em um projeto.

Fonte - PMI (2004, p. 68).

Cleland e Ireland (2002, p. 11) e Cleland (1999, p. 47) salientam que o gerenciamento de projetos é executado mediante um processo de gerenciamento, em que as principais funções gerenciais, utilizam recursos para atingir os objetivos do projeto. Essas funções são mostradas na Figura 2.6 e discutidas a seguir:

- ✓ **Planejamento:** desenvolvimento dos objetivos, metas e estratégias que proporcionem o compromisso de recursos para apoiar o projeto – O que nós estamos almejando e por quê?
- ✓ **Organização:** identificação dos recursos humanos e materiais necessários, fornecendo uma distribuição adequada destes, e o estabelecimento de papéis individuais e coletivos dos membros das equipes de projetos, que agem como um ponto focal para o emprego desses recursos. Autoridade e responsabilidade são a “cola” que mantém uma organização unida – O que está envolvido e por quê?
- ✓ **Motivação:** o processo de estabelecimento de um sistema cultural que faça vir à tona o melhor que as pessoas podem fazer em seu projeto de trabalho – O que traz o melhor desempenho das pessoas no suporte

aos propósitos organizacionais?

- ✓ **Direção:** proporcionar a competência necessária de liderança para garantir a tomada e a execução de decisões que envolvem o projeto – Quem decide o que e quando?
- ✓ **Controle:** monitoração, avaliação e controle do emprego de recursos no projeto que sejam coerentes com ele e os planos organizacionais – Quem avalia os resultados e através de quais critérios?

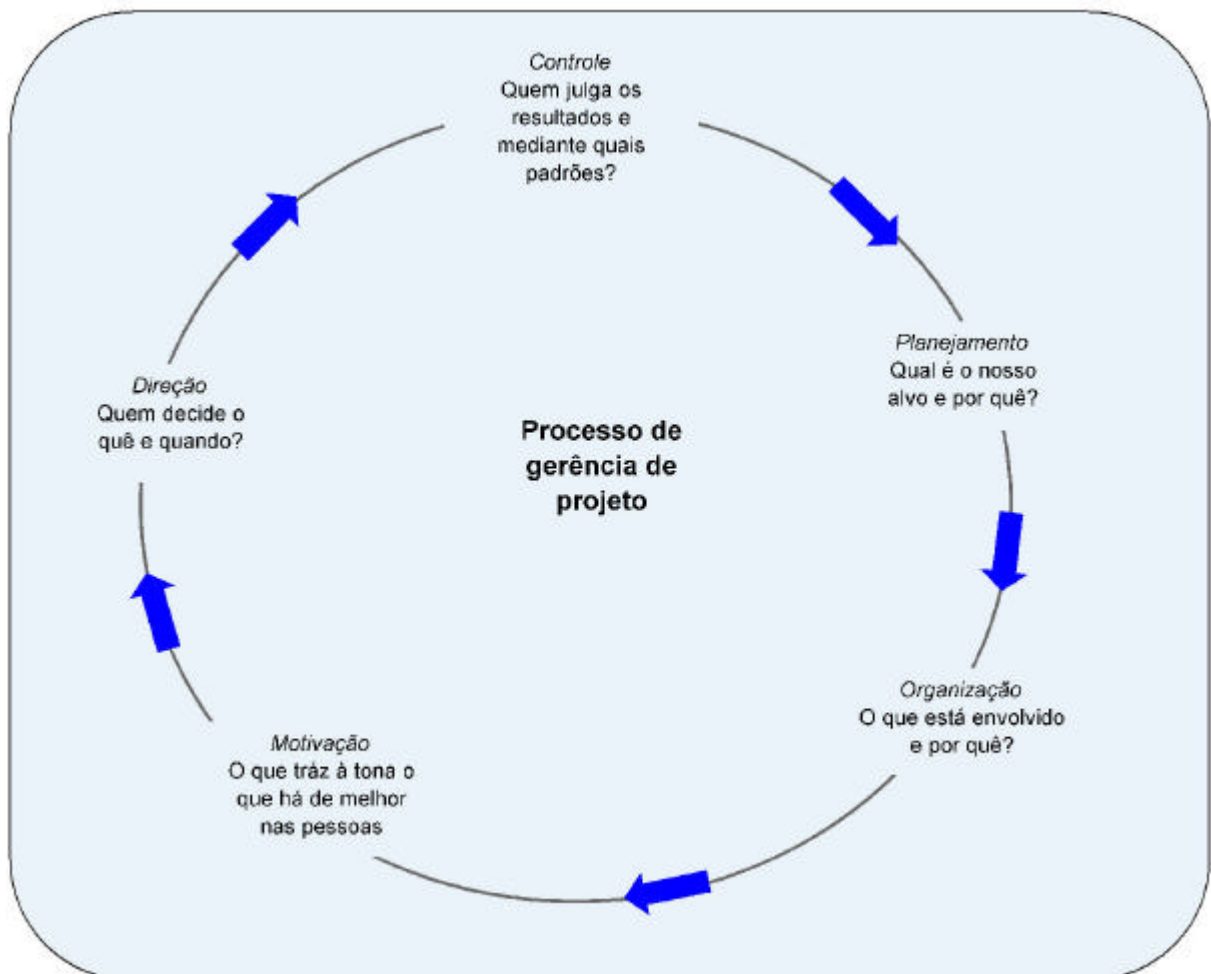


Figura 2.6 – Funções principais no gerenciamento de projetos.

Fonte – Adaptado de Cleland e Ireland (2002, p. 13).

2.1.4 Gerenciamento pelo ciclo de vida dos projetos

2.1.4.1 O ciclo de vida de um projeto e suas fases

O gerenciamento pelo ciclo de vida vem sendo utilizado, há bastante tempo, como um modelo para o gerenciamento de projetos. Uma das primeiras referências sobre o assunto foi publicada em 1944, pela *Institution of Civil Engineers - ICE*²⁷ (apud WIDEMAN, 2004, p. 2), reconhecendo uma abordagem sistemática para planejar os trabalhos públicos. Neste relatório, o ICE afirma que:

Para executar o trabalho eficientemente, é essencial que um esquema de operações seja primeiro, decidido por aqueles diretamente responsáveis pela execução [...]. Com esse planejamento, o trabalho pode ser dividido em uma série de operações, e evoluir através de uma seqüência ou operação ordenada [...]. Sem um programa a execução somente pode ser uma casualidade desordenada [...].²⁸

Outro texto abrangente sobre gerenciamento de projetos foi apresentado por Archibald²⁹ (apud WIDEMAN, 2004, p. 2), em seu livro *Managing high-technology programs and projects*, onde ele explica todo o período de vida de um projeto salientando que:

O ciclo de vida do projeto possui pontos identificáveis de início e término, podendo ser associado a uma escala de tempo. Um projeto passa por diversas fases distintas à medida que amadurece. O ciclo de vida inclui todas as fases, desde o princípio até o encerramento do projeto, e as interfaces entre as fases não são claramente separadas, exceto nos casos onde se propõem, entre duas fases distintas, uma aceitação ou autorização formal para prosseguir.³⁰

²⁷ Post War National Development Report approved for publication by the Institution of Civil Engineers, Great Britain, 1944.

²⁸ Tradução própria.

²⁹ Archibald, R. D. , *Managing High-Technology Programs and Projects*, R. D. Archibald, Wiley, NY, 1976, p. 19. Este livro, se encontra agora, em sua terceira edição, 2003.

³⁰ Tradução própria.

Em cada fase de um projeto, são criados novos e diferentes produtos ou resultados intermediários, sendo que o produto de uma fase gera insumos para a fase seguinte (Figura 2.7). Pontos chaves de decisão ocorrem na conclusão de cada fase do projeto, sendo que as principais revisões do projeto ocorrem nestes pontos, resultando na autorização para prosseguir para a próxima fase, cancelamento do projeto ou a repetição de uma fase anterior (ARCHIBALD, 1992).

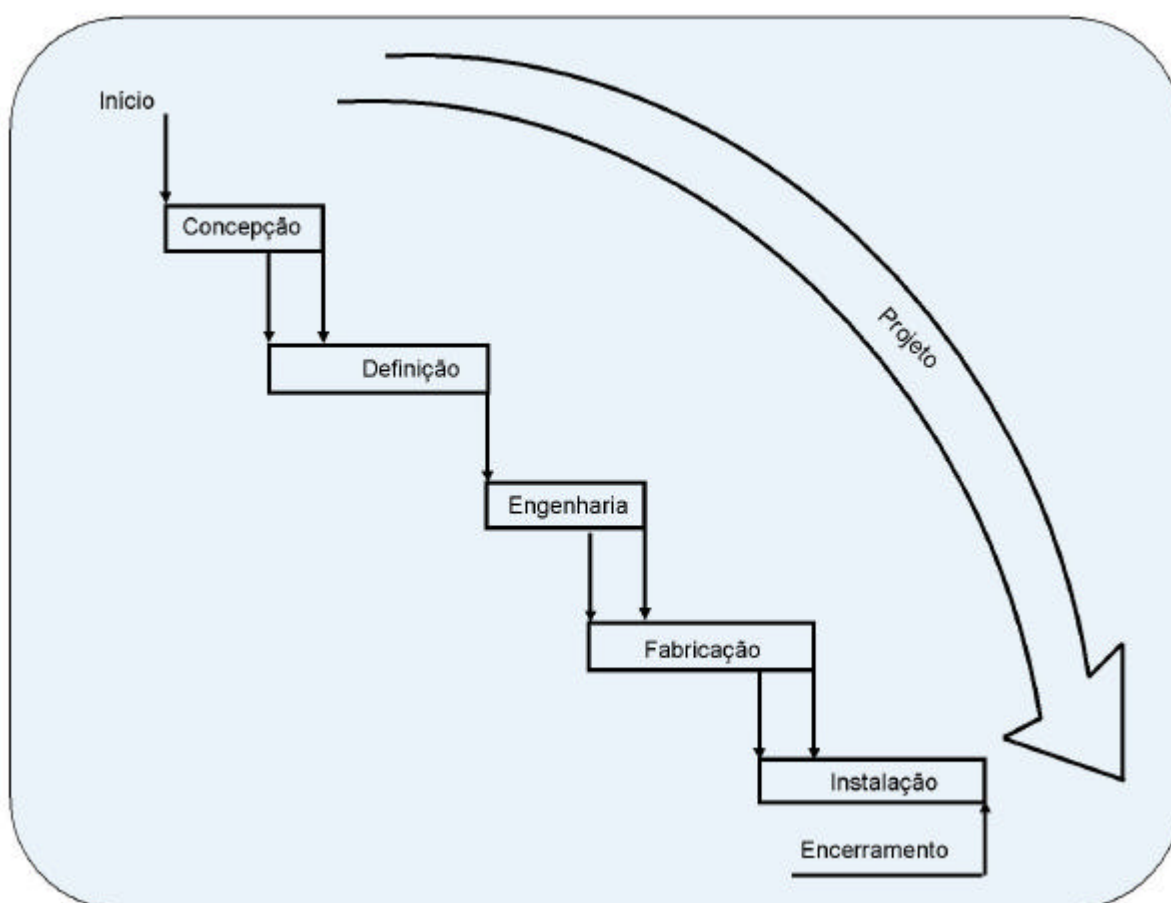


Figura 2.7 – Ciclo de vida do projeto conforme Archibald.

Fonte – Adaptado de Archibald (1992, p. 28).

Em função da característica singular dos projetos, Wildeman (2004), ao contrário dos demais, questiona a utilização da palavra “ciclo”, salientando que o ciclo implica em um período de tempo para uma série de eventos, e a característica essencial de um ciclo é a repetição, que, entretanto, não é uma característica dos projetos, não sendo, portanto, um termo apropriado para ser utilizado em um projeto, que por

definição é singular. WILDEMAN sugere que o termo mais apropriado é “Período de Vida de um Projeto³¹”.

Em razão da característica temporária dos projetos, autores como Paul Dinsmore, John R. Adams, Stephen E. Barndt, Peter W. G. Morris, fazem analogia desta característica com a vida de uma pessoa ou de uma organização.

Dinsmore (1999, p. 133) explica que “os projetos são desenvolvidos dentro de um intervalo de tempo conhecido como ciclo de vida de projetos. Como os projetos, da mesma forma que as pessoas são, por definição, finitos, são projetados para serem concebidos e finalizados. Os projetos também possuem uma vida, passando por fases distintas durante seu tempo de vida”.

Segundo John R. Adams e Stephen E. Barndt em Cleland e King (1988, p. 207);

Uma organização de projetos é estabelecida por um período de tempo limitado para realizar um conjunto de objetivos, bem definidos e específicos, para conduzir uma nova idéia de um produto através de suas fases de conceito e desenvolvimento até o ponto em que o novo produto está disponível para o uso. Quando estes objetivos, cuidadosamente definidos, forem realizados, o projeto é considerado concluído e a organização de projetos é terminada. Portanto, um projeto tem um claro, finito, e bem definido ciclo de vida, um fato que tem sido usado há muito tempo, para diferenciar projetos das tradicionais organizações “funcionais” de longa duração.

Nos principais esforços atuais de gerenciamento de projetos, comentam John R. Adams e Stephen E. Barndt em Cleland e King (1988) que o patrocinador usualmente necessita desenvolver algum novo produto ou sistema, conforme parâmetros pré-determinados como, por exemplo, especificações de performance, restrições de tempo e limitações de orçamento. Desse modo, definem-se os objetivos do projeto, e, uma vez que os objetivos são atendidos, o projeto perde seu propósito de existir e se dissolve. Devido a esta característica, a organização voltada a projetos exhibe um ciclo de vida previsível. É freqüentemente usado o termo “nascido” quando a organização patrocinadora aceita a responsabilidade do problema e decide realizar o objetivo através do gerenciamento de projetos. Depois, ele “cresce” e expande através das fases iniciais de planejamento e de execução,

³¹ Project life span, no original.

com maiores incrementos de dinheiro, pessoal, instalações de produção, gerenciamento do tempo e outros recursos que são dedicados aos esforços. Ele então “diminui” conforme os objetivos se aproximam do encerramento e os recursos que não são mais necessários são re-designados para outro trabalho, e ele “morre” quando a responsabilidade por um novo produto ou sistema é transferida para a organização funcional, que é o cliente final de todo o projeto. A organização voltada ao projeto existe principalmente para focar a atenção dos especialistas técnicos e de gerenciamento, na tarefa de resolução dos problemas específicos, através do período de existência desse problema.

Peter W. G. Morris em Cleland e King (1988, p. 19), enfatiza que:

Os projetos (como pessoas) possuem um ciclo de vida que envolve um desenvolvimento gradual à medida que as definições são estabelecidas e as características do trabalho são desenvolvidas, ocorrendo uma forte implementação conforme o trabalho é realizado, e um encerramento de fase ocorre à medida que o trabalho é concluído e o projeto é desacelerado.³²

Outro aspecto a ser evidenciado é que não existe consenso sobre a terminologia e quantidade de fases (ou estágios). Diferentes autores identificam de três a seis fases (ou estágios) distintas. Todavia, existe consenso para indicar que cada fase do projeto envolve diferentes considerações de gerenciamento e diferentes tarefas para serem executadas, ocasionando a existência de duas distintas e diferentes opiniões ou pontos de vista sobre projeto.

A grande maioria dos autores de publicações referentes ao gerenciamento de projetos tem utilizado o ciclo de vida como uma metodologia de gerenciamento de projetos. Embora não haja um consenso absoluto, a maiorias deles compartilha grande parte dos objetivos do ciclo de vida.

Conforme o PMBOK (2004, p. 19), “os projetos podem ser divididos em fases, que são conhecidas coletivamente como o ciclo de vida do projeto, para oferecer um melhor controle gerencial e possibilitar a ligação com as operações rotineiras da organização executora”.

“Quando um projeto é dividido em fases, os grupos de processos são normalmente repetidos em cada fase, durante toda a vida do projeto, para conduzir,

³² Tradução própria.

eficientemente, o projeto ao seu término (Figura 2.8)³³ (PMBOK, 2004, p. 68).

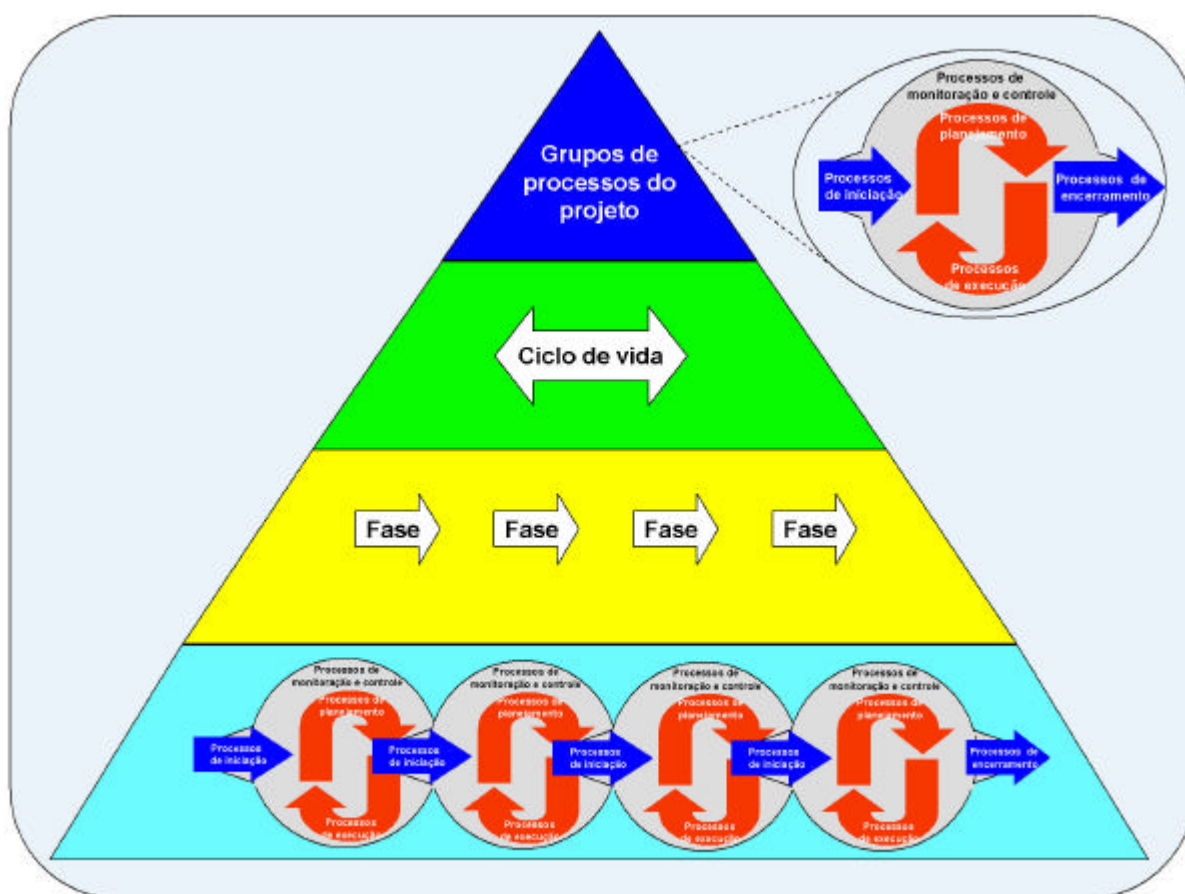


Figura 2.8 – Triângulo dos grupos de processos de gerenciamento de projeto.

Fonte – PMBOK (2004, p. 69).

O gerenciamento de um projeto de grande porte é muito complexo, dificultando a compreensão de todas as ações que precisam ser tomadas, para planejar e executar com sucesso o projeto. Para se ter um perfeito entendimento do significado de cada parte, e da forma como ela se encaixa no cenário do projeto, torna-se necessário a divisão do projeto em partes. Este procedimento possibilitará um melhor entendimento dessas partes do projeto, seus pacotes de trabalho, seus fluxos lógicos de atividades e das fases que ele percorrerá em sua evolução, crescimento e declínio (CLELAND, 1994).

Maximiano (1997, p. 29), comenta que:

³³ Tradução própria.

Na maioria dos casos, o ciclo de vida dos projetos tem quatro fases principais. Normalmente, antes que uma fase termine, a próxima fase é iniciada. É comum a ocorrência de sobreposição de fases, ou seja, a necessidade de se iniciar uma nova fase quando a anterior se aproxima de seu final.

As quatro fases mais comuns no ciclo de vida de muitos projetos são:

- ✓ **Preparação:** fase que é também chamada de fase de conceituação ou concepção, ou, ainda, fase de desenho do projeto³⁴. Nesta fase, define-se o objetivo do projeto, com base no esclarecimento das expectativas de seus clientes, e se preparam os planos preliminares do projeto. Para determinados tipos de projetos, como os acadêmicos, esta é a fase de seleção do tema e definição do problema;
- ✓ **Estruturação:** fase em que predominam as atividades de detalhamento dos planos operacionais e organização da equipe do projeto. Esta é a fase em que se mobilizam os meios e recursos para a realização do projeto;
- ✓ **Desenvolvimento e implementação:** fase em que os planos são colocados em prática. O projeto começa a ser efetivamente realizado. A solução é desenvolvida e implementada;
- ✓ **Encerramento:** o projeto chega ao término. Nesse ponto, idealmente, o projeto atingiu o resultado previsto. O encerramento, porém, não é o fim do projeto. Muitas atividades precisam ser realizadas depois do projeto terminar: implantação de soluções, manutenção, treinamento, venda de produtos e idéias, identificação e planejamento de novos projetos.

Kerzner, Cleland, Struckenbruck, Maximiano, Morris, Dinsmore, Archibald e o PMBOK reconhecem que as fases do ciclo de vida dos projetos são dependentes do tipo de tecnologia, natureza, tamanho, custo e complexidade dos projetos.

Kerzner (2006, p. 66) argumenta que:

Cada programa, projeto ou produto possui certas fases de desenvolvimento conhecidas como fases do ciclo de vida. Um melhor entendimento dessas fases permite aos gerentes e executivos uma melhor realização e controle dos recursos para atingir os objetivos.

Durante os anos que passaram, há pelo menos um consenso parcial sobre

³⁴ Project design, no original.

as fases do ciclo de vida de um produto. Elas incluem:

- ✓ Pesquisa e desenvolvimento;
- ✓ Introdução no mercado;
- ✓ Crescimento;
- ✓ Maturidade;
- ✓ Deterioração;
- ✓ Morte.

Entretanto, até hoje, em função da natureza complexa e das diversidades dos projetos, não há consenso entre indústrias ou até organizações, dentro de uma mesma indústria, sobre as fases do ciclo de vida de um projeto.

As definições teóricas das fases do ciclo de vida de um sistema podem ser aplicadas em um projeto. Estas fases incluem:

- ✓ Conceituação;
- ✓ Planejamento;
- ✓ Teste;
- ✓ Implementação;
- ✓ Encerramento.³⁵

A Tabela 2.2 apresentada por Kerzner (2006), identifica as várias fases do ciclo de vida normalmente usadas no gerenciamento de projetos. Mesmo em indústrias experientes de gerenciamento de projetos, como a de construção, pode-se pesquisar em dez diferentes organizações deste setor, e encontrar dez diferentes definições, para as fases do ciclo de vida.

Ainda segundo Kerzner (2006, p. 69) “a alta administração é responsável por uma revisão periódica dos principais projetos, e este procedimento, deve ser realizado, no mínimo, na conclusão de cada fase do ciclo de vida”.

³⁵ Tradução própria.

Engenharia	Fabricação	Programação Computacional	Construção
. Início	. Formação	. Conceituação	. Planejamento, coleta de dados e procedimentos
. Definição	. Desenvolvimento	. Planejamento	. Estudos e Engenharia básica
. Principal	. Produção	. Definição e Design	. Revisão principal
. Término	. Acabamento	. Implementação	. Engenharia detalhada
	. Auditoria Final	. Conversão	. Engenharia detalhada / superposição da construção
			. Construção
			. Teste e comissionamento

Tabela 2.2 - Definições de fases do ciclo de vida.

Fonte - Kerzner (2006, p. 71).

Cleland (1999, p. 51) comenta que as fases do ciclo de vida de um projeto, e o que acontece com o projeto, durante as fases do seu ciclo de vida, dependem da natureza distinta do projeto. A Figura 2.9 apresenta uma noção geral do ciclo de vida de um projeto genérico, para mostrar como o projeto começa com um modelo conceitual, passa através das definições de seu custo, programação e objetivos de desempenhos técnicos, torna-se operacional, e vai acabar em uma fase de desinvestimento sendo provavelmente substituído por um novo projeto.

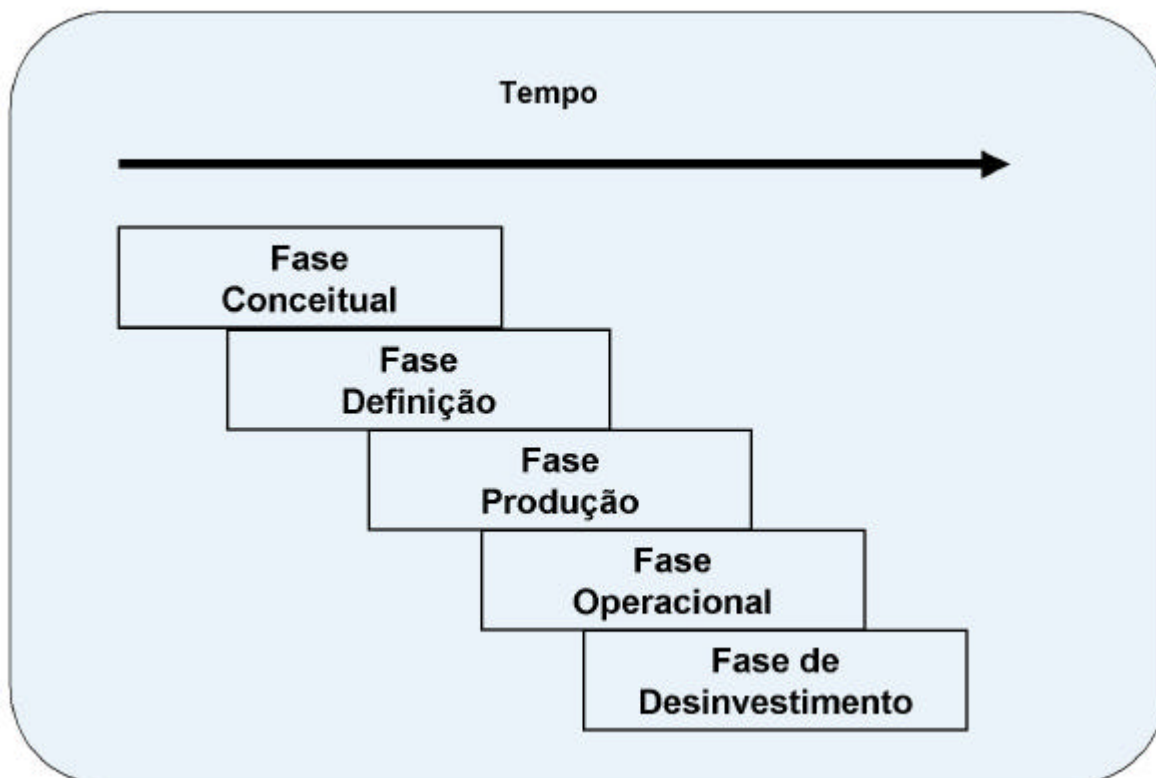


Figura 2.9 - Modelo genérico de um ciclo de vida.

Fonte - Cleland (1999, p. 52).

Maxiamo (1997) e Struckenbruck³⁶ (apud WIDEMAN, 2004, p. 3) explicam que um projeto consiste de fases seqüenciais, conforme mostrado na Figura 2.10. Essas fases são extremamente úteis no planejamento de um projeto, uma vez que elas fornecem uma estrutura para a orçamentação, força de trabalho, alocação de recursos e para programar marcos e revisões de projeto. O método de divisão de um projeto em fases pode diferenciar um pouco de indústria a indústria, de produto a produto, mas as fases mostradas na figura são básicas.

³⁶ STUCKENBRUCK, Dr. L. C., (Ed.), The Implementation of Project Management, Project Management Institute, PA, Wiley, 1981, p. 2-3.

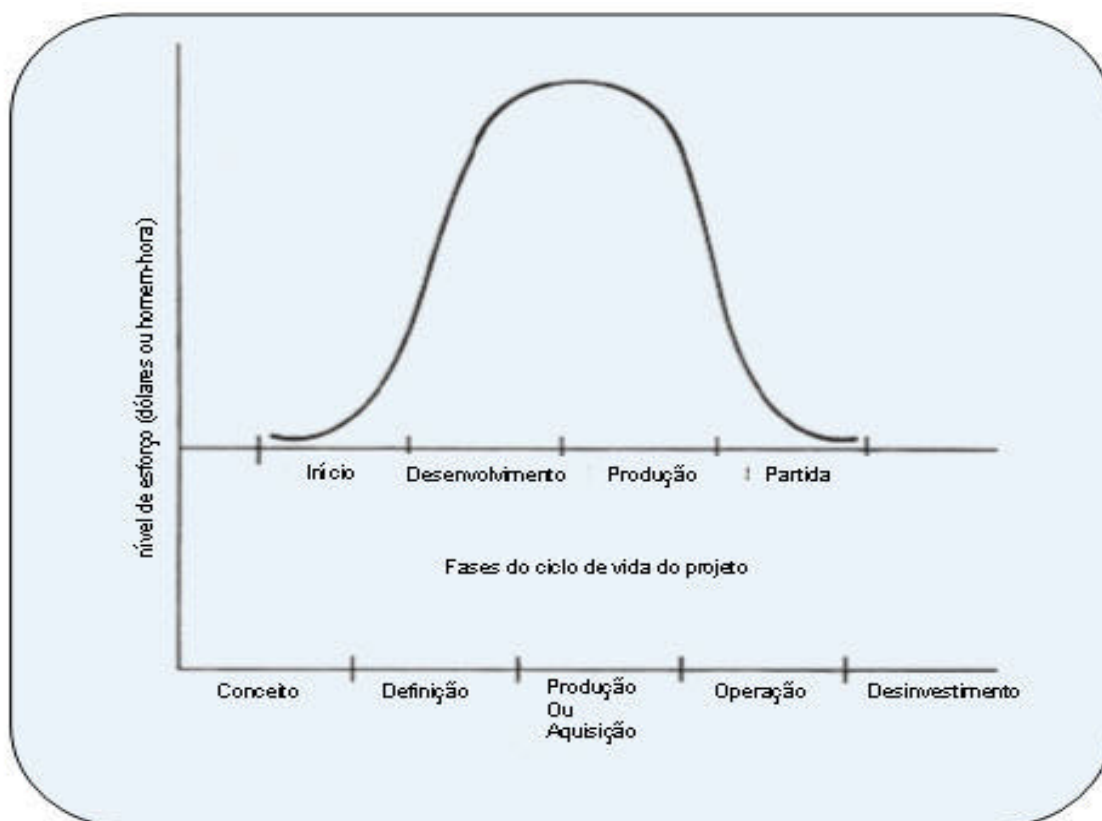


Figura 2.10 - Ciclo de vida do sistema conforme Stuckenbruck.

Fonte - Wideman (2004, p. 4).

Stuckenbruck³⁷ (apud WIDEMAN, 2004, p. 5) estabelece, através de observações, um segundo propósito que se preocupa em determinar as ações que atuam durante a implementação de um projeto, que é a combinação da fase de concepção ou iniciação e a fase de crescimento ou organização, salientando que é aconselhável dividir o projeto em fases conforme mostrado na Figura 2.11. Este esquema de fases é aplicável a projetos como, por exemplo, os de construção, possibilitando com muita clareza, a aplicação do dinheiro, através da plotagem das fases versus o esforço total.

³⁷ STUCKENBRUCK, Dr. L. C., (Ed.), The Implementation of Project Management, Project Management Institute, PA, Wiley, 1981, p. 2-3.

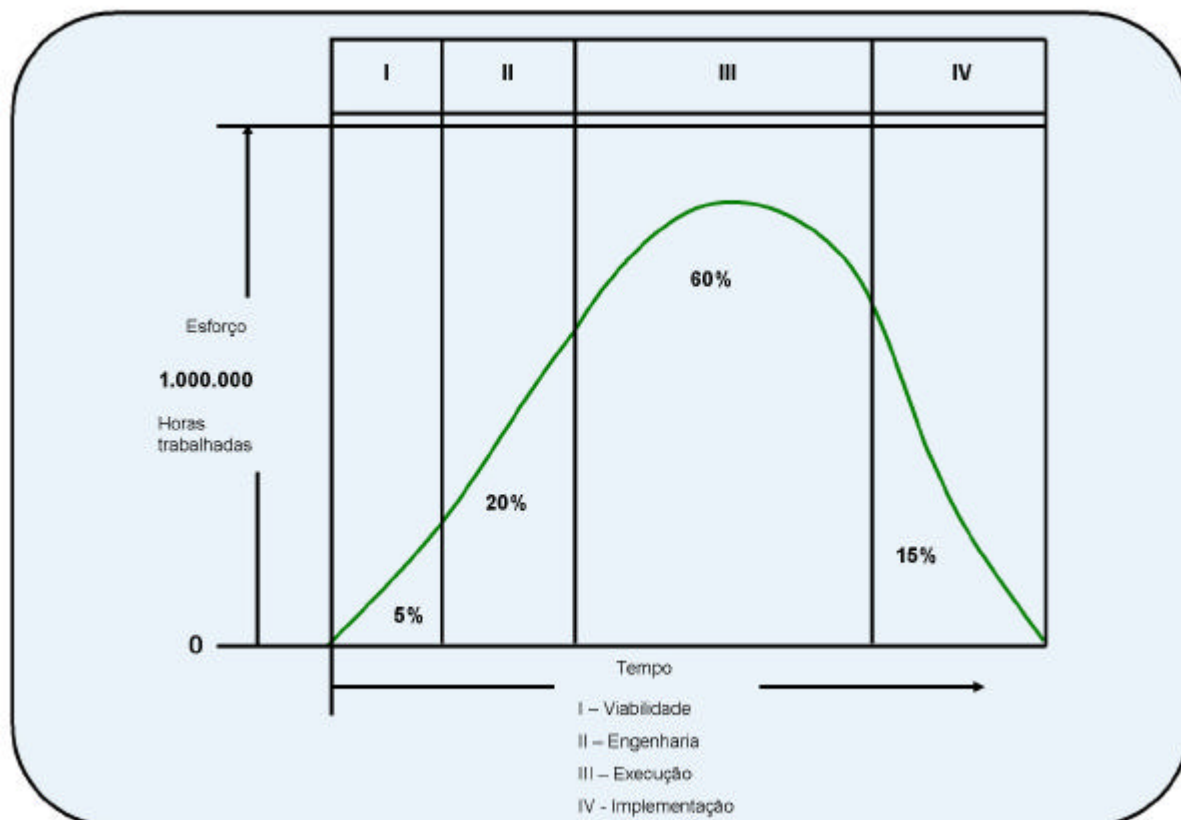


Figura 2.11 - Ciclo de vida do carregamento de um esforço – Stuckenbruck.

Fonte - Wideman (2004, p. 5).

Peter W. G. Morris em Cleland e King (1988) salienta que, enquanto existem várias definições para o ciclo de vida do projeto (ou programa) (Figura 2.12), o seqüenciamento necessário é invariante, embora (assim como as pessoas) às vezes não completamente reconhecido ou respeitado.

Um projeto começa com uma idéia incipiente que é explorada para a viabilidade técnica e financeira no estágio de pré-viabilidade ou viabilidade. A capacidade é decidida, as localizações são escolhidas, o financiamento é disponibilizado, o cronograma e orçamento geral são acordados e a organização preliminar é configurada. No final desta fase, deve existir um ponto formal de decisão “prosseguir ou não”³⁸. A próxima fase é a de Engenharia³⁹, em que o trabalho é organizacionalmente e gerencialmente similares à primeira fase, exceto por esta fase ser mais ampla e detalhada. A definição técnica de projetos é expandida

³⁸ “Go/no go”, no original.

³⁹ Design, no original.

(embora em geral ainda em um nível razoavelmente estratégico); a programação, o orçamento e o financiamento são reavaliados, a estratégia de contratação é definida; são obtidas as licenças, e os sistemas de infra-estrutura e logística são definidos.

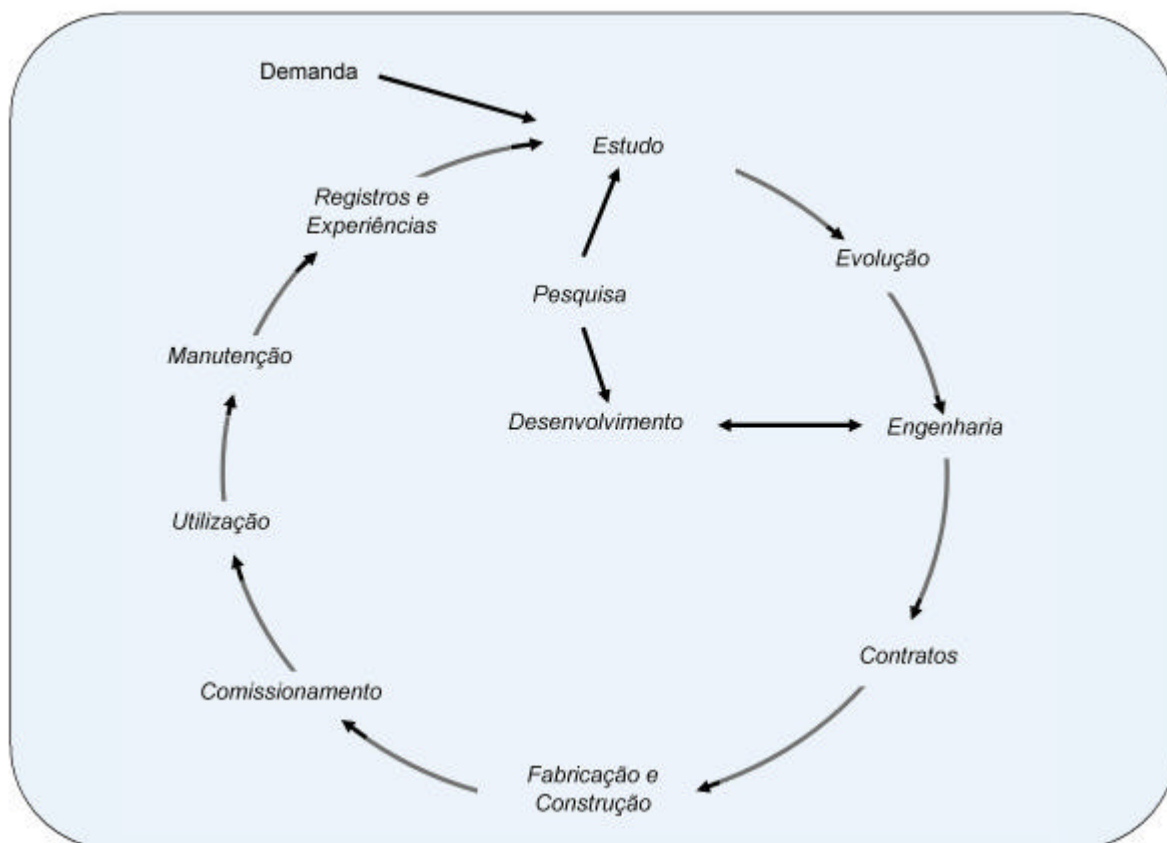


Figura 2.12 - Modelo típico de Warne para projetos industriais.

Fonte - Peter W. G. em Cleland e King (1988, p. 20).

Na fase três, fabricação, construção e instalação (ou produção), os equipamentos são procurados, o trabalho civil é iniciado, os equipamentos e as instalações são construídos e instalados.

Na quarta e última fase, Comissionamento⁴⁰ e Partida⁴¹, que sobrepõe à terceira fase e envolve o planejamento de todas as atividades necessárias para a aceitação e a operação do projeto.

Conforme Dinsmore (1993, p. 24):

⁴⁰ Turn-over, no original.

⁴¹ Start-up, no original.

O conceito mais importante para os executivos recordarem no relacionamento com o ciclo de vida é que cada fase necessita de uma abordagem gerencial específica. Gerentes de projetos bem sucedidos sabem como trocar a ênfase de um estágio para o próximo, começando reflexivamente, movendo-se através do planejamento de recursos, conduzindo uma implementação real e finalmente pressionando para alcançar o encerramento do negócio (Figura 2.13).

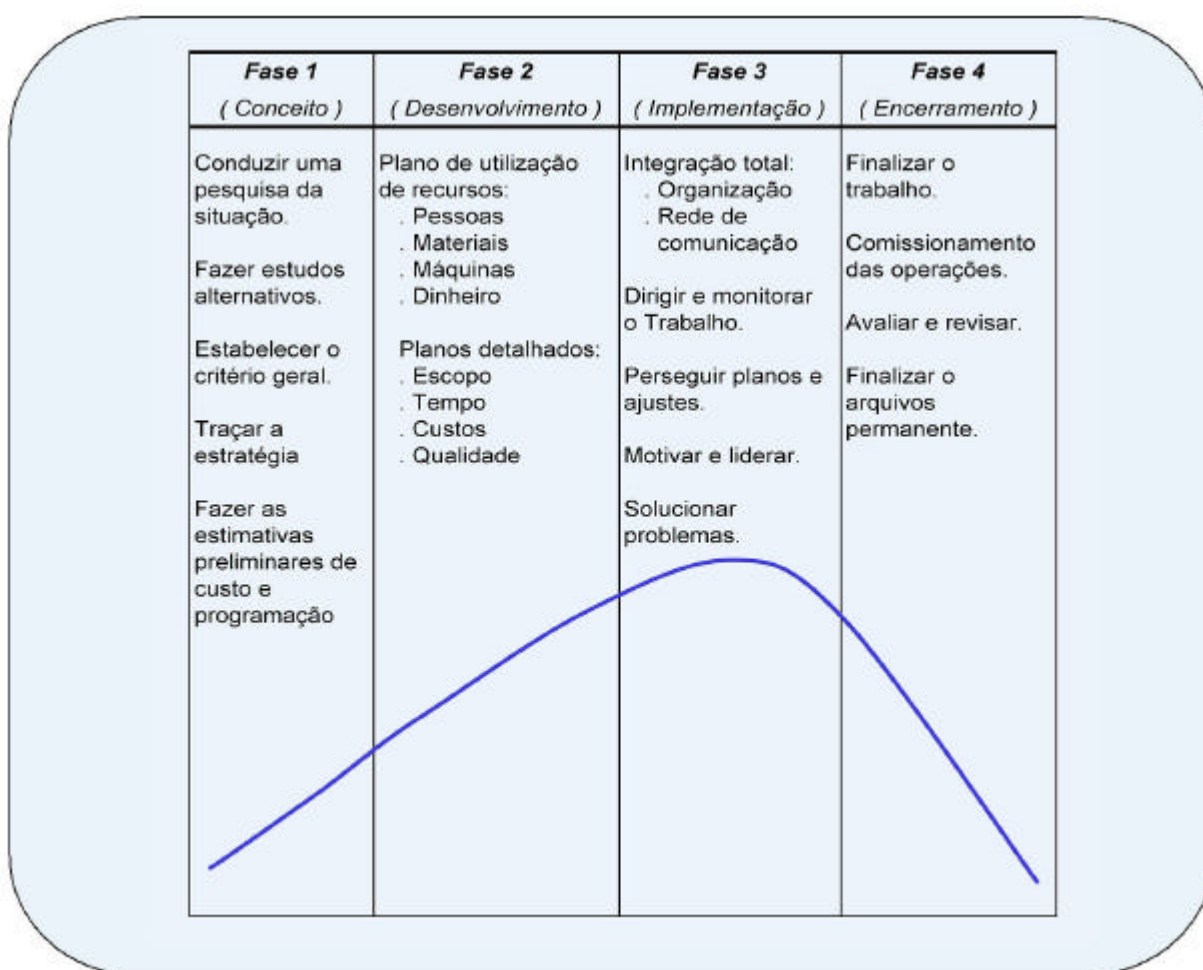


Figura 2.13 - Atividades típicas durante as fases do ciclo de vida.

Fonte - Dinsmore (1993, p. 24).

Os aspectos referentes aos produtos, serviços ou resultados a serem produzidos em cada fase do ciclo de vida, a aceitação desses produtos, serviços ou resultados, o encerramento da respectiva fase e a autorização para o início da próxima fase, são detalhadamente abordados e discutidos pelo PMBOK, CLELAND, ADAMS E BARNDT.

Em projetos com várias fases, os processos de iniciação são realizados durante as fases subseqüentes, para validar as premissas e as decisões tomadas, durante os processos originais de desenvolvimento do termo de referência⁴², (PMBOK, 2004). A revisão dos processos de iniciação no início de cada fase ajuda a manter o foco do projeto, na necessidade de negócio, para o qual ele foi empreendido, possibilitando a tomada de decisão, da continuidade ou não, do projeto ou se ele deve ser atrasado ou descontinuado. Essa repetição dos processos de iniciação em cada fase subseqüente também permite que o projeto seja interrompido se a necessidade de negócio não mais existir ou se o projeto for incapaz de satisfazê-la.

A conclusão e a aprovação de um ou mais produtos a serem entregues, caracteriza uma fase do projeto. Um produto a ser entregue é um trabalho mensurável e verificável, como uma especificação, um estudo de viabilidade, um documento da engenharia detalhada ou um protótipo. Alguns produtos podem ser gerados pelo gerenciamento de projetos, outros são produtos finais ou componentes dos produtos finais. Os produtos a serem entregues, portanto as fases, são partes de um processo geralmente seqüencial criado para garantir o controle adequado do projeto e para obtenção do produto ou serviços desejados, que é o objetivo do projeto. PMBOK (2004, p. 22).⁴³

Ainda segundo o PMBOK (2004, p. 22), uma fase do projeto é geralmente concluída por meio da revisão do trabalho realizado e dos produtos a serem entregues, e uma revisão gerencial é freqüentemente realizada, para se chegar à decisão de iniciar as atividades da próxima fase sem o encerramento da fase atual, por exemplo, quando se decide pela sobreposição, ou, de forma similar, uma fase pode ser encerrada sem a decisão de iniciar outras fases. Isso, por exemplo, quando o projeto é concluído ou quando o risco é considerado alto demais para permitir a continuidade do projeto.

Portanto, a conclusão formal de uma fase não inclui a autorização da fase subseqüente. As revisões de final de fase são chamadas de saídas de fase, portões de fases.

O gerenciamento de um projeto é igual ao gerenciamento de qualquer atividade, e

⁴² Develop Project Charter, no original.

⁴³ Tradução própria.

dois passos fundamentais estão envolvidos nesse gerenciamento: tomar e implementar decisões. A utilização de um modelo de ciclo de vida do projeto possibilita a identificação e a compreensão do tamanho e da vida do projeto e como um meio de identificação das funções gerenciais envolvidas no ciclo de vida do projeto (CLELAND, 1994).

Como exemplo, Cleland (1994, p. 53) cita:

O Departamento de Defesa (DOD) que utiliza um conceito de ciclo de vida no gerenciamento do desenvolvimento de sistemas de armas e outros sistemas de defesa. Uma recente versão do ciclo de vida da U.S. Air Force, identifica um número de fases, cada uma delas com conteúdos específicos e abordagens gerenciais. Entre as várias fases, existem **pontos de decisão**⁴⁴, nos quais são tomadas decisões relativas ao início, ou não, da próxima fase a ser empreendida. Abaixo são apresentadas as fases utilizadas no exemplo do DOD:

- ✓ **A fase conceitual:** Durante esta fase, as bases técnicas, militares, e econômicas são estabelecidas, e a abordagem do gerenciamento é formulada;
- ✓ **A fase de validação:** Durante esta fase, as principais características do programa são validadas e refinadas, os riscos e custo são avaliados, resolvidos ou minimizados. É almejada uma decisão afirmativa relativa ao trabalho a ser desenvolvido, quando o sucesso e a realidade dos custos for suficiente para demandar passagem para a próxima fase;
- ✓ **A fase de desenvolvimento em grande escala:** Na terceira fase, o projeto, a fabricação e os testes estão concluídos. Os custos são analisados para assegurar que o programa está pronto para seguir para a fase de produção;
- ✓ **A fase de produção:** Neste período, o sistema é produzido e entregue como um sistema efetivo, econômico e suportável. Quando esta fase inicia, o sistema de armas já alcançou seu estado de operação e é comissionado para o uso do comando;
- ✓ **A fase de distribuição:** Nesta fase, o sistema de armas está atualmente desenvolvido como uma organização de combate integral ou unidade de

⁴⁴ O grifo é do autor.

suporte em algum lugar da Força Aérea.⁴⁵

John R. Adams e Stephen E. Barndt em Cleland e King (1988, p. 209) explicam que “conforme o projeto prossegue por meio de seu ciclo de vida, ele passa através de uma seqüência identificável de fases, que se distinguem pelo tipo de tarefas características de cada fase, e freqüentemente através de pontos formais de decisão, que determinam se o projeto foi bem sucedido nas fases anteriores, para então continuar para a próxima fase⁴⁶”.

Através de um texto que foi pouco reconhecido na época, Wideman (2004) tenta distinguir entre o ciclo de vida do negócio corporativo, o ciclo de vida do produto / instalação e o ciclo de vida do projeto. A Figura 2.14 apresenta talvez o primeiro reconhecimento formal de que os projetos sempre existiram em um “ambiente” fechado, seja ele o governo, setores privados ou não lucrativos.

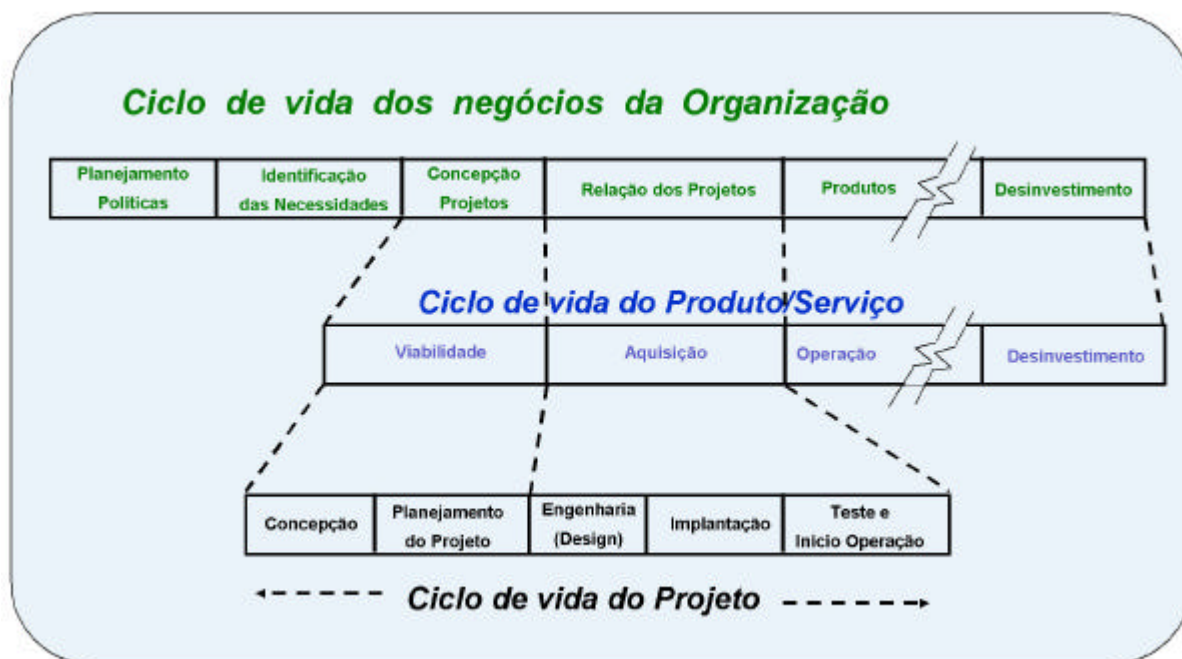


Figura 2.14 - Comparação entre os ciclos de negócios corporativos, de instalação/produto e de projeto.

Fonte - Wildeman (2004, p. 6).

⁴⁵ Tradução própria.

⁴⁶ Tradução própria.

2.1.4.2 Modelos de ciclos de vida do projeto

Os ciclos de vida normalmente utilizados em engenharia de software são: cascata, prototipagem, espiral, incremental e adaptativo.

- ✓ **Cascata:** Wideman (2004) comenta que a indústria de desenvolvimento de software parece ter encontrado o seu caminho através do modelo “cascata⁴⁷” do processo ou fluxo de trabalho de engenharia de software, mostrado na Figura 2.15, que foi elogiado por muitos, mas condenado por outros. Este modelo é tecnologicamente específico, mas sua diferença essencial é que a maioria das atividades se sobrepõe de forma significativa. Entretanto, a real dificuldade com este modelo é a necessidade essencial do desenvolvimento de software para progredir de forma iterativa. WIDEMAN (2004) e KEZSBOM; SCHILLING e EDWARD (1989) apresentam exemplos de aplicação do modelo “*waterfall*” em projetos de software. As Figuras 2.15 e 2.16 apresentam exemplos destes ciclos.

Segundo Pressman (1995, p. 34) “o ciclo de vida em cascata é o paradigma mais antigo e o mais amplamente usado da engenharia de software, mas, tem surgido uma grande quantidade de críticas à este modelo”.

⁴⁷ Waterfall, no original.

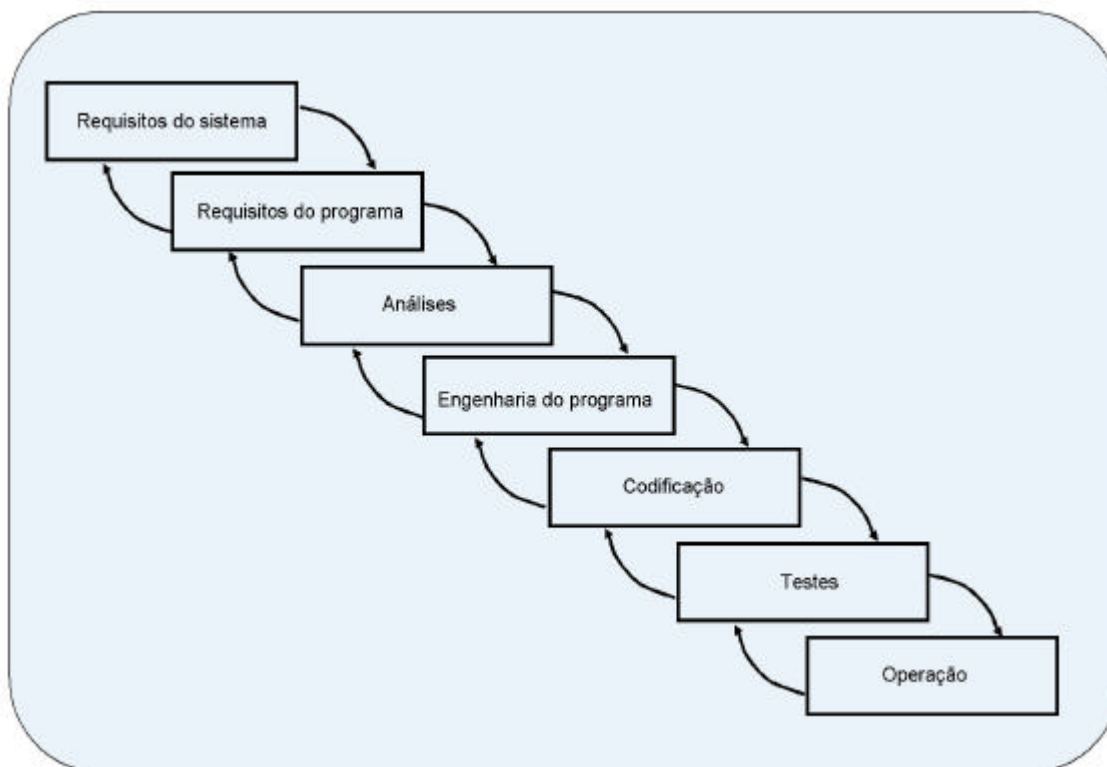


Figura 2.15 - Modelo convencional de ciclo de vida em cascata (*waterfall*).

Fonte - Wideman (2004, p. 16).

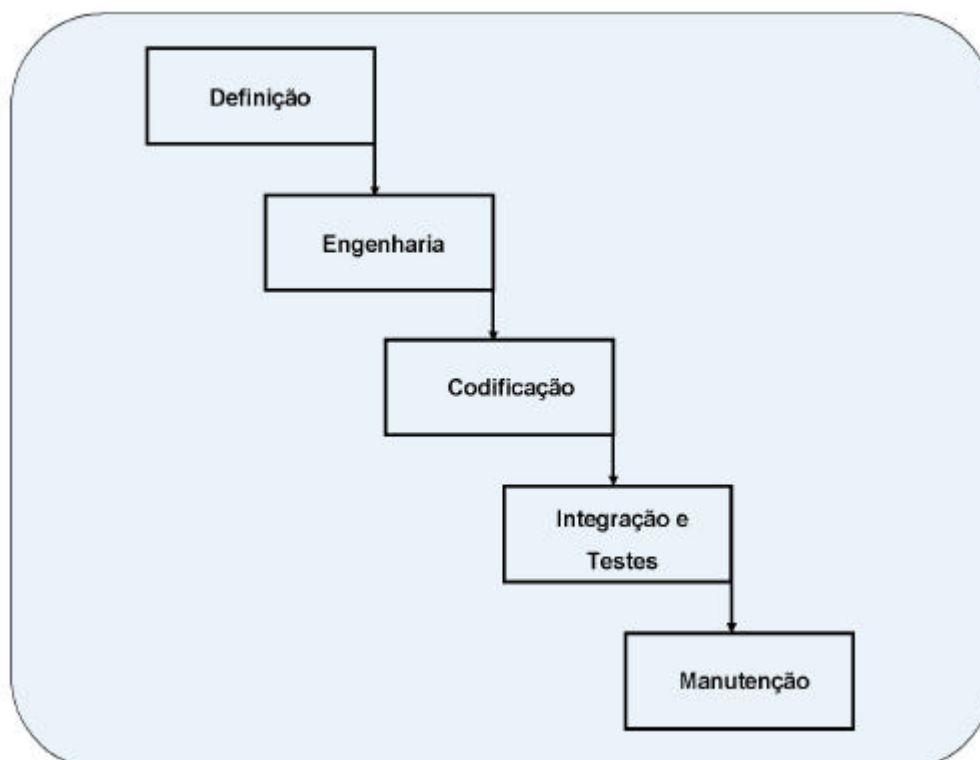


Figura 2.16 - Ciclo de vida de um software.

Fonte – Kezsbom; Schilling; Edward (1989, p. 75).

- ✓ **Protótipos:** Pressman (1995, p. 35) explica que “este modelo é utilizado quando os requisitos não estão suficientemente detalhados e/ou quando não existe certeza quanto ao desenvolvimento. Por meio de protótipos, cria-se um modelo do software a ser implementado”.
- ✓ **Espiral:** Boehm⁴⁸ (apud WIDEMAN, 2004, p. 15), “objetivando refletir uma estratégia iterativa apresenta através da Figura 2.17 um modelo em espiral”.

Pressman (1995, p. 34) comenta que “o modelo em espiral foi desenvolvido para abranger as melhores características tanto do ciclo de vida em cascata como da prototipagem, acrescentando, ao mesmo tempo, um novo elemento – a análise de riscos”.

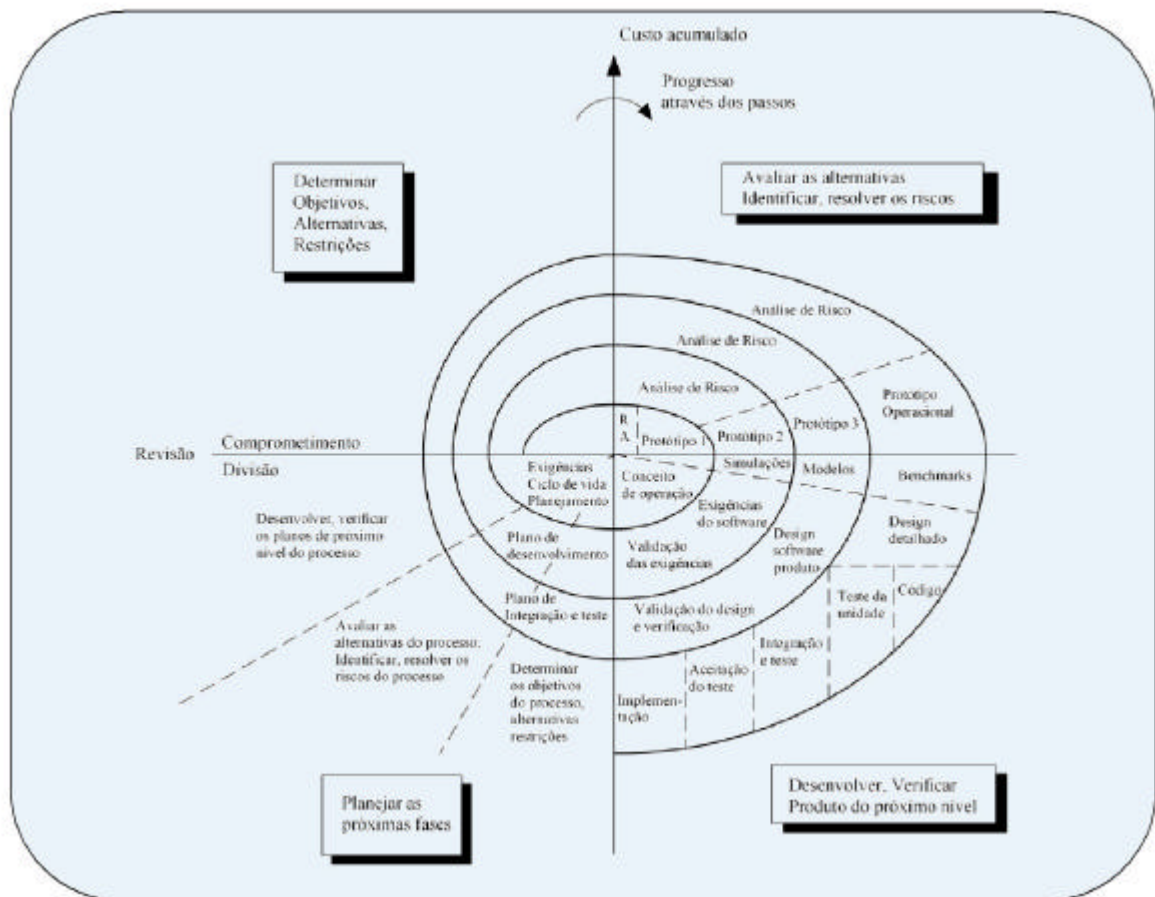


Figura 2.17 - Modelo espiral de Boehm para desenvolvimento de software.
Fonte - Wideman (2004, p. 15).

⁴⁸ Fonte desconhecida.

- ✓ **Incremental:** as fases de especificação, projeto e implementação são desdobradas em uma série de estágios, possibilitando a implantação parcial do sistema (Figura 2.18).

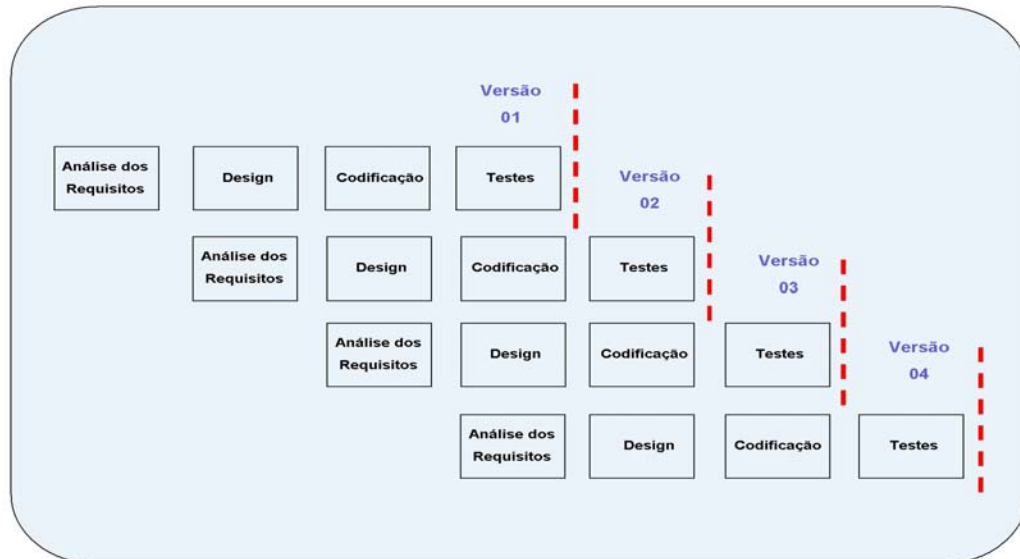


Figura 2.18 – Modelo incremental.
Fonte: Amaral (2002).

- ✓ **V:** Fish⁴⁹ (apud Wideman, 2004, p. 18) também apresenta o modelo em uma exposição em “V” conforme mostrado na Figura 2.19.

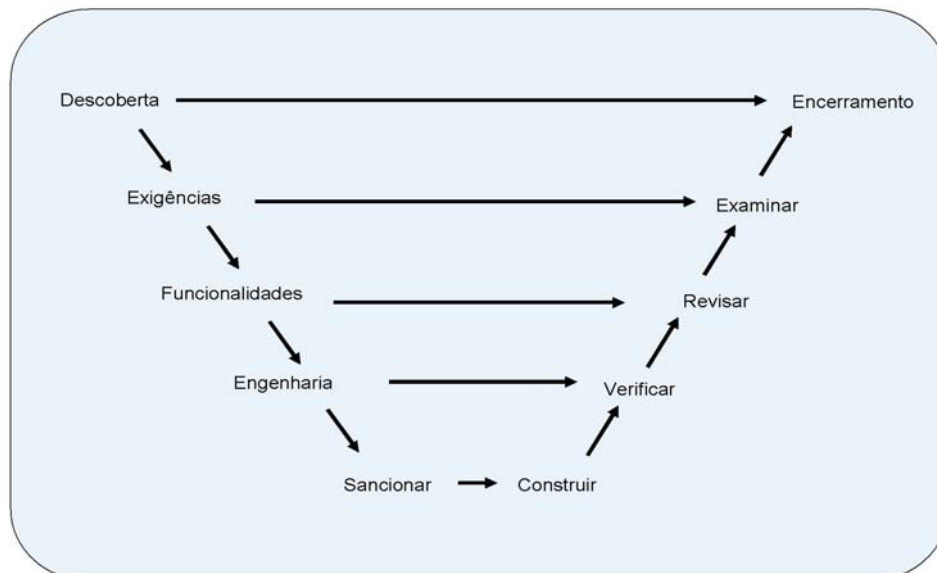


Figura 2.19 – Modelo em V de Fish.
Fonte – Wideman (2004, p. 18).

⁴⁹ Fish, E., An Improved Project Life Cycle Model, Pandora Consulting, <http://www.maxwideman.com/guests/plc/intro.htm> (Guest Department), 2002, updated 2003.

2.1.4.3 Gerenciando através do ciclo de vida do projeto

O gerente de projeto precisa aprender a conviver com uma variedade de problemas e oportunidades, cada uma em um estágio diferente de evolução e cada uma tendo diferentes relacionamentos com o projeto. Este contínuo fluxo de problemas e oportunidades, em um ciclo de vida contínuo, evidencia a necessidade de compreensão de um processo de gerenciamento de projetos que, se efetivamente e eficientemente planejado para ser executado, resulta na criação dos resultados do projeto, que complementam a estratégica organizacional (CLELAND 1994, p. 49).⁵⁰

O ciclo de vida do projeto contém uma série das principais fases no processo de conceituação, engenharia, desenvolvimento e colocação em operação dos produtos (*deliverables*) técnicos dos projetos. Estas principais fases são os elementos principais, em torno dos quais um projeto é gerenciado. O contexto de um ciclo de vida do projeto e a conceituação e o desenvolvimento deste ciclo de vida fornecem um modelo para o gerenciamento de projetos (CLELAND 1994).

Conforme Cleland (1994, p. 54) “uma das primeiras atividades de planejamento de um projeto, é desenvolver uma estimativa aproximada, das principais tarefas ou pacotes de trabalhos, a serem realizadas, em cada fase do ciclo de vida”.

Existem várias maneiras de olhar para um ciclo de vida de um projeto. Adams e Barndt comentam em Cleland e King (1988), que existe consenso geral para indicar que cada fase do projeto envolve diferentes considerações gerenciais e diferentes tarefas para serem executadas, conduzindo a duas diferentes visões do projeto (Tabela 2.3 e Figura 2.20).

A Tabela 2.3 identifica um projeto com quatro fases, especificando as ações gerais, que devem ser tomadas pela alta administração da organização patrocinadora, e mais tarde, durante cada fase, pelo gerente de projetos. A Figura 2.20, por outro lado, identifica as mesmas fases do ciclo de vida, definindo-as em termos do tipo de tarefa que deve ser realizada em cada fase, preparando a transição para a próxima fase. Atualmente, em pesquisas de alta tecnologia e desenvolvimento de programas, os pontos de transição entre as fases, podem ser marcados por uma revisão formal

⁵⁰ Tradução própria.

do programa, conduzida pela alta administração da organização patrocinadora. Estas revisões são realizadas para autorizar os desembolsos referentes aos recursos necessários, para o projeto prosseguir para a próxima fase, possibilitando assim a classificação dos projetos, de acordo com a fase do ciclo de vida que eles estão envolvidos, no momento do estudo, e para analisar as principais variáveis da organização, conforme seus efeitos nos projetos, durante as várias fases do ciclo de vida (ADAMS; BARNDT em CLELAND; KING, 1988).

Fase 1 Conceito	Fase 2 Planejamento	Fase 3 Execução	Fase 4 Encerramento
Determinar que um Projeto é necessário.	Define a abordagem organizacional do projeto.	Fazer o trabalho do projeto (ex. engenharia, construção, produção, ativação do site, testes, entrega, etc.)	Auxiliar na transferência do produto do projeto
Estabelecer metas.	Definir as metas do projeto		Transferir recursos humanos e materiais para as outras organizações.
Estimar recursos que a organização está disposta a comprometer.	Preparar a programação para a fase de execução.		Transferir ou completar compromissos.
"Vender" à organização a necessidade de uma abordagem por projetos	Definir e alocar tarefas e recursos.		Encerrar o projeto.
Fazer os compromissos pessoais chaves.	Construir a equipe de projetos.		Recompensar as pessoas.

Tabela 2.3 – Ações gerenciais por fase do projeto.

Fonte – John R. Adams e Stephen E. Barndt em Cleland e King (1988, p. 210 e 211).

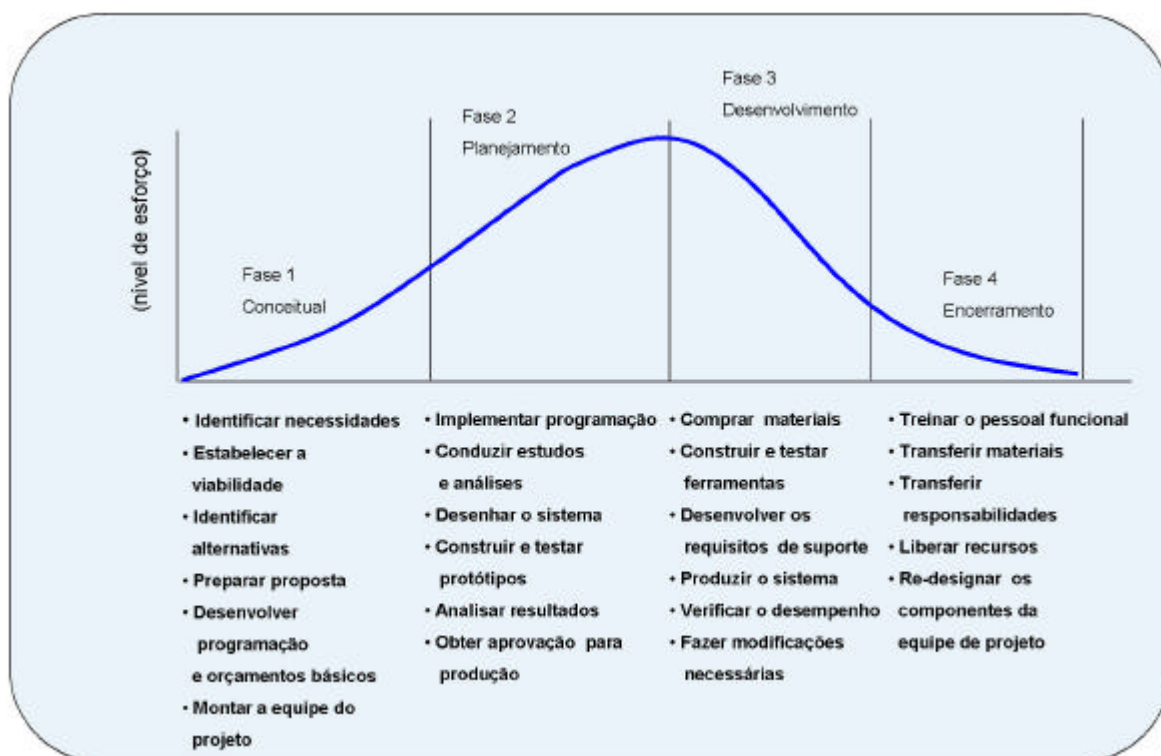


Figura 2.20 – Tarefas realizadas por fase do projeto.

Fonte - John R. Adams e Stephen E. Barndt em Cleland e King (1988, p. 211).

No modelo apresentado por Peter W. G. Morris⁵¹ em Cleland e King (1988), entre cada fase do ciclo de vida existem distintos “pontos de mudanças” também chamados de “interfaces dinâmicas do projeto” (Figura 2.21). Estes pontos também são chamados de portões (*gates*), saídas de fase (*phase exits*), portões de fase (*phase gates*), portões de estágio (*stage gates*), pontos de conclusão (*kill points*), portões de pedágio (*toll gates*), pontos de controle executivo (*executive control points*), pontos de mudanças (*change points*) ou interfaces dinâmicas do projeto:

- ✓ De pré-viabilidade / viabilidade para projeto: a decisão “prosseguir”;
- ✓ De projeto para produção;
- ✓ De produção para comissionamento e partida.

⁵¹ Morris, P. W. G. “Interface Manage – An Organizational Theory Approach to Project Management.” Project Management Quarterly, Vol. 10 (2) (June, 1979).

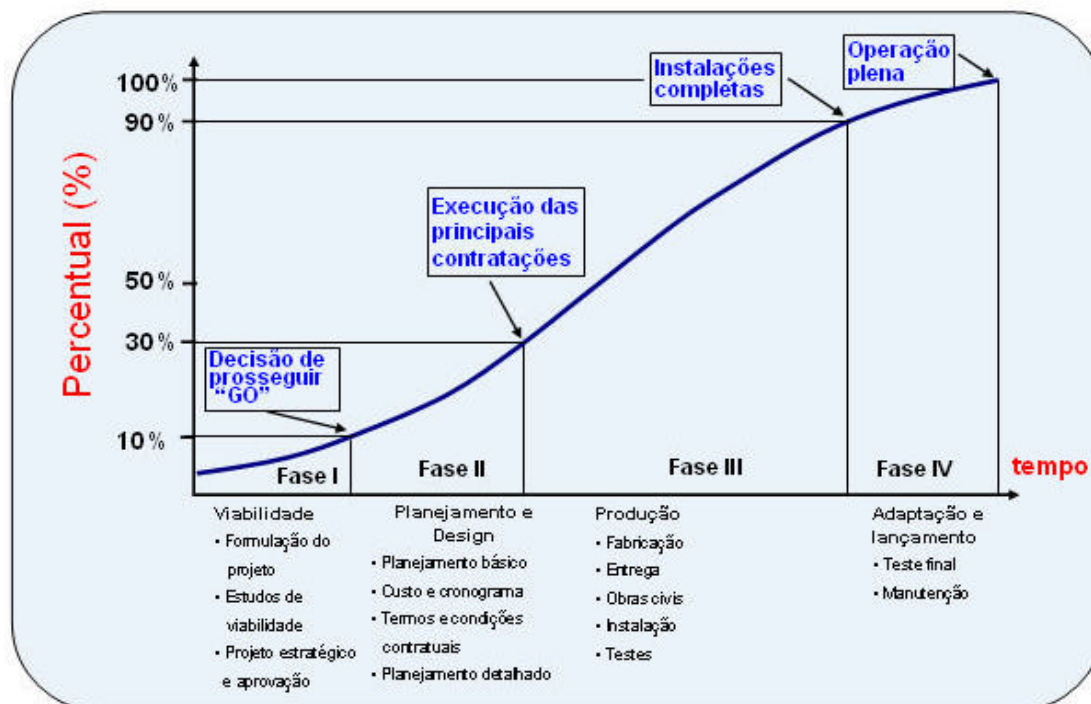


Figura 2.21 - Modelo típico de Morris para projetos industriais.

Fonte - Peter W. G. em Cleland e King (1988, p. 21).

“O projeto de qualquer lado destes pontos de mudanças, é drasticamente diferente (em missão, tamanho, tecnologia, escala, e taxa de mudança), e estas diferenças, criam características próprias e distintas de trabalho, comportamento pessoal, necessidade de direção e controle”. Portanto, conclui Peter W. G. Morris em Cleland E King (1988, p. 22), que o estilo de gerenciamento de cada uma das quatro fases do ciclo de vida é significativamente diferente.

Segundo Kerzner (2006, p. 71):

Muitas organizações estão preparando seus manuais de procedimentos de gerenciamento de projetos, utilizando-se das fases do ciclo de vida, como formas de estruturação dos trabalhos. Existem várias razões para esta tendência:

- ✓ Clara delimitação do trabalho a ser realizado em cada fase;
- ✓ A precificação e a estimativa podem ser mais facilmente elaboradas caso as definições do trabalho sejam bem estruturadas;
- ✓ Existem pontos chave de decisão no final de cada fase do ciclo de vida

de forma a possibilitar um incremento de fundos.⁵²

Contudo, Archibald (1992, p. 30) recomenda alguns pontos importantes a serem observados:

- ✓ Os projetos precisam ser gerenciados de acordo com o ciclo de vida, com a máxima continuidade de responsabilidade e com o planejamento e controle integrados desde o início ao término do projeto;
- ✓ Precisam ser dadas iguais atenções tanto ao produto do projeto como aos processos de criação desse produto – o trabalho a ser realizado;
- ✓ A criação de uma organização separada, própria para cada projeto geralmente não é viável ou prática em função da rápida mudança de situação de uma fase para outra;
- ✓ As decisões realizadas durante as fases iniciais de um projeto causam maior impacto sobre os resultados finais de tempo e custos do que aquelas realizadas nas fases finais.⁵³

2.1.4.4 Características comuns aos ciclos de vida

O ciclo de vida do projeto define as fases que conectam o início do projeto ao seu término. Um ponto importante evidenciado no PMBOK (2004, p. 19) é que **“as fases do ciclo de vida não são iguais aos grupos de processos de gerenciamento de projetos⁵⁴”**.

O PMBOK (2004, p. 20-22) destaca que:

Em um ciclo de vida a transição de uma fase para outra envolve, e normalmente é definida, por alguma forma de transferência técnica ou entrega, e os produtos a serem entregues, geralmente são revisados para garantir que estejam completos, exatos e aprovados, antes que o trabalho da próxima fase seja iniciado. No entanto, quando os riscos envolvidos são considerados aceitáveis, é comum que uma fase seja iniciada antes da

⁵² Tradução própria.

⁵³ Tradução própria.

⁵⁴ O grifo é nosso.

aprovação dos produtos da fase anterior, provocando uma sobreposição de fases.

Os ciclos de vida do projeto geralmente definem:

- ✓ Que trabalho técnico deve ser realizado em cada fase;
- ✓ Quando os produtos a serem entregues devem ser gerados em cada fase e como cada produto é revisado, verificado e validado;
- ✓ Quem está envolvido em cada fase;
- ✓ Como controlar e aprovar cada fase.

Não existe uma única maneira para definir um ciclo de vida ideal do projeto. Algumas organizações padronizam os ciclos de vida de seus projetos, enquanto outras permitem a escolha do ciclo de vida mais adequado. Além disso, é comum que uma determinada área de aplicação, tenha preferência pelo uso de um determinado ciclo⁵⁵ (PMBOK, 2004, p. 20).

2.1.4.4.1 O ciclo de vida e a incerteza

Meredith e Mantel (2000) comentam que seria muito confortável se fosse possível, no início do projeto, prever-se com certeza o desempenho do cronograma e custos. Em poucos casos, por exemplo, em projetos rotineiros de construção, seria possível gerar previsões razoavelmente precisas, mas na maioria das vezes não, podendo haver consideráveis incertezas sobre as habilidades de se atingir os objetivos do projeto. As linhas tracejadas da Figura 2.22 ilustram essas incertezas.

⁵⁵ Tradução própria.

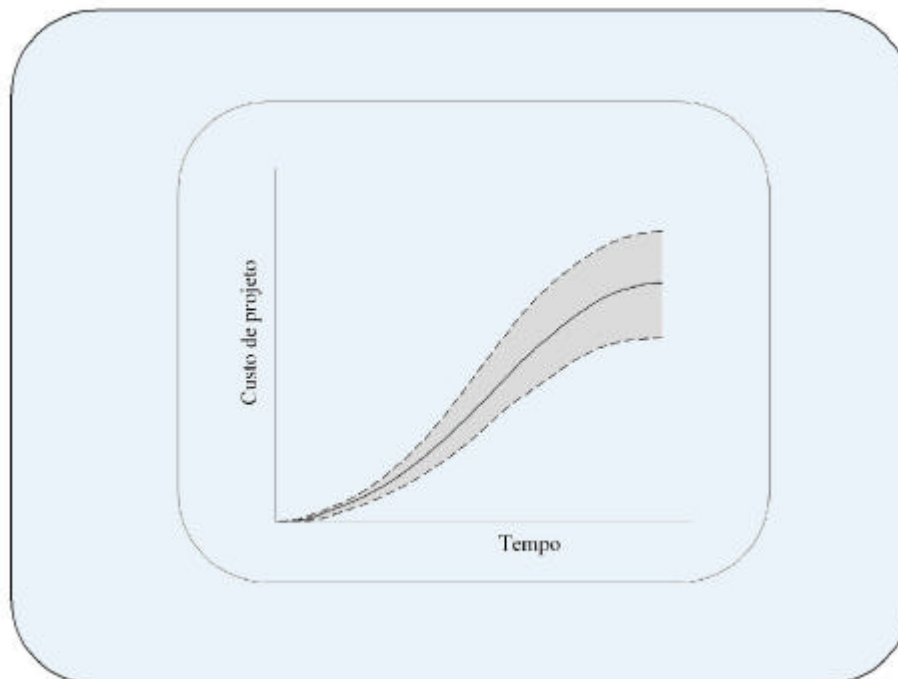


Figura 2.22 - Estimativa de custos, realizada no início do projeto.

Fonte – Meredith e Mantel (2000, p. 17).

A Figura 2.22 mostra a incerteza vista no começo do projeto. A Figura 2.23 mostra como a incerteza diminui com a evolução do projeto, indo para a sua conclusão. Conforme o projeto evolui, o nível de incerteza sobre os resultados finais é reduzido (veja na estimativa t_1 por exemplo). Na última previsão, realizada no instante t_2 , a incerteza é reduzida ainda mais.

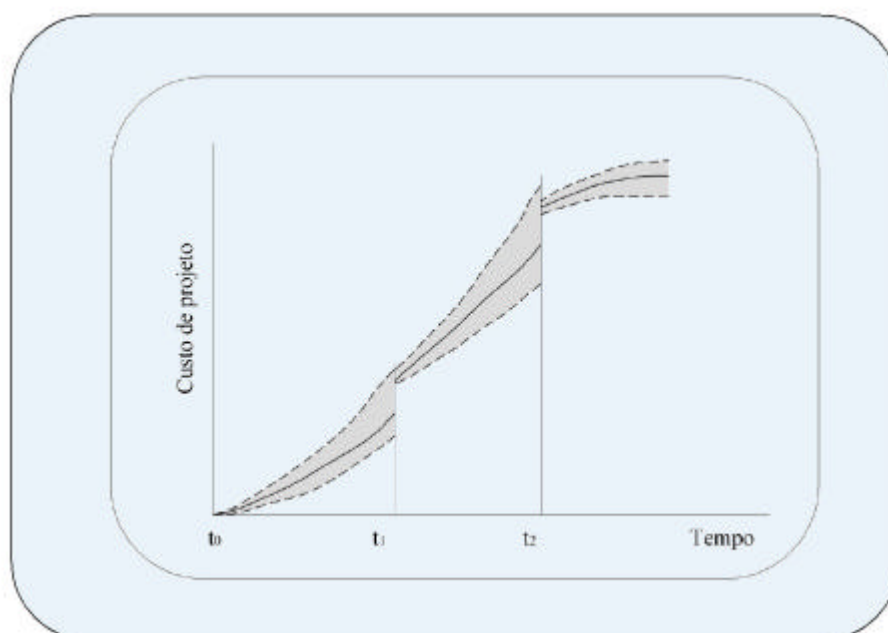


Figura 2.23 - Estimativa de custos realizadas nos instantes t_0 , t_1 e t_2 .

Fonte – Meredith e Mantel (2000, p. 17).

Cleland (1994, p. 56) alerta que “conforme o progresso do ciclo de vida do projeto, os parâmetros de custo, tempo e desempenho, precisam ser “gerenciados”. Isto envolve um replanejamento contínuo das fases ainda não realizadas, focalizando os dados emergenciais referentes ao que realmente foi realizado”.⁵⁶

A equipe do projeto precisa repensar muito durante o ciclo de vida do projeto, para modificar e ajustar os pacotes de trabalho de cada fase. Archibald (1976, p. 23) e Adams e Barndt em Cleland e King (1988, p. 214), observam que a incerteza é reduzida conforme a conclusão de cada fase sucessora do ciclo de vida (Figura 2.24).

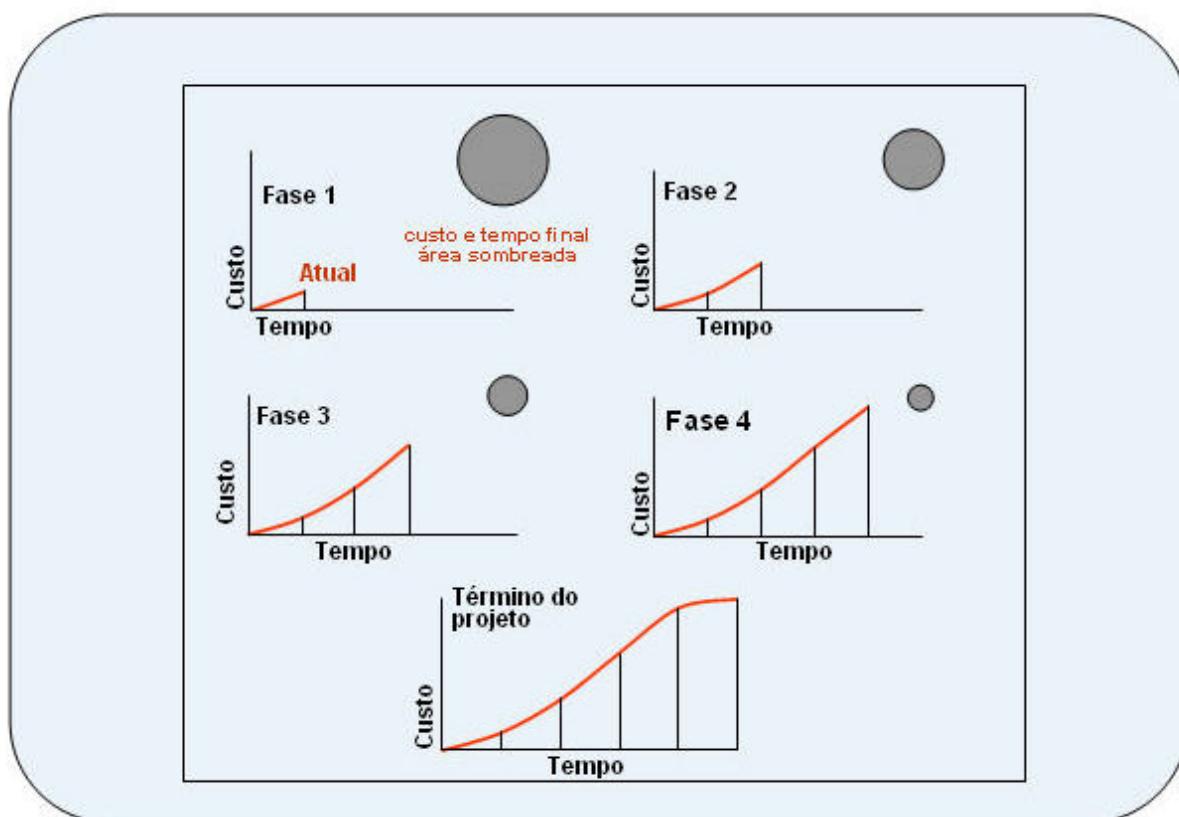


Figura 2.24 - Incerteza relativa a prazos e custos por fase do ciclo de vida.

Fonte - Archibald (1992, p. 29).

⁵⁶ Tradução própria.

Outra representação do comportamento das incertezas ao longo do ciclo de vida é apresentada pelo PMI (2004, p. 21) evidenciando que o nível de incerteza é mais alto e, portanto, o risco de não atingir os objetivos é maior no início do projeto. A certeza de conclusão geralmente se torna cada vez maior conforme o projeto prossegue através das fases (Figura 2.25).

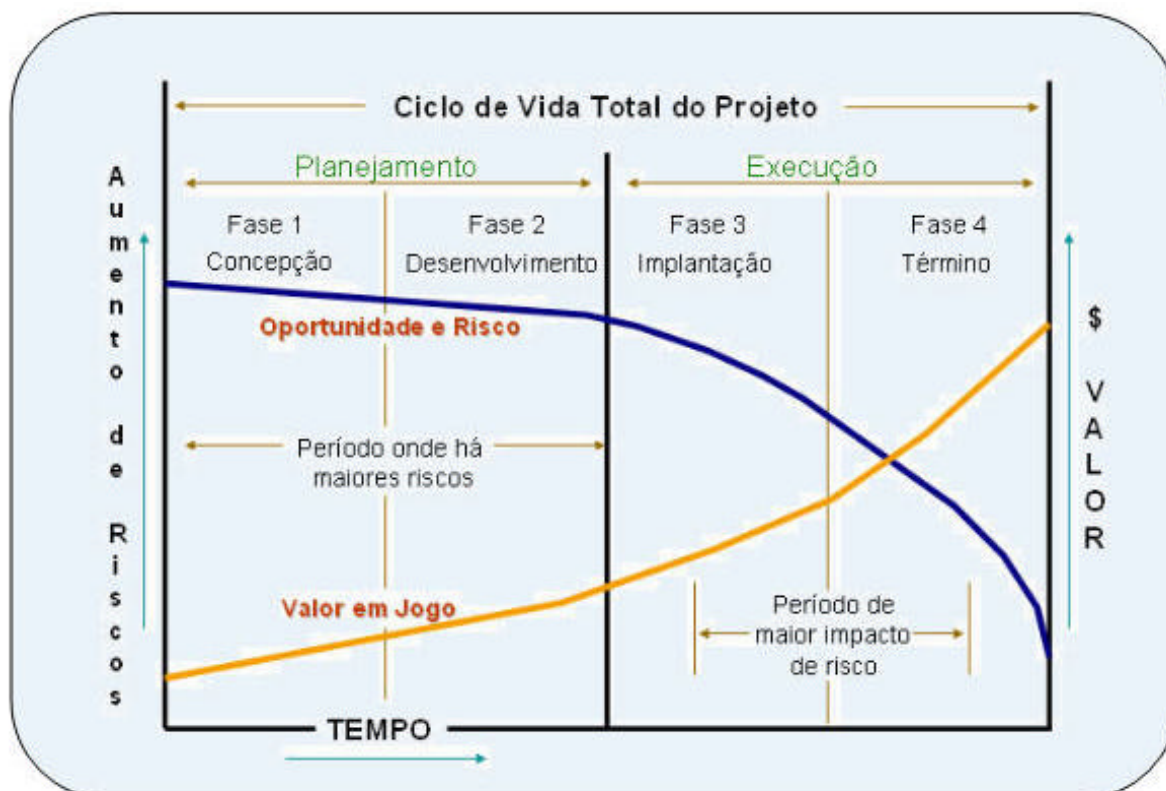


Figura 2.25 - Nível típico de incerteza do projeto ao longo de seu ciclo de vida.

Fonte - Adaptado do PMI (2004, p. 21).

2.1.4.4.2 A influência dos interessados

O PMI (2004, p. 21) enfatiza que:

A capacidade dos interessados de influenciarem as características finais e o custo final do produto do projeto, é mais alta no início e torna-se cada vez menor, conforme o projeto prossegue no seu ciclo de vida. Este comportamento é decorrente do fato de que os custos das mudanças e das

ações corretivas, geralmente aumentam conforme o projeto caminha (Figura 2.26).

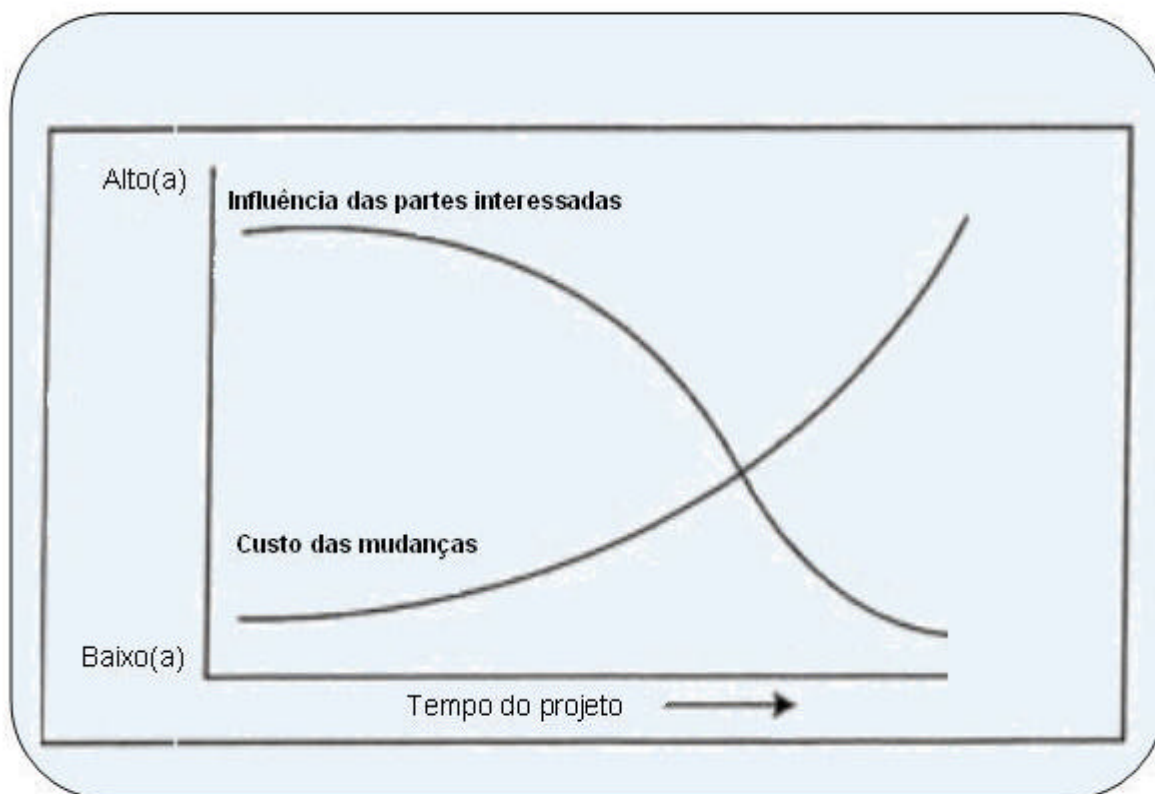


Figura 2.26 - Influência dos interessados ao longo do ciclo de vida.

Fonte - PMI (2004, p. 21).

Embora não seja objeto deste trabalho, salienta-se a importância de se gerenciar os interessados, logo no início do ciclo de vida do projeto.

2.1.4.4.3 O comportamento dos esforços despendidos ao longo do ciclo de vida

Tanto o PMI (2004) como Meredith e Mantel (2000), consideram que os esforços despendidos no projeto (Figura 2.27), freqüentemente em termos de homens-hora ou em recursos despendidos por unidade de tempo (ou número de pessoas trabalhando no projeto), plotado ao longo do tempo, onde o tempo é decomposto em diversas fases da vida do projeto, que possuem características comuns, sendo que no início do projeto o esforço é mínimo, quando a concepção ainda está sendo

desenvolvida por meio dos processos de seleção de projetos. Passada esta fase, à medida que o planejamento é executado, ocorrerá um aumento no nível de atividades e do trabalho realizado. Esse esforço vai aumentando até atingir um valor máximo durante as fases intermediárias, caindo rapidamente conforme o projeto se aproxima de seu término, finalmente cessando quando a avaliação é completada e o projeto é encerrado.

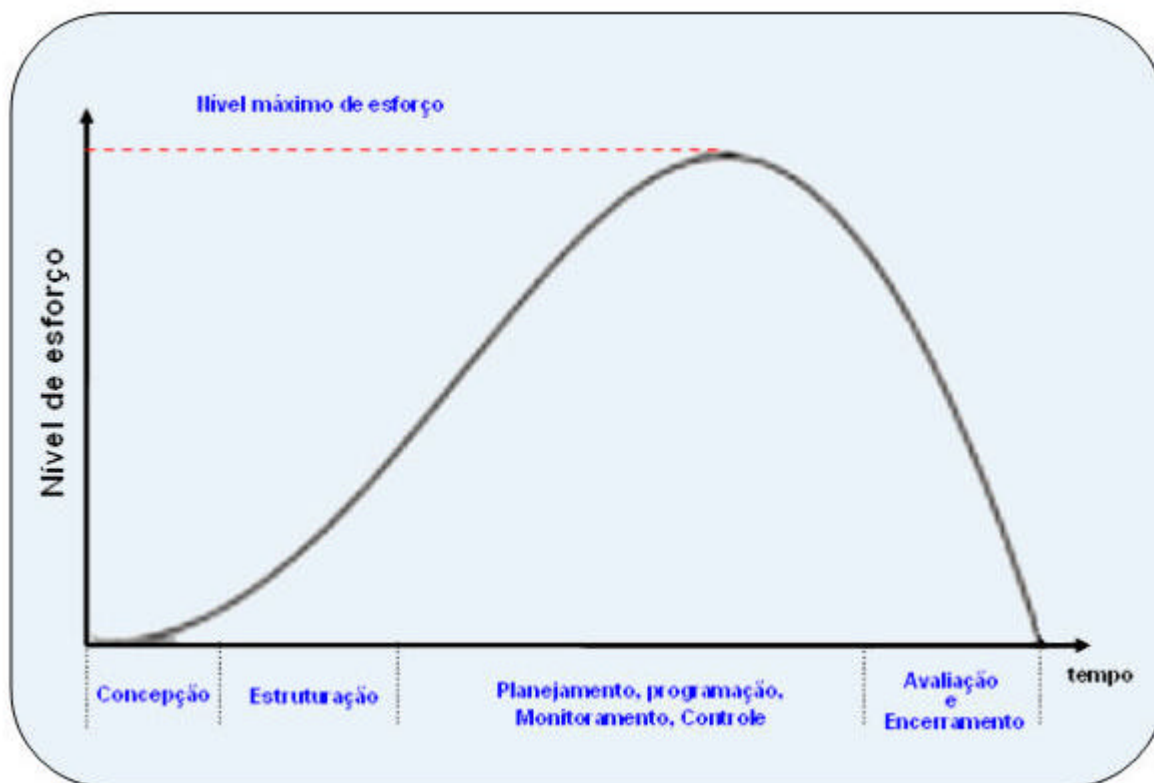


Figura 2.27 - Distribuição de esforços ao longo do tempo.

Fonte – Meredith e Mantel (2000, p. 15).

2.1.4.4.4 O comportamento dos custos ao longo do ciclo de vida

Archibald (1992) e o PMI (2004) afirmam que os níveis de custos e de pessoal, são baixos no início, atingem um valor máximo durante as fases intermediárias caindo rapidamente conforme o projeto é finalizado (Figura 2.28).

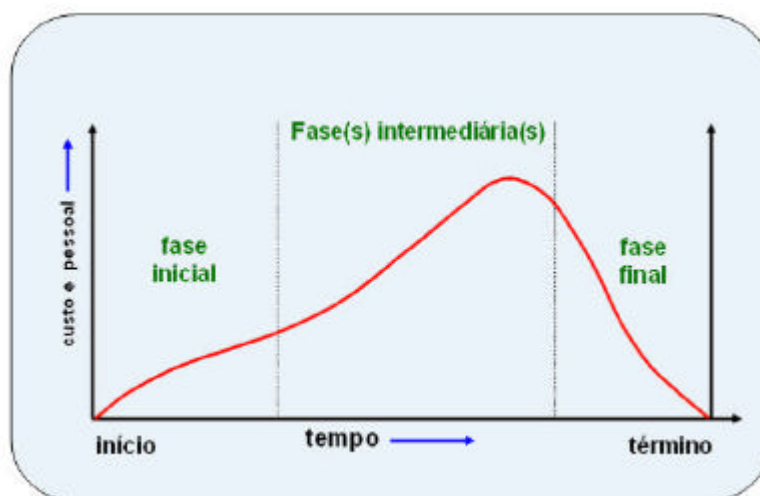


Figura 2.28 - Nível típico de custos e de pessoal ao longo do ciclo de vida.

Fonte - PMI (2004, p. 21).

A possibilidade de redução de custos, através de análise de valor e engenharia de valor, é mais alta no início do ciclo de vida, tornando-se cada vez menor, conforme o projeto prossegue. Por outro lado, o custo de mudanças é baixo no início do ciclo de vida, tornando-se cada vez maior, à medida que o projeto prossegue.

2.1.4.5 O processo de portões de fases

Kerzner (2006, p. 64) comenta que quando as organizações reconhecem a necessidade de começar a desenvolver processos para o gerenciamento de projetos, o ponto de início é normalmente o processo de portões de fase⁵⁷.

Assim como as palavras sugerem, o processo é composto de fases e portões. As fases são grupos de atividades que podem ser realizadas tanto em série quanto em paralelo, baseadas na magnitude dos riscos que a equipe de projeto pode tolerar. Os portões são pontos de decisão estruturados no final de cada fase. Os bons processos de gerenciamento de projetos normalmente não possuem mais do que seis portões. Com mais de seis portões, a equipe de projeto focaliza muita atenção

⁵⁷ The stage-gate process, no original.

no preparo das revisões dos portões em vez do atual gerenciamento do projeto.

O conceito dos portões foi introduzido por Cleland⁵⁸ (apud WIDMAN, 2004, p. 9) na década de 1.980, quando, ao apresentar seu ciclo de vida genérico do projeto, uma importante observação: “Entre as várias fases existem pontos de decisão, nos quais uma decisão explícita é realizada preocupando-se se a próxima fase deve ser realizada, seu tempo, etc.” (CLELAND, 1994, p. 44).

Esta idéia representa um importante desenvolvimento por duas razões:

- ✓ Introduz a idéia de pontos de decisão estratégicos de alto nível (também conhecidos como Pontos de Controle Executivos ou Portões) nos quais são tomadas decisões para continuar ou não;
- ✓ É distinguido daqueles textos iniciais que enfatizam que tais fases podem e freqüentemente fazem superposição.

Esta idéia é reforçada por Youker⁵⁹ (apud WIDEMAN, 2004, p. 9), em uma apresentação na INTERNET 88, onde ele menciona que: “O ciclo de desenvolvimento dos projetos do Banco Mundial [...] define seis fases seqüenciais: identificação, preparação, apreciação, negociação, implementação, supervisão e avaliação baseada em fatos resultados reais. Outras empresas usam termos ligeiramente diferentes, mas a maioria considera o processo como um ciclo. Na verdade, mesmo que alguém aprenda com a experiência, ninguém pode retornar no tempo. Portanto o ciclo é de fato uma espiral, que circula ao redor destas fases, mas sempre se movendo para um novo projeto. O ciclo consiste de uma seqüência de fases que são marcadas pelos pontos de decisão. O processo se encaminha para a implementação e operação e partida. A avaliação é uma visão baseada em dados e resultados para verificar se os objetivos foram atingidos e se esses objetivos eram apropriados”. Patel; Morris⁶⁰ (apud WIDEMAN, 2004, p. 1), compartilham a mesma

⁵⁸ Cleland, Dr. D. I., *Project Management: Strategic design and Implementation*, TA Books, PA, 1990, p.25.

Texto também localizado em CLELAND (1994, P. 44).

⁵⁹ Youker, R., *Managing the Project Cycle for Time, Cost and Quality: lessons from World Bank experience*, Keynote paper, INTERNET 88, Glasgow, 1988, Vol 7 No 1 February 1989 p54.

⁶⁰ Patel, M. B. & Prof. P. G. W. Morris, *Guide to the Project Management Body of Knowledge*, Centre for Research in the Management of Projects, University of Manchester, UK, 1999, p52.

idéia, afirmando que devem existir pontos de avaliação e de aprovação (portões) entre as fases do ciclo de vida.

Archibald (1992, p. 28) afirma que “**A personalidade do projeto muda em cada fase do ciclo de vida**”⁶¹, salientando que a cada fase sucessora de um projeto são criados novos e diferentes produtos ou resultados intermediários, e o produto de uma fase gera insumos importantes para a fase seguinte. As pessoas, habilidades, organizações e outros recursos envolvidos no projeto mudam a cada fase do ciclo de vida, acarretando uma revisão importante do projeto no final de cada fase, que pode resultar na autorização para prosseguir para a próxima fase, no cancelamento do projeto ou na repetição de uma fase anterior.

A Figura 2.29 exemplifica os pontos de decisão no ciclo de vida de Warren Allen⁶² (apud WIDEMAN, 2004, p. 12).

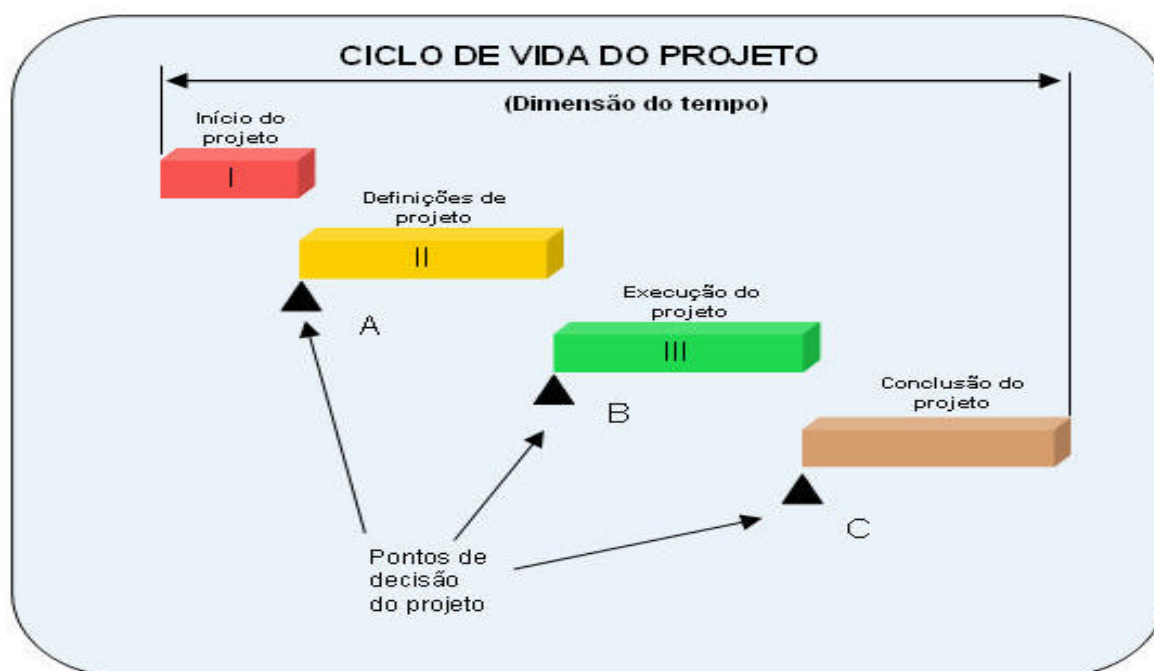


Figura 2.29 - Ciclo de vida de um projeto genérico por Allen.

Fonte - Wideman (2004, p. 12).

Segundo Kerzner (2006, p. 64) o gerenciamento de projetos é usado para gerenciar as fases entre os portões, podendo reduzir o tempo entre estes. Este é um fator

⁶¹ Grifo do autor.

⁶² Allen, W. E., P. Eng., CMC, PMP, Panalta Management Associates Inc., Calgary, Alberta, 1991.

crítico de sucesso se for usado no desenvolvimento e lançamento de produtos. Uma boa metodologia corporativa para o gerenciamento de projetos irá fornecer listas de verificação, formulários e diretrizes para assegurar que os passos críticos não sejam omitidos.

As listas de verificação são críticas para revisões de portões. Sem estas listas, os gerentes de projetos podem desperdiçar horas preparando os relatórios das revisões de portões. Boas listas de verificação focalizam em responder estas questões:

- ✓ Onde nós estamos hoje (por exemplo, tempo e custo)?
- ✓ Onde nós iremos chegar (por exemplo, tempo e custo)?
- ✓ Quais são os riscos presentes e futuros?
- ✓ Qual é a assistência necessária da alta administração?

Wideman (2004, p. 1) comenta que outro nome para “portões” é o “*milestone*”, e isto normalmente pode provocar conflitos com a programação, que também envolve os “*milestones*”, mas essencialmente uma programação de projeto mostra as datas planejadas para realizar as atividades e as datas planejadas para atingir os “*milestones*”. As duas são claramente similares, mas a essência da programação de projetos é a de fornecer datas específicas para as atividades, enquanto o ciclo de vida do projeto está focado na natureza de um planejamento estratégico exibindo apenas a seqüência.

Kerzner (2006, p. 64) alerta que nunca deve ser permitido aos gerentes de projetos desempenhar as funções de porteiros em seus projetos. Os porteiros são tanto indivíduos (por exemplo, patrocinadores) como grupos de indivíduos designados pela alta administração e habilitados para fazer com que o processo estruturado de tomada de decisões seja estabelecido. Os porteiros são autorizados a avaliar o desempenho até a data contra os critérios predeterminados, e fornecer à equipe de projeto informações adicionais técnicas e de negócios.

As quatro decisões mais comuns tomadas pelos porteiros são:

- ✓ Prosseguir para o próximo portão baseado nos objetivos originais;
- ✓ Prosseguir para o próximo portão baseado nos objetivos revisados;
- ✓ Atrasar a tomada de decisão de portão até que novas informações

sejam obtidas;

- ✓ Cancelamento do projeto.

Archibald⁶³ (apud WIDEMAN, 2004, p. 18) apresenta um processo típico de portões de fase, conforme mostrado na Figura 2.30.

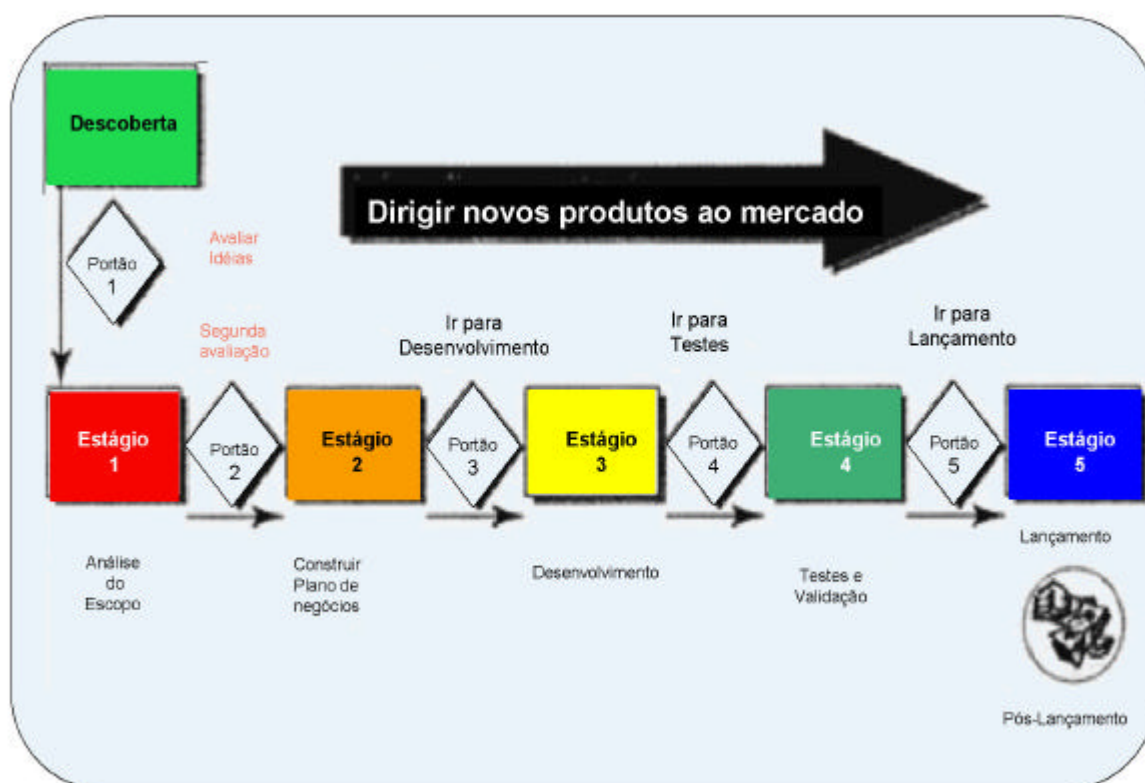


Figura 2.30 - Processo de Portão-Estágio Cooper, Edgbert & Kleinschmidt.

Fonte - Wideman (2004, p. 18).

Os patrocinadores, conforme evidenciado por Kerzner (2006, p. 65) devem também ter a coragem de abortar⁶⁴ um projeto. O propósito dos portões não é somente da obtenção da autorização de prosseguir, mas também de identificar falhas, suficientemente cedo, a fim de que os recursos não sejam desperdiçados, mas sim designados para mais atividades promissoras.

Nós podemos agora identificar os três maiores benefícios do processo de portões de fase:

⁶³ Archibald, R. D., *Managing High-Techology Programans and Projects*, third Edition, Wiley, 2003, p.44.

⁶⁴ Terminate, no original.

- ✓ Fornecer estrutura para o gerenciamento do projeto;
- ✓ Fornecer possível padronização do planejamento, programação e controle (por exemplo, formulários, listas de verificação e diretrizes);
- ✓ Permitir um processo de tomada de decisões estruturado.

Kerzner (2006, p. 64) também alerta que as organizações se envolvem no processo de portões de fase com boas intenções, mas devem ter cuidado com as armadilhas que podem provocar distúrbios no processo. Essas incluem:

- ✓ Designar porteiros e não permiti-los de tomar decisões;
- ✓ Designar porteiros que estão com medo de abortar um projeto;
- ✓ Negar o acesso da equipe do projeto às informações críticas;
- ✓ Permitir que a equipe de projeto se focalize mais nos portões do que nas fases.

Outro alerta de Kerzner (2006, p. 65) é o fato de que deve ser reconhecido que o processo de portão de fase não é nem um resultado final nem uma metodologia auto-suficiente, ao contrário, é apenas um dos vários processos que fornecem estrutura para a metodologia de gerenciamento de projetos.

Atualmente tem-se a impressão de que o processo de portões de fase foi substituído por fases de ciclo de vida. Embora haja alguma verdade nisto, o processo de portões de fase está retornando. Uma vez que o processo de portões de fase focaliza mais as tomadas de decisões do que as fases de ciclo de vida, o processo de portões de fase está sendo usado como uma ferramenta interna de tomadas de decisões dentro de cada fase do ciclo de vida. A vantagem é que, enquanto as fases de ciclo de vida são as mesmas para todo projeto, o processo de portões de fase pode ser customizado para cada projeto, a fim de facilitar a tomada de decisões e o gerenciamento de riscos. O processo de portões de fase é agora uma parte integral do gerenciamento de projetos, entretanto, anteriormente ele foi usado primariamente na realização do desenvolvimento de novos produtos.

Ainda segundo Kerzner (2006, p. 72) a reunião de revisão de portões é uma forma de encerramento de projetos. As reuniões de revisão de portões podem resultar no encerramento de uma fase do ciclo de vida ou no encerramento de todo o projeto. Essas reuniões devem ser planejadas, devendo incluir a coleta, análise e

disseminação de informações pertinentes. Isso pode ser feito de forma eficaz com o uso de formulários, templates e listas de verificações.

Existem duas formas de encerramento pertinentes às reuniões de revisão de portões: encerramento de contrato e encerramento administrativo. O encerramento de contratos precede o encerramento administrativo. O encerramento contratual inclui a verificação e certificação oficial de que todos os produtos a serem entregues, necessários para essa fase, foram completados e todas as pendências foram realizadas. O encerramento de contratos é de responsabilidade tanto do gerente de projetos como do administrador do contrato.

O encerramento administrativo é a atualização de todos os registros pertinentes necessários tanto para o cliente como para o contratado. Os clientes são particularmente interessados na documentação de qualquer mudança conforme-construído ou conforme-instalado ou desvios nas especificações. Também é necessário o registro de todas as mudanças de escopo aceitas no decurso da vida do projeto. Os contratados estão interessados nos dados arquivados que incluem os registros do projeto, minutas, memórias, boletins, documentação do gerenciamento de mudanças, aceitação da documentação do projeto e o histórico das auditorias para lições aprendidas e melhoramento contínuo.

Um subconjunto do encerramento administrativo é o encerramento financeiro, que é o encerramento de todas as contas para o trabalho concluído. Embora o encerramento contratual possa ter sido realizado, ainda podem existir contas abertas para o reparo de defeitos ou para completar a documentação arquivada. O encerramento deve ser planejado para isto, e inclui o estabelecimento de um cronograma e orçamento.

2.1.5 Visão geral sobre o planejamento de projetos

O objetivo deste capítulo é a conceituação do que é planejamento, seus propósitos e definir os principais processos e técnicas.

2.1.5.1 Planejamento do projeto

Não é um segredo que o sucesso de um gerenciamento de um projeto é o resultado de um minucioso planejamento. O processo de planejamento provê a base para a tomada de decisões estratégica e tática, assim como as mais eficientes ferramentas disponíveis para comunicação de responsabilidades de trabalho, identificação oportuna de problemas e controle do progresso e da produtividade (WESTNEY em DINSMORE, 1993).

O planejamento do projeto é de extrema importância, pois as decisões tomadas nas fases iniciais do projeto estabelecem a direção e a força com que o projeto progride, assim como as fronteiras dentro das quais o trabalho da equipe do projeto é conduzida. Como foi visto anteriormente, à medida que o projeto caminha ao longo de seu ciclo de vida, a habilidade de influenciar os resultados do projeto diminui rapidamente. Os gerentes seniores tendem a prestar menos atenção durante as fases iniciais do projeto do que durante as fases de desenvolvimento e testes. Tal comportamento limita a influência da gerência, pois muito do custo do projeto já foi determinado. Portanto, os gerentes seniores precisam se envolver o mais cedo possível, e eles devem ser capazes de assessorar de forma inteligente o resultado provável do produto, seu custo de desenvolvimento, sua economia de fabricação, como irá satisfazer as expectativas de qualidade do cliente e o provável enquadramento estratégico do produto resultante no plano estratégico geral da empresa (CLELAND, 1999).

No entender de Archibald (1992, p. 180):

Criar um plano de projeto é extremamente importante para o sucesso do projeto. Sem um plano adequado, os recursos requisitados não podem estar

confiantes e comprometidos no momento apropriado, os membros das equipes não podem ser totalmente comprometidos ao projeto, o monitoramento e o controle não serão efetivos e o sucesso será uma questão de sorte.⁶⁵

O planejamento é conceituado por Cleland e Ireland (2002, p. 188) como "o processo de análise e explicitação dos objetivos, metas e estratégias necessários para que o projeto, durante seu ciclo de vida, possa alcançar plenamente seus objetivos de custo, prazo e desempenho técnico".

O planejamento de projetos deve ser precedido de um planejamento organizacional abrangente, apresentando os seguintes elementos: visão, missão, objetivo, meta, estratégia, estrutura organizacional, papéis e responsabilidades, estilo do gerente, sistemas de apoio e recursos organizacionais (CLELAND; IRELAND, 2002).

Kerzner (2006, p. 398) define que:

Planejar é determinar quais necessidades devem ser feitas, por quem, e quando, a fim de cumprir a designação de responsabilidade. Existem nove componentes principais da fase de planejamento:

- ✓ Objetivo: uma meta, alvo, ou cota a ser alcançada em determinado período de tempo;
- ✓ Programa: a estratégia a ser seguida e as principais ações a serem tomadas, a fim de alcançar ou exceder objetivos;
- ✓ Cronograma: um plano que mostra quando realizações ou atividades, individuais ou em grupo, serão iniciadas e/ou concluídas;
- ✓ Orçamento: gastos planejados necessários para alcançar ou exceder objetivos;
- ✓ Previsão: uma projeção do que irá acontecer em um certo período de tempo;
- ✓ Organização: estabelecimento do número e tipos de posições, juntamente com as obrigações e responsabilidades correspondentes, necessárias para se alcançar ou exceder os objetivos;
- ✓ Política: um guia geral para tomada de decisões e ações individuais;
- ✓ Procedimento: um método detalhado para se conduzir uma política;

⁶⁵ Tradução própria.

- ✓ Padrão: um nível de desempenho individual ou de grupo definido como adequado ou aceitável.

“O propósito mais importante do planejamento é estabelecer um conjunto de direções, em detalhes suficientes, para transmitir à equipe de projeto exatamente o que deve ser feito, quando deve ser feito e quais recursos usar para produzir os produtos do projeto com sucesso” (MEREDITH; MANTEL, 2000, p. 182).

No modelo proposto pelo PMI (2004, p. 41), “o grupo de processos de planejamento define e refina os objetivos e planeja as ações necessárias para alcançar os objetivos e o escopo para o qual o projeto foi empreendido”.

Ainda no entender de Kerzner (2006, p. 398), existem quatro razões básicas para planejar os projetos:

- ✓ Eliminar ou reduzir as incertezas;
- ✓ Melhorar a eficiência da operação;
- ✓ Obter uma melhor compreensão dos objetivos;
- ✓ Prover uma base para monitoramento e controle do trabalho.

Os aspectos relativos às incertezas também são apresentados por Rosenau (1992, p. 54), ao afirmar que: “os planos relacionam-se a eventos futuros, portanto, os planos são simulações de como as coisas acontecerão no futuro. Necessariamente existem incertezas sobre o futuro, e algumas podem ser de alguma forma, previsíveis e, portanto, parcialmente controláveis, mas a maioria delas é imprevisível”.

Ainda segundo Rosenau (1992), pode-se reduzir (mas não eliminar) essas incertezas previsíveis, através da utilização de listas de verificação, de entrevistas com especialistas e do envolvimento da equipe do projeto. Contudo, as incertezas permanecerão, porque sempre existirão fatores imprevisíveis ao se fazer algo novo. A reserva para esses desconhecimentos pode ser feita inserindo-se contingência nos planos. Tratamento similar é dado às premissas, pois elas também introduzem incertezas nos planos. Kerzner (2006), abordando este assunto, comenta a importância recente da documentação das premissas que são assumidas nos diversos planos de projeto, salientando que conforme os projetos progredirem, as premissas podem mudar em função da economia, avanços tecnológicos ou condições de mercado. Essas mudanças podem invalidar as premissas originais, ou

necessitar de novas premissas, ou, até mesmo, forçar o cancelamento de projetos. Atualmente, essas premissas são validadas durante as reuniões de revisão do projeto, que ocorrem a cada mudança de fase do ciclo de vida.

Meredith e Mantel (2000, p. 183) alertam que:

O propósito do planejamento é facilitar uma realização posterior. O mundo é cheio de planos que nunca se tornam realidade. As técnicas de planejamento utilizadas objetivam suavizar o caminho, desde uma idéia até sua realização. É um processo complicado gerenciar um projeto, e os planos atuam como um mapa deste processo, possuindo detalhes suficientes para determinar o que deve ser feito, mas deve ser suficientemente simples para que os trabalhadores não se percam nas minúcias do andamento.⁶⁶

Cleland e Ireland (2002) alertam que nenhum elemento tem maior impacto no sucesso de um projeto do que o seu planejamento. Há inúmeros exemplos de projetos mal planejados que resultaram em grandes esforços de replanejamento no transcorrer de etapas decisivas da implantação. Metas foram mal definidas, entregas de produtos foram remarcadas, clientes não compreenderam o processo e a equipe do projeto não se apresentava segura quanto às etapas seguintes. Um planejamento de projetos deficiente quase sempre rende resultados ruins.

Rosenau (1992, p. 49) sugere que:

De uma forma bem genérica, os planos dependem de três fatores:

- ✓ Saber onde você está (ou estará quando tudo que está sendo planejado começar);
- ✓ Saber aonde você quer chegar;
- ✓ Definir de que forma você irá de onde está para onde você quer ir.⁶⁷

Porém, alerta, citando um antigo provérbio, "*When you don't know where you want to go, any road will get you there*⁶⁸", que para se ter um plano é necessário que primeiro seja estabelecido um destino; você só pode ter um plano se tiver um destino em mente.

⁶⁶ Tradução própria.

⁶⁷ Tradução própria.

⁶⁸ "Quando você não sabe aonde quer ir, qualquer estrada o conduzirá até lá".

Para Lewis (1995, p. 34), planejar é responder as seguintes perguntas gerais:

- ✓ Que deve ser feito? Esta pergunta está relacionada aos objetivos e magnitude ou escopo do trabalho;
- ✓ Como deve ser feito? A resposta a esta pergunta conduz à seleção da estratégia do projeto;
- ✓ Quem deve fazer isto? Papéis e responsabilidades podem ser atribuídos com a resposta a esta pergunta;
- ✓ Quando deve ser feito? A programação é realizada com esta pergunta;
- ✓ Quanto custará? O orçamento é desenvolvido;
- ✓ Quão bom tem que ser? São determinados os níveis da qualidade;
- ✓ Qual é o desempenho requerido? São geradas especificações de desempenho.

Já o PMI (2004), ao definir o processo de planejamento, evidencia a característica de progressividade dos projetos, mencionando que o Grupo de Processos de Planejamento e seus processos constituintes e iterações são usados para planejar e gerenciar um projeto bem-sucedido para a organização. Os processos de planejamento desenvolvem o plano de gerenciamento do projeto, identificando, definindo e amadurecendo o escopo, custo e planejam as atividades que ocorrem no projeto. À medida que forem descobertas novas informações sobre o projeto, as dependências, requisitos, riscos, oportunidades, premissas e restrições adicionais serão identificadas ou resolvidas. A medida que mais informações ou características do projeto são coletadas e entendidas, podem ser necessárias ações subsequentes. As mudanças significativas que venham a ocorrer durante o ciclo de vida do projeto irão provocar uma necessidade de reexaminar um ou mais processos de planejamento.

Realmente, o planejamento é um processo complexo, pois basicamente envolve o estabelecimento de ações adequadas, objetivando a realização de eventos futuros, sujeitos as incertezas do amanhã. É um processo que deve ser iniciado o mais cedo possível, enquanto ainda se consegue influenciar os riscos, influenciar os interessados e otimizar os custos. A eficácia do planejamento está diretamente relacionada à avaliação da situação e à tomada de decisões, para que seja possível aumentar a probabilidade de ocorrência de um resultado favorável.

Richard Westney em Dinsmore (1993, p. 117) alerta que:

Planejar, ou predizer ações e problemas futuros é inerentemente difícil, e que alguns gerentes vão dizer que é até sobrenatural. “Muitos preferem conviver com a certeza do “aqui e agora” do que com a incerteza de amanhã”. Neste sentido, Peter Ducker⁶⁹ (apud MEREDITH; MANTEL, 2000, p.182) enfatiza que “os planos são ações bem intencionadas a não ser que eles imediatamente se transformem em trabalho desgastante pela dificuldade de pô-los em prática”.⁷⁰

Analisando os textos apresentados pode ser observado que existem diversas visões sobre o que é e por que se deve planejar um projeto.

Ao se aprofundar no assunto, pode-se concluir que todos reconhecem que o planejamento é um processo fundamental ao sucesso de um projeto e que ele deve ser iniciado o mais cedo possível.

No texto apresentado pode-se observar duas correntes distintas:

- ✓ Alguns autores, como Lewis, Rosenau, Meredith e Mantel definem planejamento como o estabelecimento de direção, definir o que deve ser realizado, etc.;
- ✓ Kezbom, Schilling, Eduard, Ireland, Cleland, Kerzner, Westing apresentam abordagens estratégica e operacional ou detalhada.

O planejamento deve ser estruturado de forma a possibilitar um gerenciamento por objetivos e por exceção, tratando as informações de forma adequada aos diversos níveis da organização, quais sejam: direção, gerencial, operacional e de programação.

2.1.5.2 Tipos de planejamento

No entender de Kezbom; Schilling e Edward (1989), bons planejamentos, estratégico e tático, identificam os esforços gerenciais no nível de projeto, que devem conduzir a corporação na direção de realizar suas metas futuras e melhorar

⁶⁹ *Reader's Digest* (March 1998, p. 49).

⁷⁰ Tradução própria.

seu desempenho. O planejamento operacional adequado documenta o trabalho dos participantes do projeto e todos os comprometimentos necessários de outros indivíduos principais, que geram as interfaces em tarefas específicas do projeto. Um bom plano operacional identifica não apenas os recursos (humanos, capital e equipamentos) necessários para serem alocados em um projeto, mas também estabelece os principais eventos, desenvolvimento de programações, assim como uma autoridade e responsabilidade gerencial. Finalmente, um bom plano fornece a referência para a medição dos resultados do processo de planejamento, assim como do trabalho realizado através do desenvolvimento de um plano de teste. Quando bons planos resultam em uma execução bem-sucedida dos objetivos do projeto, as estratégias que foram usadas para alcançar estes esforços devem ser documentadas para futura referência e utilização por outros.

Segundo Kezsbom; Schilling; Edward (1989, p. 57):

O planejamento estratégico é o ponto crucial de todo o planejamento organizacional, sendo responsável pelo estabelecimento dos objetivos corporativos. São pensamentos de longo prazo que revelam o propósito de uma empresa, metas e políticas para alcançar estas metas. Os planos estratégicos identificam, em um nível macro de programa, o comprometimento de recursos que a empresa irá utilizar para cumprir as obrigações econômicas para seus clientes, acionistas, empregados e a comunidade em geral. Estes planos são relativamente inflexíveis ou irreversíveis, pelo menos durante um curto período. Entretanto, eles são caracterizados por um grande nível de incerteza.

Os planos táticos relacionam-se com horizontes de curto prazo com um intervalo de tempo de 6 meses a 2 anos. Esses planos, normalmente, são realizados pela média administração, e o planejamento, nesse nível hierárquico envolve elementos mais micro do programa ou projeto (KEZSBOM; SCHILLING; EDWARD,1989).

De acordo com Kezsbom; Schilling; Edward (1989), o planejamento operacional é o processo de determinar como tarefas específicas podem ser mais bem realizadas, de acordo com um prazo preestabelecido, considerando a disponibilidade de recursos. Embora separados fisicamente dos processos, de níveis mais elevados, referentes aos planejamentos estratégico e tático, os orçamentos e planos operacionais da empresa são guiados pelas filosofias compartilhadas desses planos.

2.1.5.3 Por que os projetos falham?

Para efeito deste trabalho a abordagem de planejamento será similar à abordagem apresentada por Kezsbom; Schilling e Edward. De acordo com esta abordagem o planejamento é definido pelo seu ciclo de vida sendo constituído por fases, que possuem escopo e horizontes definidos. Considera-se a seguintes fases: diretrizes, bases e premissas; planejamento estratégico, gerencial, operacional e programação. Essas fases serão definidas posteriormente.

Para Kezsbom; Schilling e Edward (1989), independentemente dos esforços da alta administração e dos gerentes de projeto, o planejamento não é perfeito e algumas vezes os planos realmente falham. Há várias razões para que mesmos os esforços mais sistemáticos dêem errado:

- ✓ As metas e estratégias de negócios da corporação não são compreendidas nos níveis inferiores da organização;
- ✓ As estratégias ou os objetivos de planejamento de longo prazo não são redefinidos em intervalos regulares e adequados quando a tecnologia ou previsões externas mudam;
- ✓ O planejamento é realizado por um grupo de planejamento, sem utilizar as informações diretas dos gerentes funcionais e de linha, e outras lideranças do projeto;
- ✓ A alta administração negligencia o estabelecimento de estruturas organizacionais designadas para atender projetos específicos, ou dirigir os requisitos de distribuição de informações do projeto;
- ✓ O planejamento a curto prazo é desenvolvido no nível de programação básica ou máster. As pessoas que realizam o planejamento detalhado e o controle não são consultadas até que o projeto esteja bem encaminhado;
- ✓ Os planos são baseados em dados insuficientes;
- ✓ As estimativas financeiras são de péssima qualidade;

- ✓ Disponibilidade de tempo insuficiente para elaboração de uma estimativa adequada;
- ✓ As estimativas são melhores “chutes”, não são elaboradas tendo como base dados padronizados, experimentais ou históricos, coletados em projetos similares;
- ✓ A alocação de recursos é inadequada e o comprometimento da organização, no fornecimento de fundos para novos projetos, é insuficiente para desenvolver novas tecnologias;
- ✓ Ninguém conhece, inicialmente, a necessidade de recursos ou os requisitos gerais do projeto, se as pessoas qualificadas estarão disponíveis, apenas parte do tempo, ou simplesmente não estarão disponíveis quando necessárias;
- ✓ Ninguém definiu as principais atividades e tarefas do trabalho que devem ser realizadas, nem ninguém programou seus marcos associados;
- ✓ As especificações dos itens finais⁷¹ são nebulosas e os produtos do projeto não são destacados nos acordos contratuais;
- ✓ Alta rotatividade da equipe do projeto e dispêndio de pouca atenção para as resoluções da programação e dos conflitos de recursos.

Neste trabalho considera-se que o comprometimento é fundamental para um planejamento bem-sucedido. É fundamental que as pessoas que irão executar o plano participem do seu planejamento.

Um planejamento competente reduz as possibilidades de insucesso. Para que esta competência exista, torna-se necessário abordar as incertezas existentes na própria natureza do projeto e também as existentes no processo de gerenciamento do projeto. Pretende-se neste trabalho abordar as técnicas de planejamento que conduzam a um planejamento competente com ênfase no gerenciamento de prazos.

⁷¹ End item, no original.

2.1.5.4 Técnicas de planejamento de projetos

Planejamento e controle integrado do projeto significa agrupar todos os elementos essenciais de informação, relacionados aos produtos ou resultados do projeto (tempo ou programação, custo, dinheiro, força de trabalho ou outros recursos vitais), para todas as fases do ciclo de vida do projeto (ARCHIBALD, 1992).

Ainda segundo Archibald (1992, p. 179):

O objetivo do esforço de planejamento e controle é documentar os planos atuais, programações e orçamentos, comparar resultados reais, e continuamente projetar o tempo e custo total do projeto, no momento da conclusão⁷², a fim de possibilitar a avaliação, tomada de decisões apropriadas e o acompanhamento das decisões.

Levine em Cleland e King (1988, p. 697) define as seguintes funções típicas envolvidas no planejamento e controle, conforme apresentado na Figura 2.31:

- ✓ Estabeleça os objetivos de projeto;
- ✓ Defina o trabalho;
- ✓ Determine o tempo do trabalho;
- ✓ Estabeleça os requisitos e disponibilidade de recursos;
- ✓ Estabeleça uma referência de custo;
- ✓ Avalie o plano de referência;
- ✓ Otimize o plano de referência;
- ✓ "Congele" o plano de referência;
- ✓ Controle o progresso de trabalho;
- ✓ Controle os custos reais;
- ✓ Compare o progresso e custos ao plano de referência;
- ✓ Avalie o desempenho;
- ✓ Preveja, analise, e recomende ações corretivas.

⁷² At completion, no original.

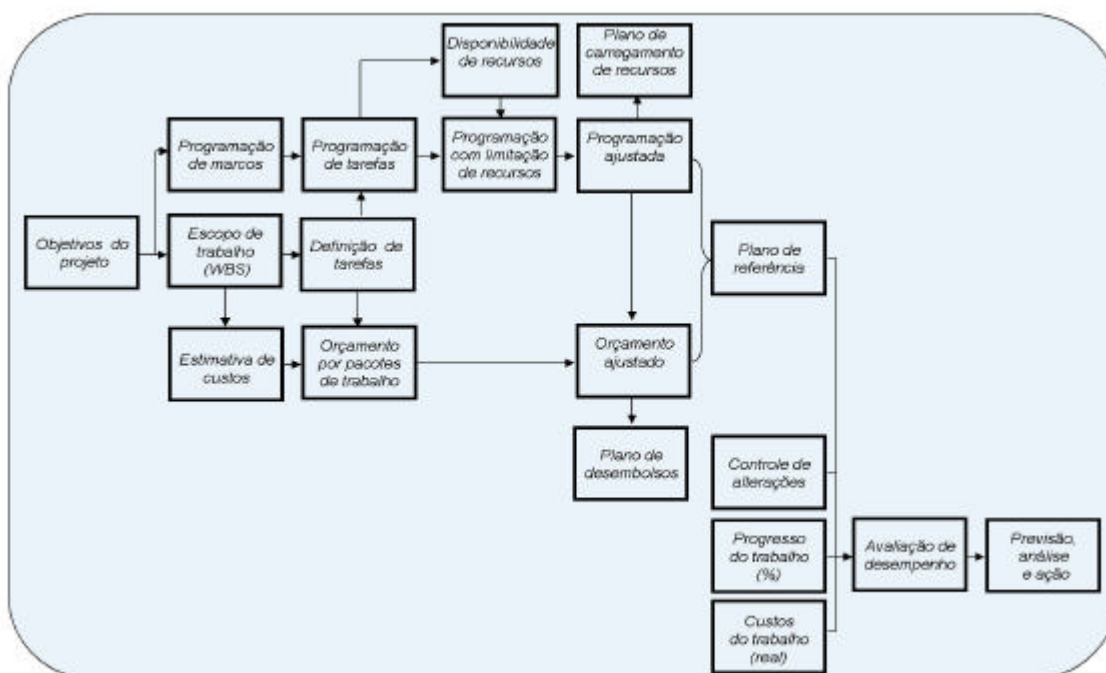


Figura 2.31 - Fluxograma do planejamento e controle de projetos.

Fonte - Levine em Cleland e King (1988, p. 697).

De maneira similar, o modelo proposto por Cleland (1983) para o controle de projetos inicia com o planejamento, uma vez que o plano de projeto é a chave ao desenvolvimento de procedimentos e mecanismos adequados de controle. Iniciando com uma declaração de trabalho, especificações padrões de desempenho e a respectiva documentação associada, o objetivo de uma fase de planejamento do projeto é alcançado através de:

- ✓ Determinação do que será feito, traduzindo este trabalho na forma de uma estrutura analítica do projeto (EAP). A EAP, como insinua o nome, é uma técnica de decomposição de um trabalho em seus elementos componentes, que podem ser exibidos para mostrar o relacionamento entre os elementos entre si e com o todo;
- ✓ Estabelecimento de uma equipe de projeto baseada nas principais tarefas. Esta equipe de projeto, trabalhando com a organização funcional existente, determina **o quem**, do esforço funcional de um projeto;
- ✓ Unindo as tarefas e recursos que determinam **quem faz o quê**, através do desenvolvimento de uma matriz linear de responsabilidade;

- ✓ Criação de um importante planejamento e controle da documentação, para a derivação subsequente nos critérios de programação e custos através de uma estrutura integrada;
- ✓ Desenvolvimento de um diagrama de rede, talvez, associado à análise CPM ou PERT. Esta rede é então traduzida em um cronograma, levando em consideração as restrições de recursos e outras prioridades do projeto. Isto define então **o quando** do esforço do projeto funcional;
- ✓ Estabelecimento da força de trabalho⁷³, instalações e requisitos de subcontratados por tarefa. Baseados nesses fatores são desenvolvidas as estimativas de custos das tarefas e subtarefas, que servirão de referência para o controle de projeto.

Finalmente, depois da integração dos elementos componentes, e após a resolução de problemas, o plano global é submetido à aprovação do gerente geral.

Cleland (1983, p. 389) sugere as seguintes técnicas para serem usadas no planejamento e controle de projetos:

- ✓ Estrutura analítica do projeto (EAP);
- ✓ Gráficos de planejamento de projetos (Gantt);
- ✓ Diagramas de rede;
 - Diagrama de precedência;
 - Diagrama CPM ou PERT.
- ✓ Método do caminho crítico (CPM);
- ✓ Técnica de avaliação e análise de programa (PERT);
- ✓ Análise de rede usando dados históricos;
- ✓ Simulação de rede;
- ✓ Simulações usando dados históricos;
- ✓ Técnica de avaliação e análise gráfica (GERT);
- ✓ Linha de balanceamento (LOB⁷⁴).

⁷³ Manpower, no original.

⁷⁴ Line of balance, no original.

Algumas destas técnicas são extremamente úteis e amplamente usadas. Outras não são muito utilizadas, pois são complicadas ou requerem manipulação de grandes volumes de dados.

Nesta dissertação somente serão analisadas as seguintes técnicas voltadas ao gerenciamento de prazos: Gantt, CPM, Corrente Crítica e Simulação de Monte Carlo.

Kezsbom; Schilling e Edward (1989, p. 61) citam basicamente os itens mencionados anteriormente, salientando que “o planejamento do projeto deve levar em conta os objetivos e estratégias do projeto, um evolucionário planejamento pelo ciclo de vida do projeto e a preparação de um plano sumariado do projeto”.

De acordo com Lewis (1995), o plano deve cobrir os tópicos gerais seguintes:

- ✓ **Premissas:** devem ser documentadas claramente todas as premissas que foram usadas para desenvolver o plano. Caso contrário, as estimativas e outros aspectos do plano são difíceis de serem entendidos;
- ✓ **Uma declaração do problema:** uma definição do problema a ser resolvido pelo projeto;
- ✓ **Declaração da missão:** um resumo da meta e propósito globais do projeto, identificando o cliente e esboçando a abordagem geral a ser seguida para fazer o trabalho. Não ter declaração de missão é inaceitável para qualquer tamanho de projeto;
- ✓ **Estratégia do projeto:** a declaração de missão só provê a declaração mais superficial da abordagem para o trabalho do projeto. Uma declaração mais específica é necessária, para que outras pessoas na organização possam decidir se a abordagem proposta se ajusta com as estratégias preferidas pela alta administração;
- ✓ **Declaração do escopo do projeto:** esta é uma declaração do que vai e não vai ser feito no projeto. Estabelece limites, para que o cliente saiba o que ele receberá quando o projeto for concluído;
- ✓ **Objetivos do projeto:** estes incluem objetivos técnicos, lucro, performance, qualidade e outros. Os principais objetivos do projeto

devem ser explicitados por escrito, evitando a má compreensão dos membros da equipe provendo foco ao longo da vida do projeto;

- ✓ **Análise do desdobramento da função qualidade**⁷⁵ (QFD): QFD ou algum outro meio de traduzir as necessidades do cliente em soluções deve ser parte do plano;
- ✓ **Requisitos contratuais**: liste todos os itens entregáveis, incluindo relatórios, protótipos, documentação, sendo uma boa prática possuir um produto a ser entregue a cada marco principal do projeto, facilitando a avaliação do progresso;
- ✓ **Crítérios de encerramento de fase**: cada portão ou *milestone* deve possuir critérios, para determinar se o projeto deve prosseguir para uma próxima fase, ou se o trabalho está realmente encerrado;
- ✓ **Especificações do produto final**: deve incluir especificações de engenharia, especificações funcionais, códigos de construção, regulamentos de governo e especificações de desempenho de mercado, que posicionam um produto contra seus competidores. Pode ser usado o desdobramento da função de qualidade para transformar os requisitos do cliente em critérios de engenharia e de produção;
- ✓ **Estrutura analítica do projeto (EAP ou WBS)**: este é o coração do plano, é a principal ferramenta de integração. Estabelece uma forma de calcular a necessidade de recursos, orçamento total do projeto e de apresentar a programação do trabalho. Também fornece uma exibição visual excelente do escopo do projeto. Finalmente, pode ser usada como um ponto de referência através do qual é possível controlar o progresso;
- ✓ **Programação**: o plano tem que incluir os principais marcos, junto com a programação detalhada das tarefas que serão usadas pelas pessoas que realizam o trabalho. Os marcos são datas nas quais devem ser completadas porções fundamentais do trabalho do projeto, e, sempre que possível, deve associar um produto a ser entregue. Por meio da

⁷⁵ Quality function deployment - QFD, no original.

requisição de algo tangível em um marco, é mais fácil para avaliar se o marco realmente atendeu aos requisitos. Além de marcos, as programações de tarefas são os cronogramas detalhados, que mostram como os diversos marcos serão alcançados;

- ✓ **Necessidade de recursos:** recursos incluem as pessoas, equipamentos, instalações e materiais. Em função de as organizações possuírem limitações de recursos, o sucesso em gerenciar projetos depende fundamentalmente do uso eficiente e efetivo desses recursos.

De forma similar, Burke (1999) sugere os seguintes passos para planejamento do projeto:

- ✓ Termo de referência (*project charter*);
- ✓ Estudo de viabilidade;
- ✓ Ciclo de vida do projeto;
- ✓ Declaração de escopo;
- ✓ Estrutura analítica do projeto – EAP (WBS);
- ✓ Estrutura organizacional do projeto (OBS);
- ✓ Método do caminho crítico;
- ✓ Cronograma de barras (*schedule bar chart*);
- ✓ Programação de suprimento;
- ✓ Histograma de recursos;
- ✓ Orçamento e fluxo de caixa;
- ✓ Plano de comunicação;
- ✓ Plano da qualidade do projeto;
- ✓ Plano de gerenciamento de riscos;
- ✓ Plano de referência.

Já para Archibald (1992), o controle de projetos é estabelecido por:

- ✓ Estabelecimento de metas e objetivos realistas;
- ✓ Definição das tarefas a serem executadas;
- ✓ Planejamento e programação das tarefas em função dos recursos necessários e disponíveis;

- ✓ Medição do progresso e do desempenho através de um sistema estabelecido e apropriado;
- ✓ Tomar ações corretivas apropriadas para cada colaborador do projeto quando o progresso não estiver de acordo com os planos, ou quando estes devem ser revisados;
- ✓ Resolução de conflitos de programação e recursos, conduzindo os conflitos não resolvidos aos níveis, sucessivamente, mais altos da gerência, até que uma resolução possa ser alcançada.

No modelo proposto pelo PMI (2004), o grupo de processos de planejamento desenvolve o planejamento através de múltiplos processos. A Figura 2.32 apresenta um fluxograma simplificado dos processos de planejamento.

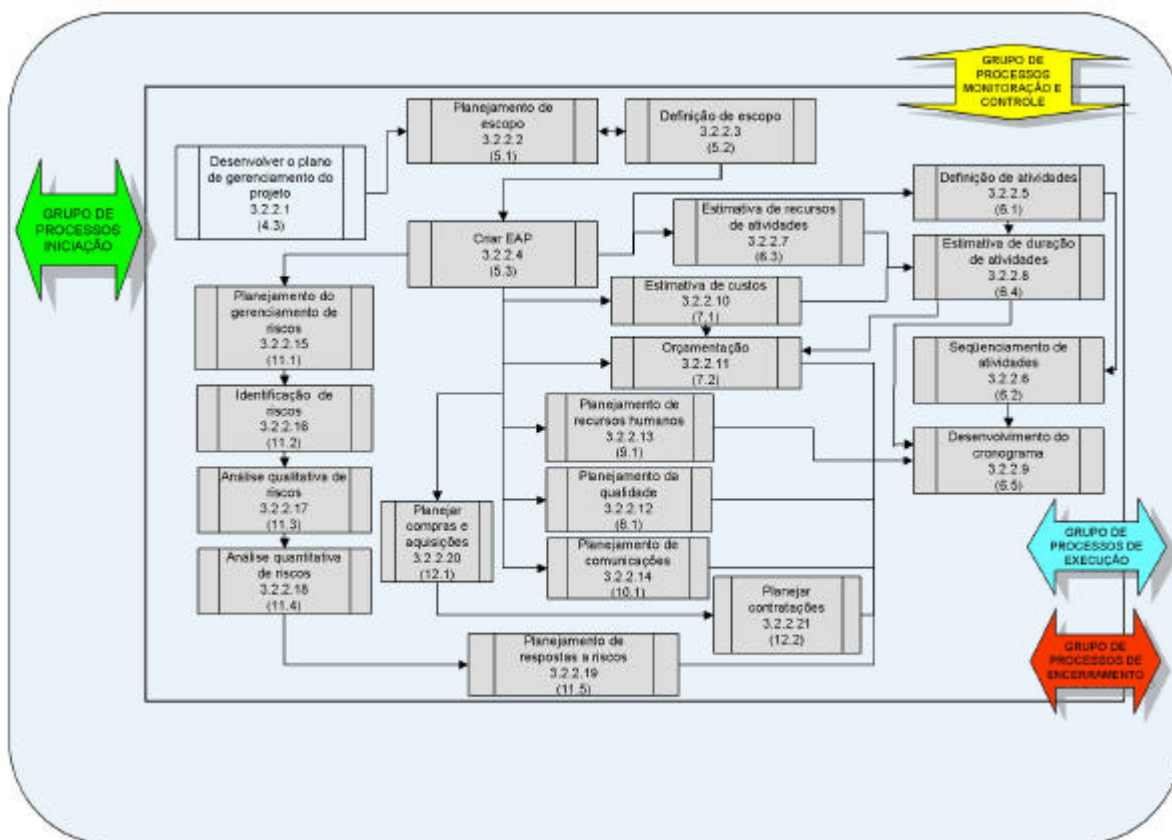


Figura 2.32 - Fluxograma simplificado dos processos de planejamento.

Fonte - PMI (2004, p. 47).

A seguir são apresentados os processos que a equipe do projeto deve considerar durante o processo de planejamento para decidir se eles precisam ser realizados e, se necessário, por quem. Conforme o PMI (2004), o grupo de processos de

planejamento inclui os seguintes processos de gerenciamento de projetos:

✓ **Desenvolvimento do plano de gerenciamento do projeto**

É o processo necessário para definir, preparar, integrar e coordenar todos os planos subsidiários em um plano de gerenciamento do projeto.

✓ **Planejamento do escopo**

É o processo de criação de um plano de gerenciamento do escopo do projeto que documenta como o escopo do projeto será definido, verificado, controlado, e como a estrutura analítica será criada e definida.

✓ **Definição do escopo**

É o processo de desenvolvimento de uma declaração detalhada do escopo do projeto como base para futuras decisões do projeto.

✓ **Criação da EAP**

É o processo necessário para subdividir os principais produtos⁷⁶ do projeto e do trabalho do projeto, em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis.

✓ **Definição de atividades**

É o processo que identifica as atividades específicas que devem ser realizadas para produzir os vários produtos do projeto.

✓ **Seqüenciamento de atividades**

É o processo que identifica e documenta as dependências entre as atividades da programação.

✓ **Estimativa de recursos de atividades**

É o processo necessário para estimar os tipos e as quantidades dos recursos necessários para executar cada atividade da programação.

✓ **Estimativa de duração de atividades**

⁷⁶ *Deliverables*, no original.

É o processo necessário para estimar o número de períodos de trabalho que serão necessários para concluir as atividades específicas da programação.

✓ **Desenvolvimento da programação**

É o processo que analisa as seqüências de atividades, a necessidade de recursos e restrições para criar o cronograma do projeto.

✓ **Estimativa de custos**

É o processo necessário para desenvolver uma aproximação dos custos dos recursos necessários para concluir as atividades do projeto.

✓ **Orçamentação**

É o processo de agregar os custos estimados das atividades individuais ou pacotes de trabalho para estabelecer uma referência dos custos⁷⁷.

✓ **Planejamento da qualidade**

É o processo necessário para identificar que padrões de qualidade são relevantes para o projeto e determinar como satisfazê-los.

✓ **Planejamento de recursos humanos**

É o processo necessário para identificar e documentar papéis, responsabilidades e relações hierárquicas do projeto, assim como criar o plano de gerenciamento de pessoal.

✓ **Planejamento das comunicações**

É o processo necessário para determinar as necessidades de informação e de comunicação dos interessados no projeto⁷⁸.

✓ **Planejamento do gerenciamento de riscos**

É o processo no qual se decidirá como serão abordadas, planejadas e executadas as atividades de gerenciamento de riscos de um projeto.

✓ **Identificação de riscos**

⁷⁷ *Cost baseline*, no original.

⁷⁸ *Project stakeholder*, no original.

É o processo necessário para determinar quais riscos poderão afetar o projeto e documentar suas características.

✓ **Análise qualitativa de riscos**

É o processo necessário para priorizar os riscos para subsequente análise ou ação adicional através de avaliação e combinação de sua probabilidade de ocorrência e impacto.

✓ **Análise quantitativa de riscos**

É o processo necessário para analisar numericamente os efeitos dos riscos identificados nos objetivos globais do projeto.

✓ **Planejamento de respostas a riscos**

É o processo necessário para desenvolver opções e ações para aumentar as oportunidades e reduzir as ameaças aos objetivos do projeto.

✓ **Planejar compras e aquisições**

É o processo necessário para determinar o que comprar ou adquirir, e quando e como fazer isso.

✓ **Planejar contratações**

É o processo necessário para documentar os requisitos de produtos, serviços e resultados e identificar fornecedores potenciais.

2.1.5.5 Responsabilidade pelo planejamento

Os planos ajudam a coordenação e comunicação, fornecendo uma referência para controle, sendo necessários para satisfazer os requisitos, ajudando a evitar problemas. Os planos são veículos para delegar partes da tripla restrição ao nível mais baixo (tarefas ou subtarefas) de reportagem. Rosenau (1992) alerta que, se as pessoas responsáveis por essas tarefas também participarem da elaboração dos planos, elas serão influenciadas a “fazerem as coisas acontecerem”, proporcionando uma maior consistência a eles. Portanto, existe uma regra de ouro para planejar.

Coloque as pessoas que realizarão o trabalho para planejá-lo, pois:

- ✓ Elas devem saber mais sobre ele do que qualquer outra;
- ✓ Isto é tarefa delas, e não sua.

Quando o plano estiver concluído, ele deve ser submetido à aprovação dos principais interessados. Uma vez que o plano tenha sido aprovado, ele fornece ao gerente de projeto a autoridade para executar e controlar o projeto. Toda mudança significativa na abordagem ou outras revisões do plano, elaboradas após a aprovação inicial, deve ser comunicada aos principais interessados e aprovada (LEWIS, 1995).

Segundo Kerzner (2006, p. 395), “as responsabilidades mais importantes de um gerente de projetos são planejamento, integração e execução de planos. Quase todos os projetos necessitam de um planejamento formal e detalhado, devido à sua duração relativamente curta e freqüente priorização do controle de recursos”.

No entender de Kerzner (2006, p. 396):

O gerente de projetos é a chave para o sucesso do planejamento de projetos. É desejável que o gerente de projetos seja envolvido desde a concepção do projeto até a sua execução. O planejamento de projetos deve ser sistemático, flexível o bastante para lidar com atividades únicas, disciplinado através de revisões e controles, e ser capaz de aceitar insumos multifuncionais. Gerentes de projetos bem-sucedidos consideram que o planejamento de projetos é um processo interativo e que deve ser realizado ao longo da vida do projeto.

Normalmente, em um projeto, as aprovações realmente dependem de uma série de autorizações. O gerente de projetos é autorizado a direcionar as atividades, gastar dinheiro (normalmente dentro de limites aprovados), requisitar recursos e pessoas, e iniciar o projeto. A aprovação do gerente sênior não apenas sinaliza sua vontade de financiar e dar suporte ao projeto, mas também notifica as diversas áreas da organização, que elas podem comprometer recursos para o projeto (MERIDITH; MANTEL, 2000).

O proprietário do projeto é quem coloca dinheiro para financiar o projeto. Em tal financiador do projeto, resta responsabilidade de ver se aqueles fundos são usados de maneira prudente e racional. Isto requer uma adequada avaliação dos riscos do

projeto, planos do projeto, monitoração, avaliação e controle dos recursos utilizados no projeto. Além disso, uma decisão do proprietário de financiar um projeto afeta uma variedade de “interessados” que têm, ou acreditam que possuem, uma participação no projeto e no seu resultado. Em alguns casos alguns destes interessados irão requerer seus direitos legais se o projeto não atingir suas expectativas particulares. A lei estabelece que o gerente de projeto possua a responsabilidade legal para o gerenciamento estratégico de projetos (CLELAND, 1999).

Cleland (1999, p. 107) alerta que “os proprietários do projeto não podem deixar a outros a responsabilidade para medir continuamente o sucesso do projeto, até mesmo contratantes e construtores experientes no gerenciamento de projetos”.

Foxhall⁷⁹ (apud CLELAND, 1999, p. 107) explica que:

O proprietário deve reconhecer que ele é o membro-chave da equipe de desenvolvimento do projeto. Só ele pode selecionar e organizar a equipe profissional, definir suas próprias necessidades, estabelecer suas prioridades e tomar as decisões finais. Ele não pode delegar estes papéis, portanto ele deve ter uma presença sustentável no gerenciamento do projeto.

“O proprietário do projeto claramente tem responsabilidade para a eficiência e eficácia de um contratante envolvido no projeto. Isto requer um sistema de vigilância para saber o que o contratante está fazendo e qual é o seu desempenho” (CLELAND, 1999, p. 107).

Archibald (1992, p. 178) salienta que:

O gerenciamento de projeto efetivo requer ter um bom planejamento, programação, estimativas, orçamento, autorização de trabalho, monitoramento, relatórios, avaliações e métodos e procedimentos de controle. Requer não só ter tais métodos e procedimentos, mas também que o gerente de projeto:

- ✓ Entenda e realmente utilize esses métodos e procedimentos;
- ✓ Desenvolva o planejamento dos principais trabalhos no nível de

⁷⁹ William B. Foxhall, “Professional Construction Management and Project Administration”, *Architectural Record*, March 1972, p. 57-58.

cronograma *master*⁸⁰ e forneça direção adequada a aqueles que executam o planejamento detalhado e controle do trabalho;

- ✓ Estabeleça e mantenha o controle efetivo do projeto;
- ✓ Assegure que todos os planos e programação são adequados e válidos;
- ✓ Assegure que as funções de planejamento e controle sejam executadas corretamente.

No entender de Meredith e Mantel (2000, p. 184):

É crucial que os objetivos do projeto sejam claramente relacionados com a missão geral da empresa. A alta administração deve definir a intenção da empresa em empreender o projeto, delineando o seu escopo e descrevendo seus resultados desejáveis. Sem um começo claro, o planejamento do projeto pode facilmente dar errado. É também vital que a alta administração chame e esteja presente na reunião de lançamento do projeto⁸¹, uma reunião inicial de coordenação, como um símbolo visível do comprometimento da alta administração com o projeto.

O PMI (2004, p. 46) evidencia a importância do comprometimento dos diversos interessados para com o plano, salientando que:

Durante o planejamento do projeto, a equipe do projeto deve envolver todos os interessados apropriados, dependendo da influência deles no projeto e em seus resultados. Os principais interessados devem ser envolvidos no planejamento do projeto, pois eles possuem habilidades e conhecimentos que podem ser aproveitados no desenvolvimento do plano do projeto e em quaisquer planos auxiliares. A equipe do projeto deve criar um ambiente, no qual as partes interessadas possam contribuir adequadamente⁸².

⁸⁰ Master schedule, no original.

⁸¹ Project launch meeting, no original.

⁸² Tradução própria.

2.2 TÉCNICAS TRADICIONAIS UTILIZADAS NO GERENCIAMENTO DE PRAZOS EM PROJETOS

2.2.1 Introdução

O gerenciamento de projetos de hoje em dia é associado ao desenvolvimento do gráfico de barras por Henry Gantt (por volta de 1900) e às técnicas desenvolvidas durante os projetos militares e aeroespaciais de 1950 e 1960 na América e Grã-Bretanha. Embora Henry Gantt possa ser reconhecido como o pai das técnicas de planejamento e controle, é amplamente aceito que a origem do gerenciamento de projetos dos dias modernos se deu nos anos 50. As décadas de 1950 e 1960 observaram o desenvolvimento de muitas técnicas e ferramentas especiais de gerenciamento de projetos, como, por exemplo, o CPM e o PERT (BURKE, 1999).

Cleland e Ireland (2002, p. 200) destacam que “o cronograma é um dos requisitos básicos do planejamento de projetos. Durante os últimos 50 anos, o planejamento amadureceu e os recursos a ele associados, aprimorados significativamente, agora se encontram à disposição de quase todos os projetos que queiram utilizar cronogramas”.

Até o advento dos métodos do caminho crítico, não havia um procedimento formal, geralmente aceito, para auxiliar no gerenciamento de projetos. Cada gerente tinha o seu próprio planejamento que freqüentemente envolvia o uso de gráficos de barras, ou Gráfico de Gantt, que se mostrou uma ferramenta inadequada como forma de descrever os inter-relacionamentos complexos entre as atividades existentes em um projeto (MODER em CLELAND; KING, 1988).

Segundo Moder; Phillips e Davis (1983), esta insuficiência foi resolvida com a contribuição significativa de Karol Adamiecki em 1931, que desenvolveu uma metodologia em um formulário que ele chamou de Harmonygraph, essencialmente um gráfico de barras, rotacionado 90 graus, com uma escala de tempo vertical, que possui uma coluna para cada atividade e apresenta uma forma de inter-relacionamento entre as atividades do projeto.

A força dos diagramas de rede reside na assistência que ela provê no planejamento ou simulação de um projeto proposto, possuindo um valor considerável em isolar abordagens alternativas, os cenários “*what if*”, à medida que o desempenho do projeto não é satisfatório, e outros métodos precisam ser encontrados para concluir o projeto (FLEMING, 1998).

- ✓ A alta administração busca continuamente novas e melhores técnicas de planejamento, programação e controle para enfrentar as complexidades, massas de dados e prazos finais apertados, que são características das indústrias altamente competitivas. A alta administração também deseja melhores métodos para apresentação de dados técnicos e de custos aos clientes.

Segundo Kerzner (2006, p. 472), estas técnicas de planejamento e programação de rede apresentam as seguintes vantagens:

- ✓ Formam a base para todo o planejamento, prevendo e ajudando a alta administração a decidir como usar seus recursos para alcançar os objetivos de tempo e custos;
- ✓ Provêem visibilidade possibilitando à alta administração controlar cada um de seus programas;
- ✓ Ajudam a alta administração a avaliar alternativas respondendo questões tais como: quanto tempo um atraso vai influenciar a conclusão do projeto, onde existem folgas entre os elementos e quais elementos são cruciais para alcançar a data de conclusão;
- ✓ Fornecem uma estrutura básica para reportagem de informações;
- ✓ Revelam as interdependências entre atividades;
- ✓ Facilitam exercícios de “*What if*”;
- ✓ Identificam o caminho mais longo ou o caminho crítico;
- ✓ Ajudam a análise de riscos da programação.

Goodpasture (2004), ao apresentar as técnicas quantitativas para o Gerenciamento de Prazo, parte de duas premissas principais:

- ✓ Os marcos principais do programa que caracterizam o real desenvolvimento do valor do negócio são identificados e usados para direcionar o projeto ao seu nível mais elevado;

- ✓ A lógica do programa é encontrada nas programações detalhadas do projeto. As programações de níveis inferiores estão na forma de diagrama de rede, preferencialmente os “métodos do diagrama de precedências (PDM)”, associado com os vários produtos da estrutura analítica do projeto (EAP).

A primeira premissa é essencial, mais até mesmo do que a segunda, porque os marcos do programa amarram o valor do negócio para um dos elementos mais essenciais da qualidade: o momento oportuno. O custo do projeto é freqüentemente pequeno se comparado aos custos totais do ciclo de vida de custeio⁸³, mas os retornos do projeto podem bem ser comprometidos se a oportunidade não é alcançada. A segunda premissa trata dos diagramas de rede, que estabelecem a “lógica” detalhada do projeto, sendo que por lógica entende-se a ligação mais apropriada entre as atividades e os produtos na EAP. A programação do projeto é obtida através das dependências entre as tarefas, identificando qual tarefa deve vir primeiro e, posteriormente, por meio da associação das durações e dos esforços a cada atividade, pode-se determinar a duração total do projeto.

Para que haja sucesso na implantação de um plano, de acordo com Archibald (1992, p. 225), a programação deve cobrir todas as principais atividades que precisam ser realizadas para completar a tarefa, conforme definido na declaração de escopo. Ela deve:

- ✓ Ser preparada pelo gerente responsável ou pelo líder funcional do projeto e negociada com o gerente de projetos;
- ✓ Incorporar todas as interfaces relacionadas e eventos da programação *master* do projeto;
- ✓ Mostrar um número razoável de atividades específicas que podem ser relacionadas a custo, mão-de-obra, material, ou outros requisitos de recursos;
- ✓ Possibilitar a monitoração e avaliação do progresso;
- ✓ Refletir não somente os requisitos da programação do projeto, mas também os requisitos da organização funcional e recursos, considerando as demais tarefas da organização.

A qualidade de um plano é avaliada, freqüentemente, em termos da quantidade de

⁸³ Life cycle costs – LCC, no original.

detalhe que ele contém. Em decorrência deste preceito, às vezes, os planejadores tendem a incorporar um maior grau de detalhe em seus planos, esquecendo-se de que a principal ênfase na preparação de um diagrama de rede deve estar em planejar o projeto, por meio de uma abordagem sólida e concreta, modelando o que deve ser realizado para que o projeto atinja seus objetivos. Uma vez que isto for concluído, o diagrama de rede se torna um meio para descrever o plano do projeto (CLELAND; KING, 1983).

Cleland e King (1983, p. 400) sugerem algumas diretrizes para estabelecer o nível correto de detalhe para projetos de tamanhos e durações significativas:

- ✓ As atividades devem representar esforços⁸⁴ que exigem de quatro a seis semanas de duração;
- ✓ O nível de detalhe deve ser um nível abaixo do nível de responsabilidade, por exemplo, a rede para o desenvolvimento da engenharia de um sistema deve conter as atividades e eventos que pertencem à engenharia de cada subsistema;
- ✓ Devem ser incluídas atividades e eventos padrões que foram utilizados em diagramas de rede preparados em projetos similares.

Entretanto, Cleland e King (1983) alertam que estas diretrizes não podem ser efetivamente aplicadas de modo universal. Atividades com durações de quatro a seis semanas e a determinação do nível correto de detalhamento de um diagrama de rede é um assunto que requer experiência e julgamento. A maneira lógica pela qual um diagrama de rede é preparado faz com que sejam incorporados mais detalhes do que normalmente é fornecido em outras técnicas de planejamento. Isto freqüentemente acontece em redes de projetos de grande porte, onde muitas pessoas de organizações diferentes participam na sua preparação. Em tais casos, é melhor fixar o nível de detalhe a ser usado em uma rede básica (planejamento master) e, depois que essa rede básica for revisada e aprovada, é estabelecido o nível apropriado de detalhe, sendo então iniciada uma segunda sessão de elaboração dos diagramas de rede, retratando o nível apropriado de detalhe.

Além das observações acima, com o uso de recursos automatizados, quase todos os componentes da equipe de projetos podem participar da execução de um

⁸⁴ Effort, no original.

planejamento, conseqüentemente os cronogramas gerados variam em sofisticação, grau de detalhe e utilidade, dependendo do conhecimento que se tenha a respeito das práticas de planejamento. Há uma tendência tanto de se exagerar no detalhamento do cronograma, quanto de mantê-lo extremamente sumariado. Cleland e Ireland, (2002) alertam que, de modo geral, o planejador não identifica o equilíbrio certo.

Evidentemente essas recomendações referentes ao nível de detalhe que deve ser utilizado no planejamento, devem ser usadas com muito critério, pois elas dependem do tamanho e complexidade dos projetos. Em projetos de pequeno porte, como por exemplos os projetos de TI, é possível a utilização de atividades de quatro a seis semanas de duração. Alguns autores, como a Rita Mulcahy (2002) sugerem a utilização de “pacotes de trabalho” de até duas semanas de duração. Por outro lado, em projetos de grande porte, como por exemplo, a implantação de uma nova unidade industrial, essas regras não são aplicáveis.

Outro problema que envolve o planejamento são as definições dos termos usados por diferentes autores e fabricantes de ferramentas de gerenciamento de projetos. Ainda não existe uma terminologia definida, nem em inglês, nem em português. Alguns se referem ao cronograma como um plano de projeto, outros designam as ações detalhadas no cronograma como atividades, tarefas ou blocos de trabalho. CLELAND; IRELAND, (2002) salientam que é preciso uma padronização da terminologia para assegurar que os componentes da programação sejam comunicados de forma uniforme.

- ✓ Meredith e Mantel (2000, p. 307), ao apresentarem as técnicas de diagramação de rede⁸⁵ PERT e CPM, afirmam que:

Iremos escrever “PERT / CPM” quando a distinção não é importante. Originalmente, entretanto, o PERT foi orientado estritamente para o elemento tempo dos projetos, utilizando estimativas probabilísticas para a duração das atividades para ajudar na determinação da probabilidade de um projeto ser concluído em algumas datas fornecidas. O CPM, por outro lado, usa estimativas determinísticas para a duração das atividades, sendo desenvolvido para controlar tanto o aspecto tempo quanto custos de um

⁸⁵ Network Techniques: PERT and CPM, no original.

projeto, em particular o balanceamento entre tempo / custo. No CPM, as atividades podem ser aceleradas ou compactadas⁸⁶ por um custo extra para acelerar o tempo de conclusão. As duas técnicas identificam um caminho crítico do projeto cujas atividades não podem ser atrasadas, e também indicam atividades com folga, que podem ser de alguma forma atrasada sem prolongar a data de conclusão do projeto. Alguns escritores insistem em uma diferenciação estrita entre o PERT e o CPM. Isto nos soa desnecessário. Um pode estimar datas probabilísticas pelo CPM, e compactar as redes PERT.⁸⁷

Na medida que os algoritmos de processamento são semelhantes, diferindo estritamente na abordagem determinística versus probabilística da dimensão prazo, é possível tratar da compressão e descompressão de redes (quanto as suas durações) em ambas abordagens.

Por outro lado, uma rede processada segundo o algoritmo CPM pode servir como ponto de partida para tratamentos estocásticos, tal como o Método de Monte Carlo, que será visto adiante no presente trabalho. Porém, isto não significa que o CPM, por si mesmo, seja capaz de calcular dados probabilísticos, dado que não contempla o tratamento de informações desta natureza.

2.2.2 Definição das atividades

Uma forma de construir uma lista de tarefas ou atividades é usar a estrutura analítica do projeto (EAP) que é baseada tanto em produtos⁸⁸ como em fases. Levine (2002) recomenda a utilização de uma EAP combinada, em que o primeiro nível representa as fases (ou ciclo de vida do projeto) e o próximo nível representa os produtos pertencentes a cada fase. A EAP é então desenvolvida até os níveis mais baixos, como os principais componentes, subconjuntos, ou marcos⁸⁹ pertencentes a cada

⁸⁶ Crashed, no original.

⁸⁷ Tradução própria.

⁸⁸ Deliverables, no original.

⁸⁹ Milestones, no original.

produto, até chegar aos pacotes de trabalho⁹⁰.

A estrutura analítica do projeto (EAP) fornece uma divisão estruturada do escopo do trabalho em pacotes de trabalho gerenciáveis que serão decompostos posteriormente em uma lista de atividades (BURKE, 1999).

O processo de definição das atividades do cronograma envolve identificar e documentar o trabalho planejado para ser realizado. O processo de Definição de Atividades identifica as entregas no nível mais baixo da estrutura analítica do projeto – EAP, que são os pacotes de trabalho (PMI, 2004).

Tanto Burke (1999) como o PMI (2004) consideram que uma atividade pode ser definida como qualquer tarefa, trabalho ou operação que deve ser realizada para completar o pacote de trabalho ou projeto. Um pacote de trabalho da EAP pode ser subdividido ou decomposto em um ou mais componentes menores, chamados atividades. Os termos atividade, tarefa, trabalho são freqüentemente usados de forma intercambiável, conforme já mencionado anteriormente.

De acordo com Lewis (1995), Meredith e Mantel (2000), uma atividade (ou tarefa) é qualquer porção do projeto que requer tempo ou recursos, ela possui um início e um término que podem ser medidos. As atividades incluem documentos, trabalho, negociações, operações de máquinas, compras, e assim por diante. Quando uma atividade representa uma compra com prazo de entrega ou períodos de espera de licença, ela é inserida na programação para refletir que o trabalho subsequente só pode ser realizado depois que aquele tempo de espera tenha passado. Tal prazo de entrega pode ser a aquisição de peças ou materiais, a cura do concreto e assim por diante. Usando a terminologia da EAP, uma atividade pode ser uma subtarefa, um pacote de trabalho ou um nível de esforço, dependendo do nível de detalhe desejado na programação.

A Norma ABNT (2000, p. 7) recomenda que:

- ✓ O projeto seja sistematicamente estruturado em atividades gerenciáveis para atender as necessidades de produtos e processos para o cliente;
- ✓ Ao se definir atividades, a administração do projeto envolva as pessoas que realizarão as atividades, para aproveitar as respectivas experiências,

⁹⁰ Work packages (WP), no original.

nivelar conhecimentos e obter comprometimento;

- ✓ Definir cada atividade de tal maneira que os resultados sejam mensuráveis;
- ✓ Seja verificado se a lista de atividades ficou completa, incluindo as práticas da qualidade, avaliações de progresso e preparação de um Plano do Projeto;
- ✓ As interações entre as atividades e as interfaces entre o projeto e as partes interessadas sejam identificadas e documentadas.

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 24-25), associando as atividades aos diagramas de rede, definem a atividade como:

Qualquer porção de um projeto que consome tempo ou recursos e que possui um início e um término definidos. As atividades podem envolver trabalho, documentação, negociações contratuais, operações de máquinas, etc. Os termos comumente usados como sinônimos de “atividade” são “tarefa⁹¹” e “trabalho⁹²”. No diagrama de flechas, as atividades são graficamente representadas por flechas, normalmente com descrições e estimativas de tempo escritas junto da flecha (Figura 2.33).

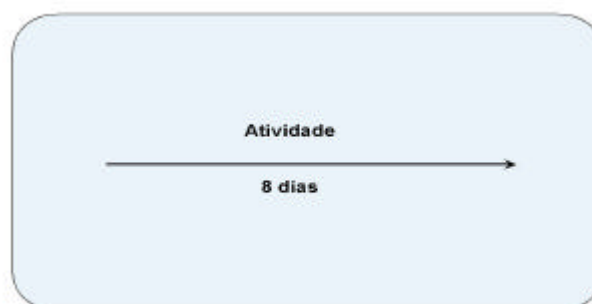


Figura 2.33 - Atividade.

Fonte - Moder, Phillips e Davis (1983, p. 24).

Normalmente, são associados às atividades atributos que incluem identificadores, códigos, descrição, predecessoras, sucessoras, necessidade de recursos, premissas e restrições, antecipações e defasagens, responsável pela execução do

⁹¹ Task, no original.

⁹² Job, no original.

trabalho, área física, tipo de atividade, etc. Esses atributos são usados para o desenvolvimento da programação do projeto e como critérios de seleção, ordenamento e classificação das atividades da programação PMI (2004).

A seguir serão apresentadas algumas definições usadas no planejamento, programação e controle de projetos.

2.2.2.1 Agregação de atividades

Shtub; Bard e Globerson (1994) salientam que a apresentação de um diagrama de rede detalhado de um projeto é de extrema utilidade para a programação, monitoramento e controle do projeto, no nível operacional (curto prazo), mas não é propícia para a alta administração, que necessita de informações no nível tático ou estratégico, que evidentemente são mais focadas e, conseqüentemente, mais sumariadas. Objetivando a distribuição das informações do projeto para a pessoa certa, e no nível de detalhe correto, torna-se necessária a eliminação dos detalhes desnecessários.

Outro fator a ser levado em consideração é que, para projetos que duram diversos anos e incluem centenas de atividades, é provável que apenas uma parte dessas atividades esteja ativa ou necessite de um controle mais rigoroso em qualquer ponto do tempo. Portanto, para facilitar a função gerencial, há uma necessidade de condensar informação e agregar tarefas. As duas ferramentas mais utilizadas para esse propósito são as atividades resumo ou sumariadas⁹³ e os marcos⁹⁴ ou eventos.

⁹³ Hammock activity, no original.

⁹⁴ Milestones, no original.

2.2.2.1.1 Atividade resumo ou sumariada

Quando um grupo de atividades possui um início e um ponto final comum, é possível substituir o grupo inteiro com uma única atividade chamada atividade sumariada. Por exemplo, no diagrama de rede apresentado na Figura 2.34, é possível usar a atividade sumariada entre os eventos 4 e 6. Fazendo-se isto, as atividades F e G são resumidas⁹⁵ em FG, cuja duração da atividade sumariada é igual à duração da seqüência mais longa das atividades que ela sumaria (SHTUB; BARD; GLOBERSON, 1994).

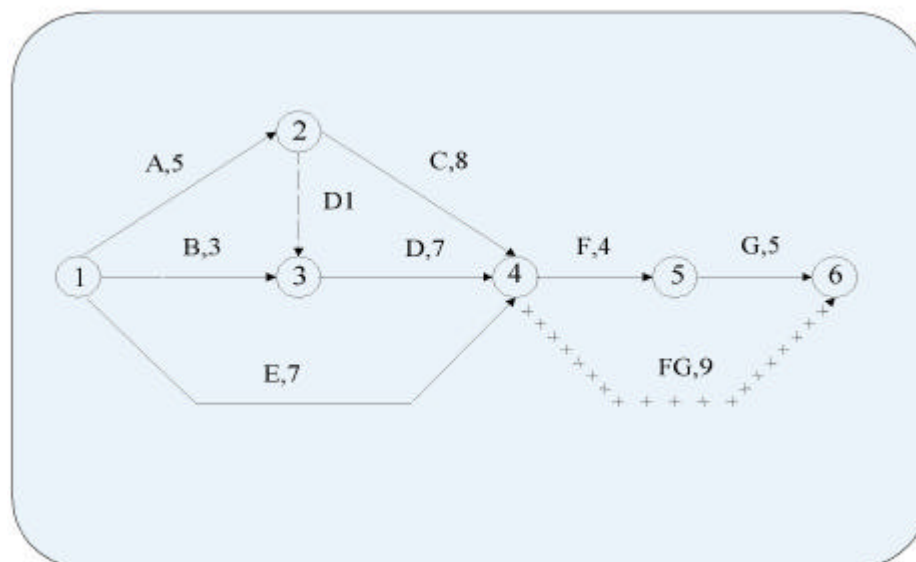


Figura 2.34 - Exemplo de atividade resumo ou sumariada (hammock).

Fonte – Shtub; Bard e Globerson (1994, p. 343).

Se outra atividade sumariada é utilizada para representar A, B, C, D e E, sua duração seria:

$$\max \left\{ \begin{array}{l} L_{12} + L_{24} \\ L_{13} + L_{34} \\ L_{12} + L_{23} + L_{34} \\ L_{14} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 5 + 8 \\ 3 + 7 \\ 5 + 0 + 7 \\ 7 \end{array} \right\} = 13$$

⁹⁵ Collapsed, no original.

Uma atividade resumo ou sumariada⁹⁶ pode cobrir toda a abrangência entre quaisquer dois pontos no diagrama de rede do projeto. Não há necessidade de que elas sejam uma série contínua de atividades, ou que estejam dentro da área de responsabilidade de uma única parte. As atividades resumo podem ser usadas como tarefas resumo auxiliares, para delimitar o período de tempo entre os dois pontos pré-definidos (LEVINE, 2002).

As atividades sumariadas reduzem o tamanho de uma rede enquanto preservam, em geral, informações sobre os relacionamentos de precedência e durações das atividades. Utilizando-se as atividades sumariadas, uma rede de alto nível pode ser criada para apresentar uma sinopse, ou uma visão resumida do projeto, possibilitando um planejamento de médio (tático) em longo prazo (estratégico). A prática comum é desenvolver uma hierarquia de redes, em que os vários níveis correspondem aos níveis da estrutura analítica do projeto ou da estrutura organizacional do projeto⁹⁷. Redes de alto nível contêm muitas atividades sumariadas fornecendo a gerência superior um quadro geral de fluxos, marcos e situação geral, enquanto os diagramas de rede de níveis inferiores, consistindo de atividades singulares, fornecem informações detalhadas da programação para os líderes da equipe. O uso apropriado das atividades sumariadas pode ajudar no fornecimento do nível correto de detalhes, para cada participante do projeto (SHTUB; BARD; GLOBERSON, 1994).

Cumprir salientar que normalmente existem critérios bem claros para se estabelecer as atividades sumariadas, por exemplo, fases do ciclo de vida, pacotes de trabalho, WBS, etc.

Entretanto, alguns softwares, como por exemplo, o Primavera, permite a criação de atividades sumariadas ou “*hammock*”, que permitem agrupar diversas atividades sem seguir uma estrutura lógica, objetivando o agrupamento de atividades para o efeito do processo de comunicação (Figura 2.35).

⁹⁶ Hammock, no original.

⁹⁷ Organizational breakdown structure (OBS), no original.

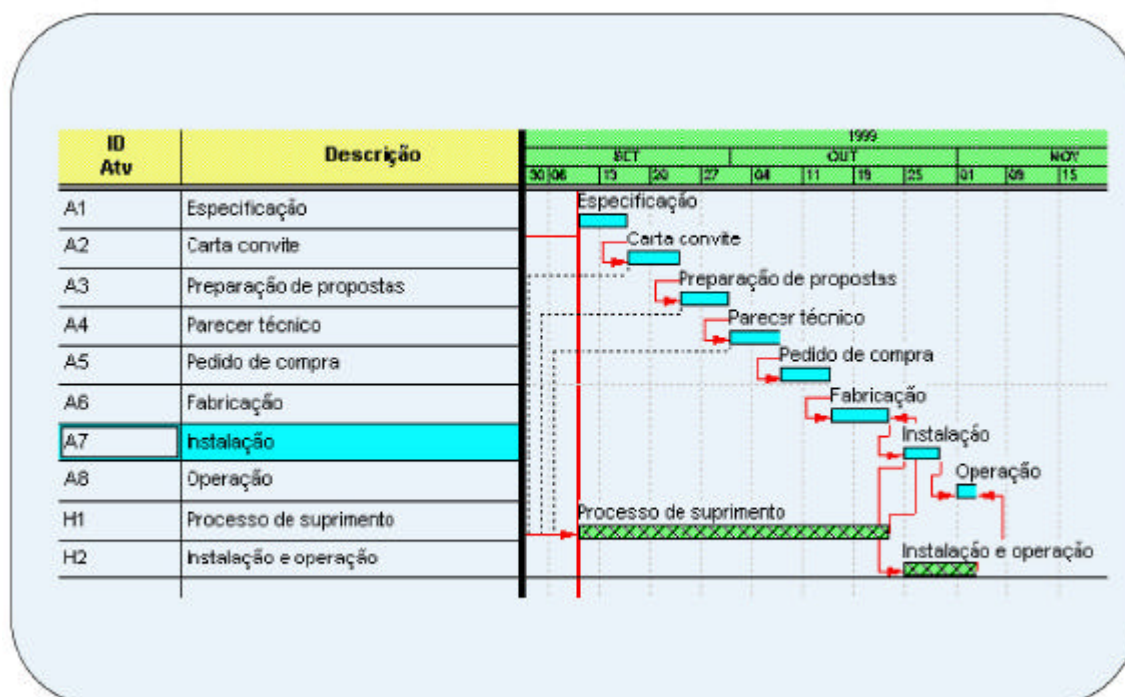


Figura 2.35 - Atividade sumariada (*hammock*).

Fonte - Autor.

2.2.2.1.2 Marcos (*milestones*)

Uma forma para iniciar o desenvolvimento de qualquer programação é definir os principais marcos⁹⁸ para o trabalho a ser realizado. Para facilitar a visibilidade, é freqüentemente conveniente mostrar esta informação em uma linha de tempo, que descreve eventos e as datas de entrega. Uma vez consolidado, o gráfico de marcos resultante se torna o esqueleto para a programação mestre⁹⁹ e seus elementos. Um marco principal é definido como um evento importante no ciclo de vida de um projeto, e pode incluir, por exemplo, a fabricação de um protótipo, o início de uma nova fase, uma reunião para análise da situação, um teste, ou o primeiro embarque marítimo. Idealmente, a conclusão destes marcos deve ser facilmente verificável, mas na realidade a situação é outra, pois sempre há um desejo para fazer um pouco mais de trabalho para corrigir falhas superficiais ou extrair uma melhoria marginal de

⁹⁸ Milestones, no original.

⁹⁹ Master, no original.

desempenho. Isto acarreta atrasos na programação, tornando o controle do projeto mais difícil (SHTUB; BARD; GLOBERSON, 1994).

Um nível mais alto de agregação também é possível com a introdução dos marcos¹⁰⁰ para assinalar a conclusão de atividades significantes. Os marcos são comumente utilizados para assinalar a entrega de bens e serviços, para representar as datas de pagamentos e para assinalar eventos importantes, como, por exemplo, a conclusão de uma análise crítica do projeto. Um marco tanto pode representar a conclusão de uma única atividade (evento 2, na Figura 2.34), como a conclusão de diversas atividades, conforme exemplificado pelo evento 4, que sinaliza a conclusão das atividades **C**, **D** e **E** (SHTUB; BARD; GLOBERSON, 1994; ARCHIBALD, 1992).

Para o PMI (2004, p. 364, 374), o “marco é um ponto ou evento significativo no projeto”. E um “marco do cronograma¹⁰¹ é um evento significativo no cronograma do projeto, como um evento que limita o trabalho futuro ou que determina uma entrega importante. Um marco do cronograma possui a duração nula. Às vezes é chamado de atividade-marco”.

O PMI (2004) sugere que seja elaborada uma lista de marcos que deve considerar todos os marcos do projeto, indicando quais são os marcos obrigatórios (exigidos pelo contrato) e quais são opcionais (baseados nos requisitos do projeto, dados históricos ou que fazem parte do plano estratégico do projeto). Uma ferramenta usada freqüentemente em projetos é o cronograma de marcos, também chamado de cronograma de eventos, que é um cronograma sumariado que identifica os principais marcos da programação (Figura 2.36).

¹⁰⁰ Milestones, no original.

¹⁰¹ Schedule Milestone, no original.

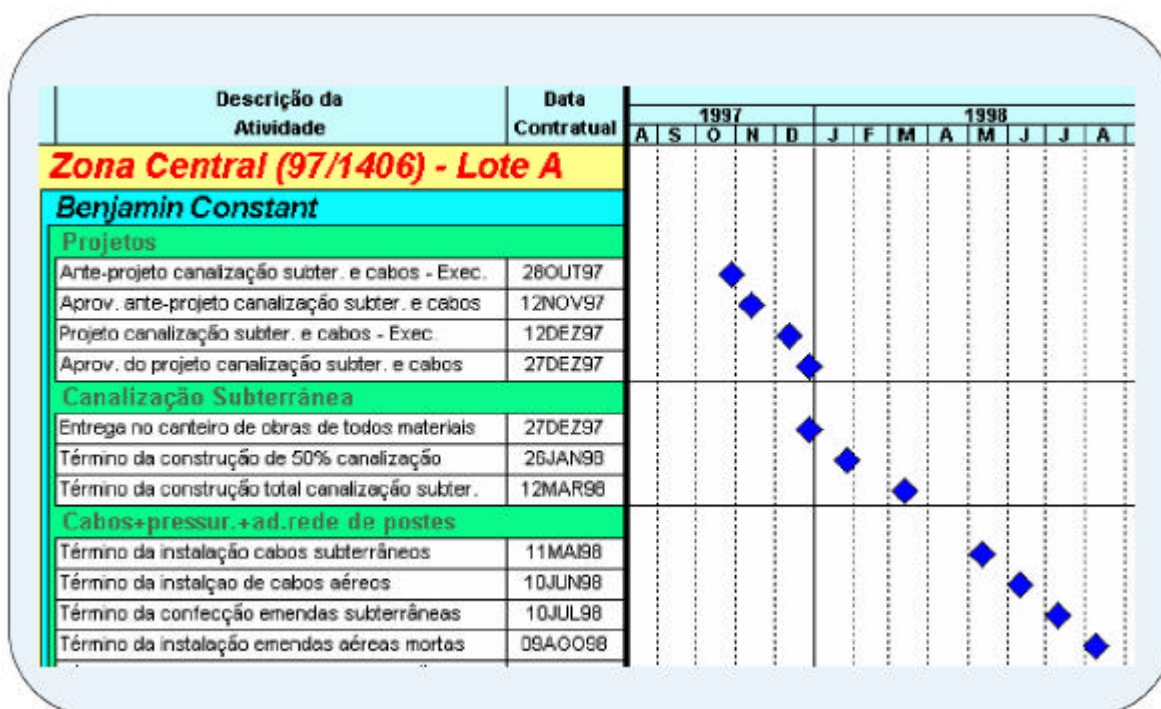


Figura 2.36 – Cronograma de marcos (*milestone schedule*).

Fonte – Autor.

Os principais marcos devem ser definidos para todas as principais fases do projeto. Shtub; Bard e Globerson (1994) alertam que deve ser tomado cuidado para chegar a um nível apropriado de detalhe, pois caso os marcos sejam colocados separadamente e muito distante um do outro, podem ocorrer problemas de continuidade. Por outro lado, muitos marcos podem resultar em trabalho desnecessário, controle excessivo, confusão e aumento de custos. Como uma diretriz para projetos em longo prazo, quatro marcos principais por ano parecem ser suficientes para o controle sem sobrecarregar o sistema.

Goodpasture (2004) define que um cronograma de marcos estabelece o momento oportuno, ou os requisitos de prazo do projeto que provêm de uma necessidade de negócio, que pode ser uma exigência interna para um novo produto, uma nova planta ou processo ou uma nova estrutura organizacional, podendo ser geradas externamente, a partir de agências do governo ou de clientes. O cronograma de marcos deve estar identificado diretamente com valor do negócio, podendo incluir:

- ✓ Respostas no prazo às solicitações para propostas¹⁰² (RFP's) de clientes;
- ✓ Apresentação do produto em feiras de eventos;
- ✓ Alcançar datas externas, regulatórias ou estatutárias;
- ✓ Atingir a data de lançamento de um produto;
- ✓ Entregar certos produtos ao cliente;
- ✓ Alinhar com projetos dependentes e outros para os quais o seu projeto é um componente.

O cronograma de marcos, para certos tipos de “projetos-padrões”, pode ser estabelecido através de um grupo de portões de planejamento, com critérios e produtos bem especificados em cada portão. Um portão é equivalente a um marco, embora tecnicamente um marco não possua duração e o evento em um portão realmente pode levar algum tempo, às vezes uma semana ou mais. Dependendo da natureza e do risco do projeto, tais processos de portões de fases podem, por si mesmos, ser muito complexos, necessitando de equipes independentes de avaliadores em cada portão de processo. Tomado pela sua extensão total, o processo com portões pode necessitar de muitos e extensos documentos internos, para suportar as “exigências¹⁰³” estabelecidas através dos critérios do portão, assim como os documentos para clientes ou usuários, que irão fazer com que o projeto prossiga para a próxima fase.

2.2.2.1.3 *Evento*

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 24) definem os eventos ou nós como:

Os pontos de início e término das atividades são denominados eventos.
Teoricamente, um evento é um ponto instantâneo no tempo. Os sinônimos

¹⁰² Request for proposal (RFP), no original.

¹⁰³ Claims, no original.

são “nós¹⁰⁴” e “conector¹⁰⁵”. Se um evento representa a conclusão conjunta de mais do que uma atividade, ele é denominado um evento de “junção¹⁰⁶”. Se um evento representa a iniciação conjunta de mais de uma atividade, ele é denominado um evento de “dispersão¹⁰⁷”. Um evento é freqüentemente representado graficamente por um círculo numerado (Figura 2.37), embora possa ser representado por qualquer figura geométrica.

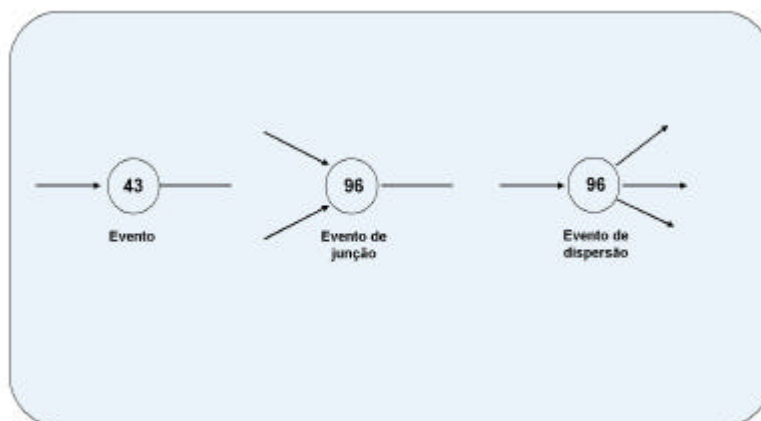


Figura 2.37 - Evento ou nó.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 24).

Observar que também não existe consenso quanto às definições de marcos e eventos. Contrariamente as definições apresentadas anteriormente, Burke (1999, p. 148) apresenta as seguintes definições para eventos¹⁰⁸, marcos¹⁰⁹ e datas principais¹¹⁰:

A principal diferença entre uma atividade e um evento é que um evento possui duração zero, é um ponto no tempo. Um evento, também denominado data-chave ou marco, representa um acontecimento em um dia particular. Um evento pode ser a colocação de uma ordem, a aprovação dos planos, recebimento de produtos ou até mesmo as datas de início e término

¹⁰⁴ Node, no original.

¹⁰⁵ Connector, no original.

¹⁰⁶ Merge, no original.

¹⁰⁷ Burst, no original.

¹⁰⁸ Events, no original.

¹⁰⁹ Milestones, no original.

¹¹⁰ Keydates, no original.

de uma atividade. Os eventos possuem as seguintes características:

- ✓ Um evento não possui duração, é um ponto no tempo. Normalmente é representado por uma atividade com duração nula, sendo simbolizado por um losango;
- ✓ Um evento pode ser o início ou término de uma atividade, pacote de trabalho da EAP, fase do projeto ou do próprio projeto;
- ✓ Um evento focaliza o projeto em um ponto de verificação, uma importante realização, um resultado entregue, uma fase de pagamento ou uma aprovação para prosseguir;
- ✓ Um evento pode ser a interface entre entidades comerciais e os contratantes, já que um controla o outro;
- ✓ A captura de dados será mais precisa se o escopo do trabalho for subdividido em marcos.

2.2.3 Gráfico de Barras

2.2.3.1 Gráfico de Gantt

O gráfico de barras é uma técnica simples de planejamento e programação de projetos, consistindo de uma escala dividida em unidades de tempo (dias, semanas, quinzenas, meses ou anos), localizada na parte superior, e uma lista de pacotes de trabalho ou elementos no lado esquerdo. As barras ou linhas são usadas para indicar a programação ou progresso de cada pacote de trabalho, em relação à escala de tempo. As linhas horizontais finas indicam a programação para os pacotes de trabalho ou elementos, evidenciando as tarefas, atividades ou operações específicas escritas acima da linha de programação. A data em que o progresso está sendo anunciado (ou atualizado) é marcada por um V, localizado na escala de tempo. Os gráficos de barras são de simples desenvolvimento e entendimento, e mostram as datas programadas de início e término dos pacotes de trabalho, apresentando por meio de uma visão simples, onde o projeto se encontra. Um gráfico de barras não representa as interdependências entre os pacotes de trabalho e o balanceamento entre tempo e recursos (CLELAND, 1999).

O PMI (2004, p. 366) considera o gráfico de barras como “uma representação gráfica de informações relacionadas ao cronograma. Em um gráfico de barras típico, as atividades do cronograma ou os componentes da estrutura analítica do projeto são listados verticalmente, no lado esquerdo do gráfico, as datas são mostradas horizontalmente, na parte superior ou inferior, e as durações das atividades são exibidas como barras horizontais posicionadas de acordo com as datas”.

A principal vantagem do gráfico de barras é que o planejamento, programação e progresso do projeto podem ser representados em um mesmo gráfico. Este gráfico é particularmente efetivo em mostrar a situação dos elementos do projeto, identificando os que estão atrasados ou adiantados. Apesar desta vantagem importante, os gráficos de barras não têm sido muito bem-sucedidos em grandes projetos de engenharia, em decorrência das seguintes razões apresentadas por (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983, p. 5):

1. O planejamento e a programação são considerados simultaneamente;
2. A simplicidade do gráfico de barras impede a evidência de detalhes suficiente, para possibilitar a detecção no momento oportuno, dos atrasos na programação das atividades com durações relativamente longas;
3. O gráfico de barras não mostra explicitamente os inter-relacionamentos entre as atividades, conseqüentemente, é muito difícil identificar os efeitos dos atrasos dos progressos das atividades individuais, na conclusão do projeto;
4. O gráfico de barras é essencialmente um procedimento manual gráfico, tornando extremamente complicado o estabelecimento e manutenção em grandes projetos, tendendo a ficar rapidamente desatualizado e, conseqüentemente, perdendo sua utilidade.

Meredith e Mantel (2000) salientam que um dos métodos mais antigos, e ainda um dos mais úteis na representação da informação do cronograma, é o gráfico de Gantt, desenvolvido por volta de 1917 por Henry L. Gantt, um pioneiro no campo do gerenciamento científico. O gráfico de Gantt mostra o progresso planejado e real para diversas atividades exibidas através de uma escala de tempo horizontal. É um método particularmente eficaz e fácil de ser interpretado para indicar o estado real atual corrente para cada tarefa, com o progresso planejado de cada item do grupo. Como resultado, o gráfico de Gantt pode ser útil no seqüenciamento e realocação de recursos entre as tarefas, assim como no trabalho valioso, mas ingrato, de acompanhar como as atividades estão sendo realizadas. Além disso, os gráficos normalmente contêm um número de símbolos especiais para designar ou evidenciar itens relevantes da situação a ser representada.

2.2.3.2 Harmonygraph

Moder; Phillips e Davis (1983) destacam que o início dos grandes programas de desenvolvimento nos anos 50, simultaneamente com o desenvolvimento do computador digital e da teoria geral de sistemas, estabeleceu o estágio para o desenvolvimento de um diagrama de rede baseado na metodologia de

gerenciamento de projetos. Na verdade, foi uma redescoberta dos procedimentos estabelecidos por um cientista polonês chamado Karol Adamiecki, em 1931. Karol Adamiecki¹¹¹ (apud MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983, p. 10) desenvolveu e publicou uma metodologia que ele chamou de *Harmonygraph*, um tipo de gráfico de barras, rotacionado em 90 graus, com uma escala de tempo vertical, sendo que as atividades do projeto são colocadas nas colunas (Figura 2.38). Neste gráfico, as atividades são ordenadas de tal forma que suas predecessoras sempre estejam localizadas à sua esquerda. No entender de Moder; Phillips e Davis (1983, p. 10) “o *Harmonygraph* é equivalente a um diagrama de flechas, e conseqüentemente ele elimina os inconvenientes do gráfico de barras, apresentados no item anterior. O gráfico de barras é desenvolvido do topo para a parte inferior do gráfico”.

O *Harmonygraph* é mais difícil de ser usado, em função da quantidade de trabalho necessário para manter as informações, referentes aos inter-relacionamentos, atualizadas todas as vezes em que um conjunto de atividades é ajustado para refletir as mudanças. Portanto, o *Harmonygraph* não foi um método popular em sua época, por causa da necessidade de extensivos cálculos, que, na época, eram feitos manualmente.

¹¹¹ Adamiecki, Karol, “Harmonygraph,” *Przegląd Organizacji* (Polish Journal on Organizational Review), 1931.

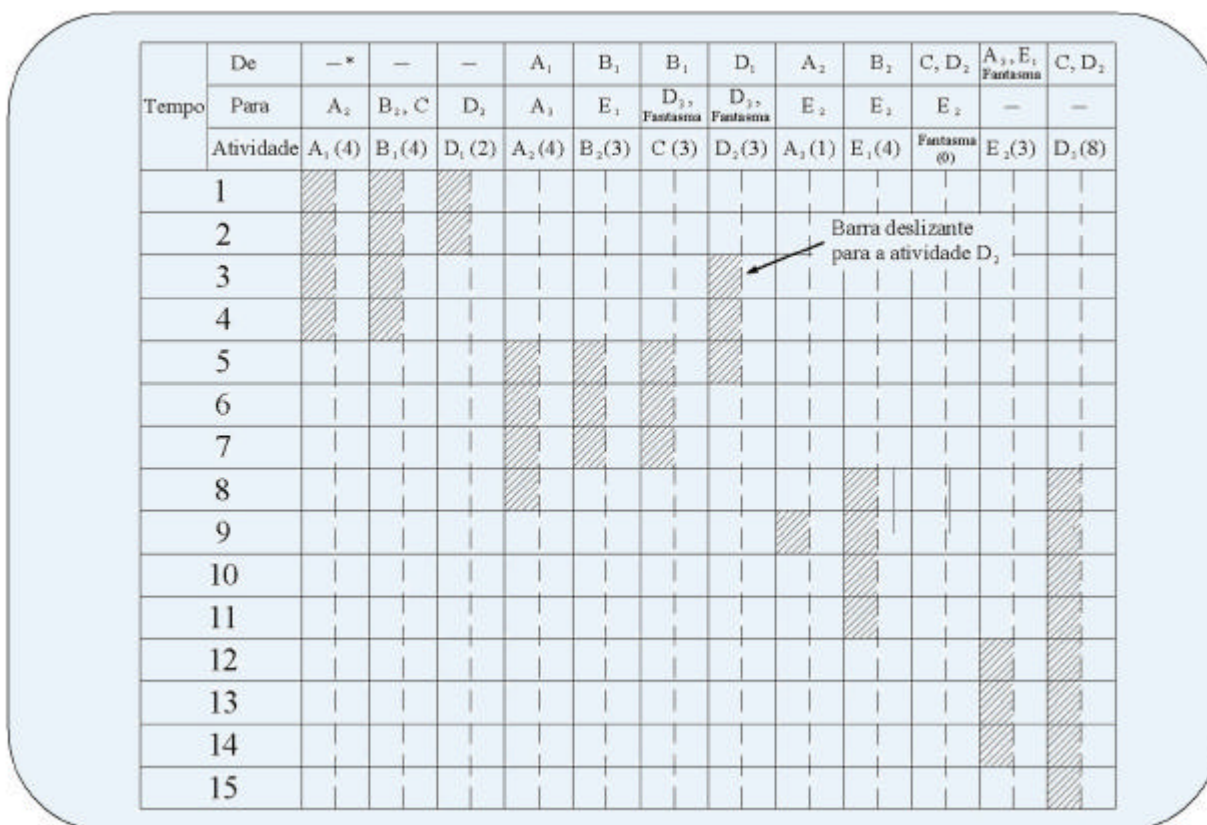


Figura 2.38 - Harmonygraph.

Fonte - Adaptado de Moder; Phillips e Davis (1983, p. 11).

Passados 25 anos, despertou-se um forte interesse pelo problema de programar grandes projetos. Três desenvolvimentos, descritos resumidamente abaixo, nos Estados Unidos e na Grã-Bretanha ocorreram através de estudos independentes e concorrentes, e eles todos basearam suas respectivas metodologias em uma representação de rede do plano do projeto. Todos eles redescobriram o *Harmonygraph* ao desenvolverem a abordagem de sistemas utilizando o computador, e adicionaram uma característica essencial, partindo de um procedimento estritamente gráfico, incluindo uma abordagem tabular e aritmética para o processo de programação.

- ✓ O desenvolvimento inglês não publicado foi discutido por Lockyer¹¹² (apud MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983, p.12), em que ele descreve como a diretoria da Seção de Pesquisa Operacional da Central de Geração de Eletricidade estava investigando o problema de reforma nas plantas de geração. Em torno de 1957, eles desenvolveram uma

¹¹² Lockyer, K. G., "Introduction to Critical Path Analysis, Pitman Pub. Co., 3rd Edition, 1969, Ch. 1.

técnica que consistia essencialmente na identificação da “irreduzível seqüência mais longa de eventos”. Este termo foi posteriormente reduzido para “principal seqüência”, correspondendo ao que foi chamado posteriormente de “caminho crítico”. Enquanto este estudo estava sendo conduzido na Grã-Bretanha; dois desenvolvimentos similares estavam ocorrendo nos Estados Unidos: o PERT e o CPM;

- ✓ O desenvolvimento do PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) começou quando a Marinha norte-americana foi desafiada a produzir o sistema do míssil Polaris em tempo recorde em 1958;
- ✓ O CPM (*Critical Path Method*) surgiu de um trabalho conjunto conduzido no período de dezembro de 1956 a fevereiro de 1959, pela Du Pont e Remington Rand Univac. O objetivo da equipe de pesquisa do CPM foi determinar a melhor forma de reduzir o tempo necessário para realizar reformas rotineiras da planta, manutenção e de construção. Este assunto será abordado no item 2.2.7.

2.2.4 Diagramas de rede

2.2.4.1 Introdução

Para que um projeto seja eficaz, ele deve levar em consideração os parâmetros das durações e da lógica das atividades. Este relacionamento lógico é necessário, para modelar o efeito que uma variância da programação, terá nas atividades sucessoras do projeto. À medida que os projetos foram ficando maiores e mais complexos, o gráfico de Gantt tornou-se uma ferramenta inapropriada de planejamento e controle por não indicar os relacionamentos lógicos entre as atividades. É possível mostrar os relacionamentos lógicos através de um gráfico de barras, embora à medida que o número de atividades e relacionamentos lógicos aumenta, ele se torna confuso (BURKE, 1999).

Conforme Burke (1999), as técnicas de planejamento de redes foram desenvolvidas

por Flagle, pela Marinha norte-americana e pela Remington Rand Univac. Tanto o PERT como o método do caminho crítico (CPM) desenvolvido pela Remington Rand Univac e Du Pont utilizam um formato de rede similar, em que as atividades são representadas por caixas (normalmente retângulos ou círculos), e a seqüência das atividades é desenvolvida da esquerda para a direita, evidenciando a lógica e a cronologia do trabalho (Figura 2.39).

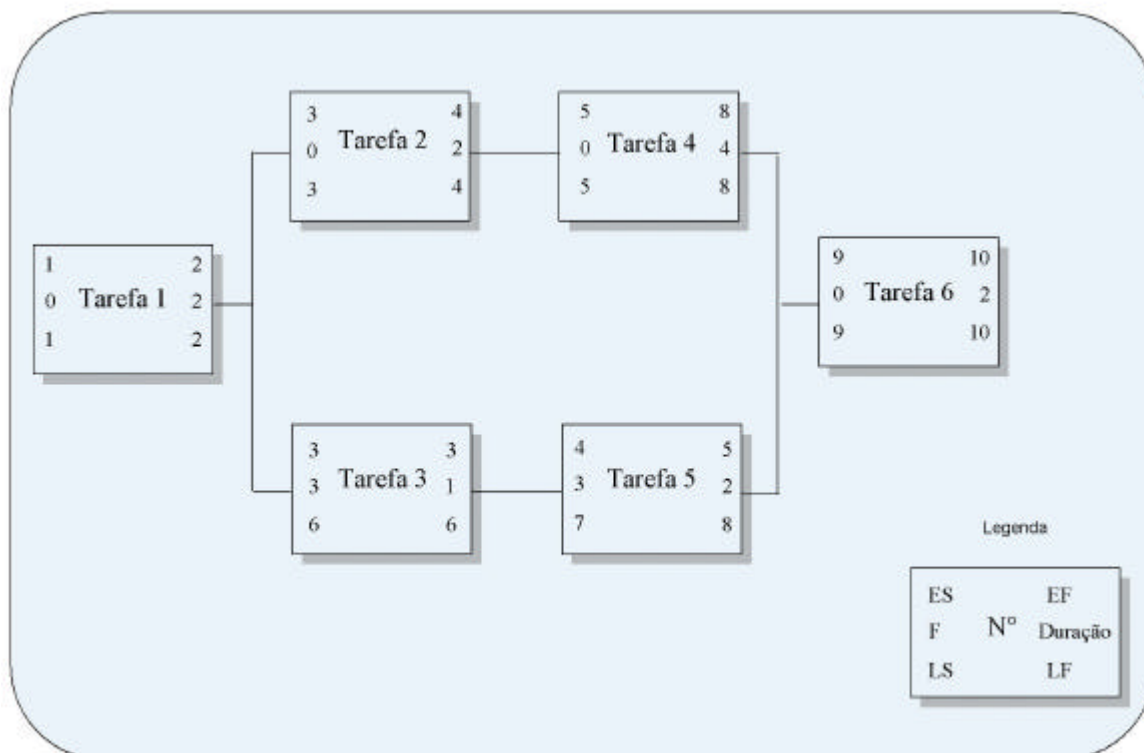


Figura 2.39 - Diagrama de rede mostrando o relacionamento lógico.

Fonte - Burke (1999, p. 14).

Goodpasture (2004) salienta que o diagrama de rede deve capturar a lógica do projeto, refletindo na sua estrutura as dependências e relacionamentos entre as atividades.

O seqüenciamento de atividades é realizado através dos diagramas de rede, também chamados de diagramas lógicos, que são representações gráficas das atividades do projeto, mostrando a seqüência planejada do trabalho, seus relacionamentos lógicos, que também são chamados de dependências, ligações lógicas, relações lógicas, inter-relacionamentos (BURKE, 1999; PMI, 2004).

As atividades em um projeto podem ser representadas através de um diagrama de rede, que é um conjunto de eventos ou nós conectados em vários caminhos por meio de arcos. Quando os eventos ou nós de uma rede representam as atividades de um projeto, significa que está sendo utilizado o formato de Atividade no Nó (AON). A segunda maneira de se representar um projeto, através de uma rede, é o formato de Atividades nos Arcos ou Flechas (AOA), no qual os arcos ou flechas representam as atividades do projeto, e os eventos ou nós representando os pontos iniciais e finais (ou marcos) para cada atividade (RAGSDALE, 2001).

2.2.4.2 Tipos de diagramas de rede

Segundo Burke (1999), Schuyler (2001) e Ragsdale (2001) os diagramas de rede foram originalmente desenvolvidos tanto como atividades nas flechas¹¹³ - AOA (ver Figura 2.40) como atividades nos nós¹¹⁴ - AON (ver Figura 2.41). O diagrama de atividades nas flechas representa os detalhes das atividades nas flechas, enquanto o de nós representa os detalhes nos nós ou caixas.

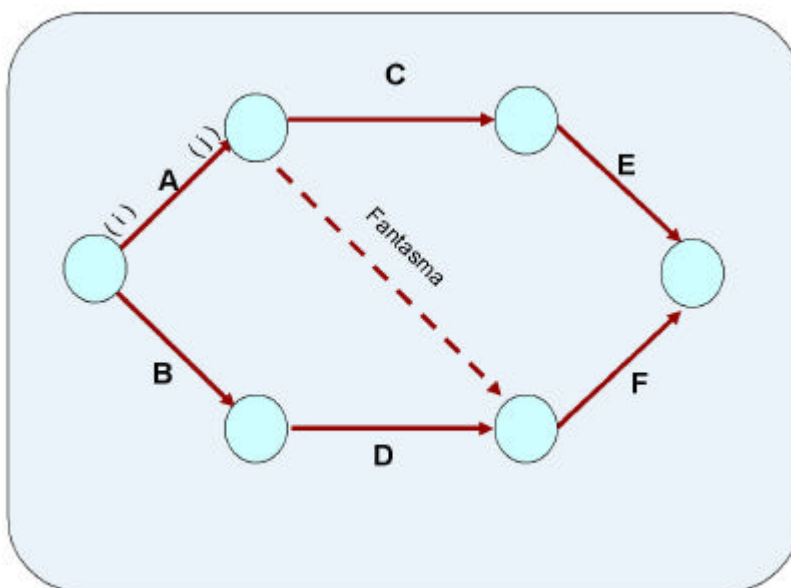


Figura 2.40 - Atividade na flecha (AOA).

Fonte - Burke (1999, p. 17).

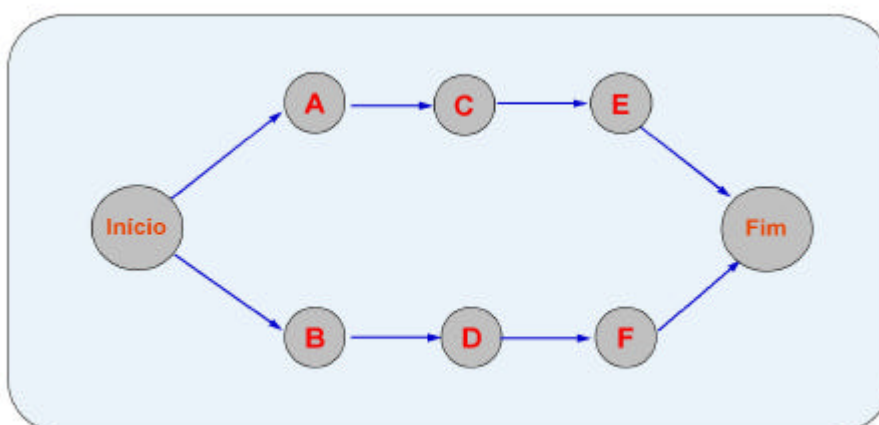


Figura 2.41 - Atividade no nó (AON).

Fonte - Burke (1999, p. 17).

¹¹³ Activity-on-arrow, (AOA), no original.

¹¹⁴ Activity-on-node, (AON), no original.

Meredith e Mantel (2000) destacam que a escolha entre a representação AOA e AON é um problema de preferência pessoal, mas na impressão deles os usuários do PERT preferem o diagrama de flechas (AOA), enquanto os usuários do CPM preferem o diagrama de precedências (AON), embora ambas as abordagens apareçam na literatura educacional. Ambos são também utilizados em pacotes computacionais disponíveis comercialmente, embora o AON seja tipicamente usado na maioria dos softwares populares para PC. As redes AOA são levemente difíceis de desenhar, mas, por outro lado, identificam eventos (marcos) claramente. As redes AON não necessitam utilizar atividades-fantasma (definidas abaixo) e são mais fáceis de desenhar. Rosenau (1992, p. 86) enfatiza sua preferência pelo AOA. O PMI® apresenta em seu Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®), dois métodos para a elaboração dos diagramas de rede: o Método do Diagrama de Precedências - PDM¹¹⁵ e o Método do Diagrama de Flechas - ADM¹¹⁶ (PMI, 2004).

Segundo Archibald (1992, p. 220):

As dependências são as restrições lógicas entre eventos e atividades. Nos diagramas CPM e PERT, as dependências são indicadas pelas conexões gráficas feitas entre os eventos e as atividades. Nos diagramas PDM, flechas são desenhadas entre caixas de atividades para indicar a relação de dependência. As dependências nos diagramas CPM e PERT são simples; quando a atividade precedente está 100% completa, seu evento de término ocorreu e a atividade sucessora pode começar. No diagrama PDM, as interdependências são mais complexas podendo ser: término - início (como na notação CPM e PERT), término - término, início - término, e início - início, e podendo ter defasagens¹¹⁷ ou antecipações¹¹⁸ associados com elas. Os diagramas PDM geralmente exigem menos caixas de atividades que os diagramas CPM ou PERT para retratar um plano de um projeto completo.

¹¹⁹

Segundo Moder; Phillips e Davis (1983), vários métodos gráficos são utilizados no

¹¹⁵ Precedence Diagramming Method – PDM, no original.

¹¹⁶ Arrow Diagramming Method – ADM, no original.

¹¹⁷ Lags, no original.

¹¹⁸ Leads, no original..

¹¹⁹ Tradução própria.

desenho dos diagramas de rede: um deles é o diagrama de flechas, que não é necessariamente o melhor método de diagramação. Os dois outros métodos são o de eventos ou nós e o diagrama de precedências, cujas utilizações são recomendadas por muitos usuários, especialmente sob certas condições.

Para Rosenau (1992), há muitas formas de diagramas de rede, sendo a Técnica de Avaliação e Análise de Programas (PERT), o Método do Diagrama de Precedências (PDM) e o Método do Diagrama de Flechas (ADM) as mais comuns. O diagrama de rede é um termo genérico para o PERT, PDM, ADM, TBAOA e muitos outros. A Tabela 2.4 e a Figura 2.42 apresentam os diversos tipos de diagramas e as abreviações mais comuns:

Sigla	Característica	Técnica
PERT	Evento no nó (EIN)	Técnica de Avaliação e Análise de Programas
PDM	Atividade no nó (AON)	Método do Diagrama de Precedências
ADM	Atividade na flecha (AOA)	Método do Diagrama de Flechas
TBAOA	AOA com escala no tempo	Baseado no tempo AOA

Tabela 2.4 - Tipos de diagramas de rede segundo Rosenau.

Fonte - Adaptado de Rosenau (1992, p. 75).

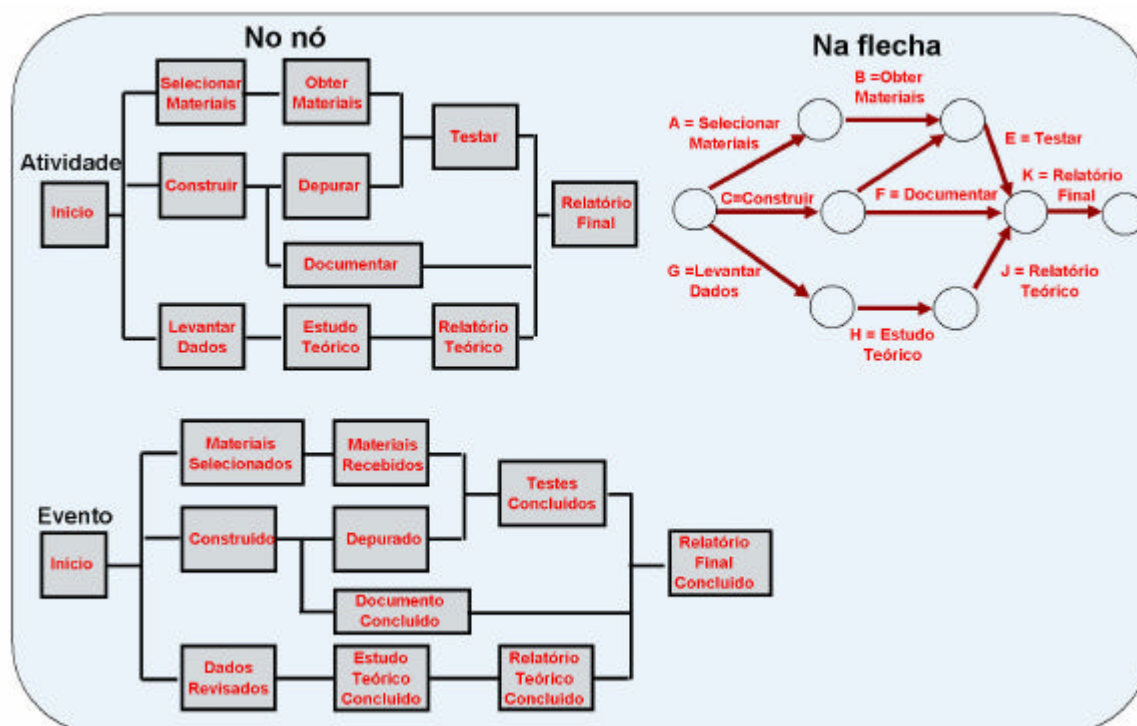


Figura 2.42 - Principais formas de diagramas de rede.

Fonte - Rosenau (1992, p. 87).

O ponto central dos métodos de planejamento, baseados na diagramação de rede, é uma representação gráfica do plano, para conduzir o programa. Tal gráfico, denominado diagrama de rede, mostra o inter-relacionamento entre as atividades do projeto, usando a lógica simples de que todas as atividades que precedem uma dada atividade devem estar concluídas antes do início da atividade em questão. Como exemplo, no diagrama de rede mostrado na Figura 2.43, as linhas denotam as atividades que normalmente necessitam de tempo, homem-hora e facilidades para serem realizadas. Cada atividade tem origem e termina em um único par de nós, denominados eventos, e o tempo flui da cauda para a ponta de cada flecha. Os eventos denotam um ponto no tempo, sua ocorrência significa a conclusão de todas as atividades que terminam no evento em questão. As flechas tracejadas são denominadas de atividades-fantasma, que somente representam relações de precedências, não requerendo duração, recursos, etc., para serem executadas. Este diagrama de rede é chamado de diagrama de atividades nas flechas, ou simplesmente de diagrama de flechas.

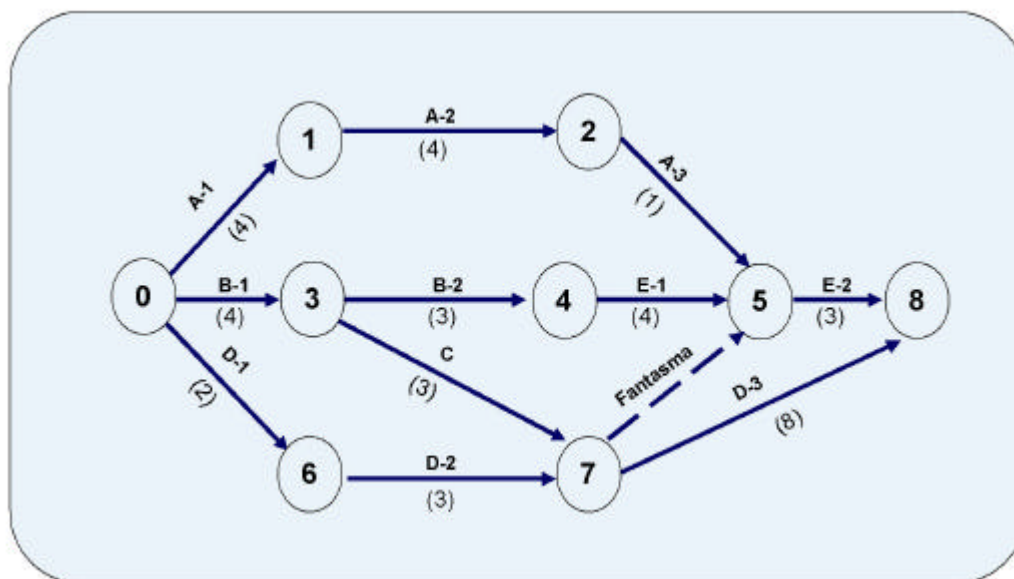


Figura 2.43 - Diagrama de rede do projeto – Atividades nas flechas (AOA).

Fonte – Moder, Phillips e Davis (1983, p. 6).

Meredith e Mantel (2000), referindo-se ao Diagrama de Atividades nos Arcos ou Flechas, afirmam que a combinação de todas as atividades (freqüentemente desenhadas como arcos) e eventos (freqüentemente desenhados como eventos ou nós, no início e no término de cada arco) define o projeto e os relacionamentos de precedências das atividades. As redes são normalmente desenhadas começando pela esquerda e prosseguindo para a direita. As flechas colocadas nos arcos são utilizadas para indicar a direção do fluxo, sendo usadas para mostrar as precedências corretamente. Antes que um evento possa ser realizado, isto é, completado com sucesso, todas as atividades que imediatamente o precedem devem estar concluídas. Estas são denominadas seus predecessores. Portanto, um evento representa um instante no tempo em que cada e toda atividade predecessora foi finalizada.

Uma outra forma de construção de redes é a regra reversa da flecha, a de atividades nos nós, ou diagrama de nós, apresentado na Figura 2.44 (Ragsdale 2001).

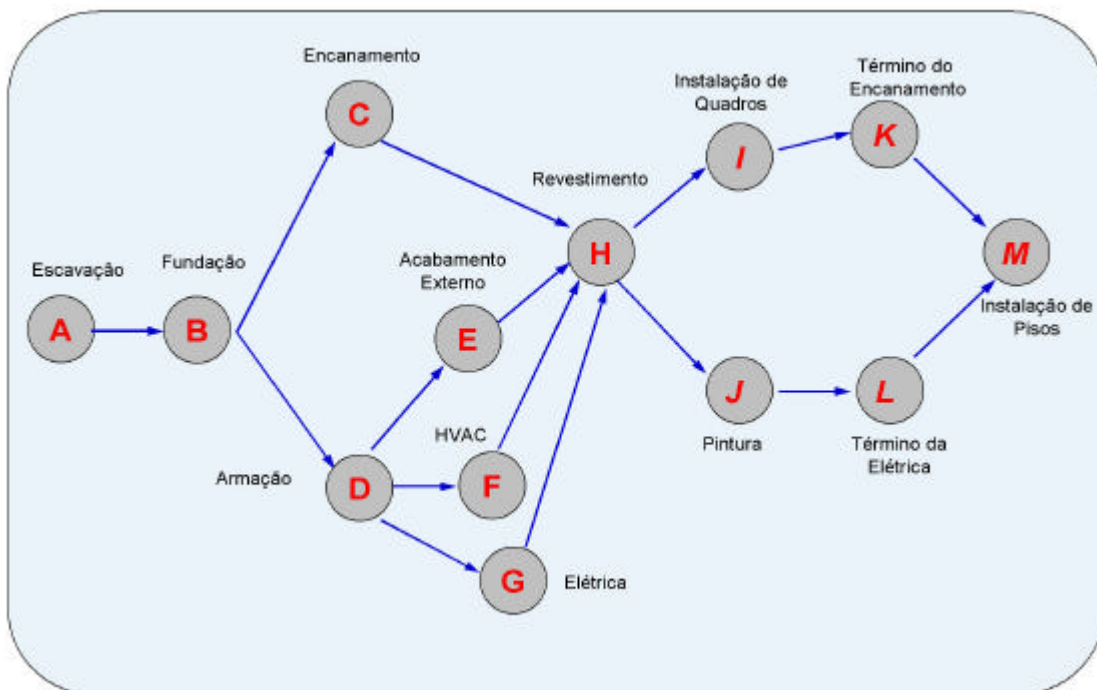


Figura 2-44 - Rede de atividades nos eventos ou nós do projeto de construção da casa.

Fonte - Ragsdale (2001, p. 663).

Como já mencionamos anteriormente, diversos autores como Meredith e Mantel (2000), Burke (1999) e PMI (2004), sugerem que os diagramas de rede sejam sempre desenhados da esquerda para a direita, para representar a cronologia do trabalho. Contrariamente, Kezsbom; Schilling e Edward (1989, p. 104) apresentam um exemplo (Figura 2.45), em que o diagrama de precedências é desenhado “de cima para baixo”.

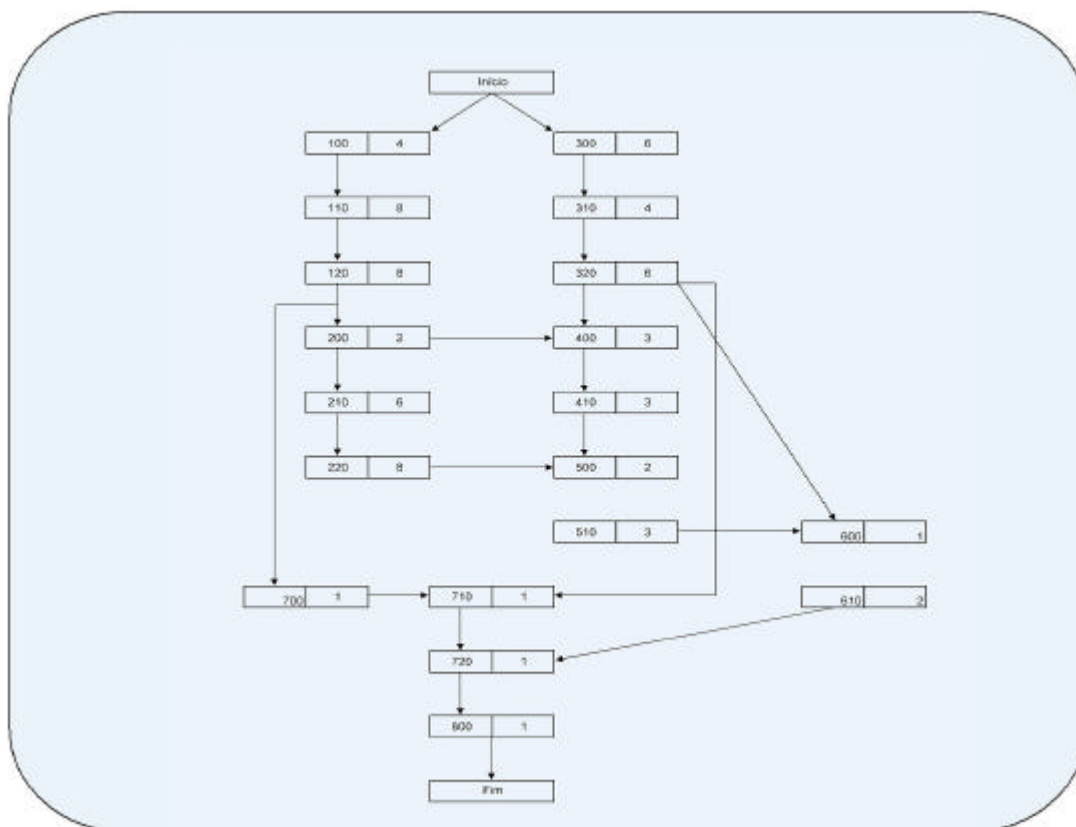


Figura 2.45 - Exemplo de um diagrama de precedências.

Fonte – Kezsbom; Schilling; Edward (1989, p. 104).

2.2.4.3 Desenvolvimento dos diagramas de rede

Para Joseph J. Moder em Cleland e King (1988), o primeiro passo ao se desenhar um diagrama de rede é listar todos os trabalhos (atividades) que devem ser executados para realizar o projeto, colocando estes trabalhos em uma seqüência tecnológica apropriada, na forma de um diagrama de rede. Uma ajuda neste processo é organizar as atividades do projeto, na forma de uma estrutura hierarquizada denominada estrutura analítica do projeto¹²⁰. Este diagrama é apresentado na Figura 2.46, com o trabalho decomposto verticalmente. Além disso, você pode desmembrar a organização, que será utilizada para conduzir o projeto, conforme mostrado horizontalmente na parte inferior da Figura 2.46. A atribuição de códigos hierárquicos (códigos de contas) a cada um destes desmembramentos

¹²⁰ Work breakdown structure, no original.

facilita a produção de relatórios customizados, selecionando, por exemplo, somente aquelas atividades que possuem determinados códigos, possibilitando melhor comunicação com os interessados¹²¹.

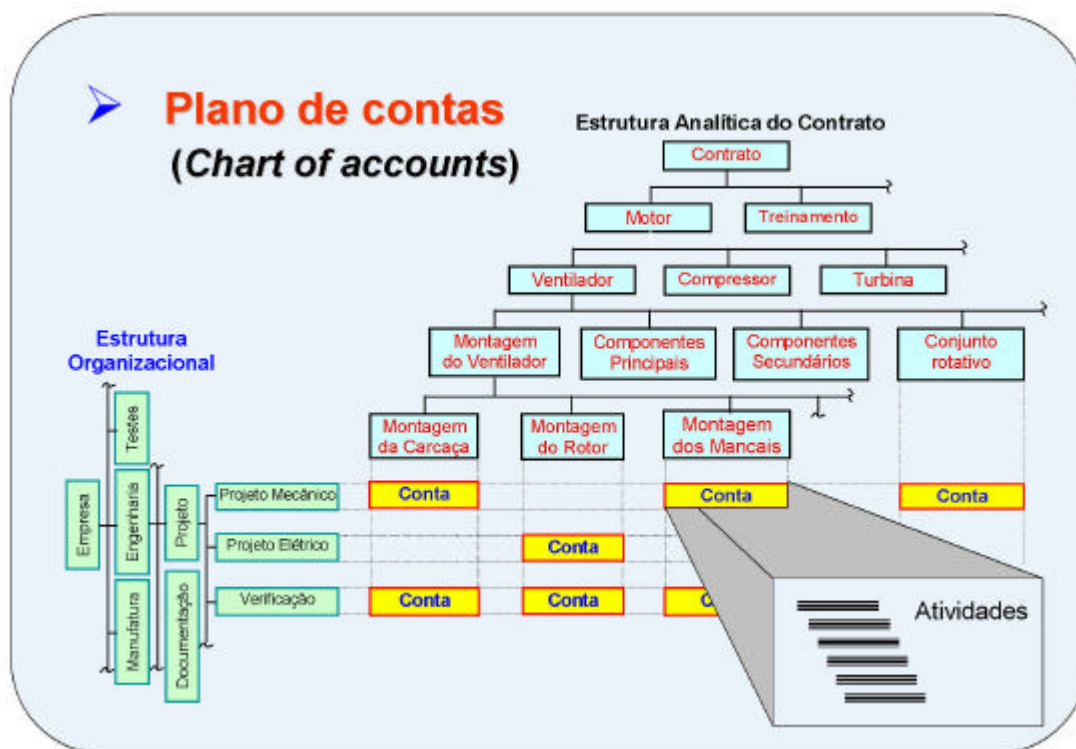


Figura 246 - Inter-relacionamento entre a estrutura analítica e a organização funcional.

Fonte - Adaptado de Moder; Phillips; e Davis (1983, p. 142).

Burke (1999) e Kerzner (2006) explicam que o desenvolvimento do diagrama de rede requer que sejam realizadas as seguintes perguntas:

- ✓ Quais atividades devem ser realizadas antes?
- ✓ Quais atividades podem ser realizadas simultaneamente?
- ✓ Quais atividades podem ser feitas depois?

Meredith e Mantel (2000) enfatizam que para transformar um plano de projeto em uma rede é necessário saber quais atividades compreendem o projeto e, para cada atividade, quais são os seus predecessores (e/ou sucessores), considerando que uma atividade pode apresentar uma das seguintes condições:

¹²¹ Stakeholders, no original.

- ✓ Pode ter um sucessor(es), mas não possui predecessor (es);
- ✓ Pode ter um predecessor(es), mas não possui sucessor (es);
- ✓ Pode ter predecessor(es) e sucessor(es).

Moder em Cleland e King (1988) destaca que o diagrama de rede é construído começando com o evento inicial do projeto, que não possui atividades predecessoras, ocorrendo no início do projeto. Deste evento, as atividades são adicionadas à rede, usando a lógica básica descrita acima. Este processo é continuado até que todas as atividades tenham sido incluídas na rede, e a última delas é conectada ao evento de término do projeto, que não possui atividades sucessoras. Moder alerta que se deve ter cuidado na elaboração do diagrama de rede, evitando ordenar as atividades arbitrariamente, de acordo com idéias pré-concebidas do seqüenciamento que as atividades irão provavelmente tomar, quando da realização do projeto. Se este erro é cometido, os procedimentos subseqüentes de programação e controle não serão exeqüíveis. Entretanto, se a rede é desenhada com credibilidade, de acordo com as restrições tecnológicas (dependências físicas), ela será um modelo único de projeto, que somente será revisado quando ocorrerem mudanças substanciais no plano de projeto. Esse diagrama também deve apresentar flexibilidade máxima na programação das atividades subseqüentes para satisfazer as restrições de recursos.

Burke (1999) sugere que, para o desenvolvimento do diagrama de rede, o planejador analise e discuta o seqüenciamento do trabalho (o modelo criado através do diagrama de rede) com os gerentes, superiores, com as pessoas que são responsáveis pela execução do trabalho, primeiramente para assegurar que o método construtivo (ou o modelo) está correto, mas principalmente para obtenção de comprometimento da equipe do projeto, assegurando que o projeto alcance os seus objetivos.

A Norma ABNT (2000, p. 7) recomenda que “as inter-relações, interações lógicas e interdependências entre as atividades do projeto sejam indicadas e analisadas criticamente quanto à sua consistência. Convém que qualquer necessidade de alteração nos dados de referência seja identificada, justificada e documentada”.

Conforme o PMI (2004) e Kerzner (2006), existem três tipos de dependências ou inter-relacionamentos na definição do seqüenciamento entre atividades:

- ✓ Dependências obrigatórias¹²²: são as dependências inerentes à natureza do trabalho que está sendo realizado, e freqüentemente envolvem limitações físicas. Essas dependências também são algumas vezes chamadas de lógica rígida;
- ✓ Dependências discricionárias¹²³: também chamadas de lógica preferida, lógica preferencial ou lógica “soft”. As dependências discricionárias são normalmente estabelecidas com base no conhecimento das melhores práticas, dentro de um campo de aplicação, ou de algum aspecto pouco usual do projeto, no qual se deseja uma seqüência específica, mesmo que existam outras aceitáveis;
- ✓ Dependências externas¹²⁴: são as que envolvem um relacionamento entre as atividades do projeto e as atividades que não são do projeto.

Já para Burke (1999), o diagrama de rede mostra o seqüenciamento de atividades, e os relacionamentos lógicos podem ser tanto obrigatórios ou mandatários, como discricionários. Dependências mandatárias, obrigatórias ou rígidas são limitações do método construtivo, por exemplo, em um projeto de construção em que as fundações devem (lógica rígida) ser construídas antes que as paredes e o telhado sejam construídos, enquanto a programação do trabalho elétrico executada antes do trabalho de encanamento é discricionária (lógica *soft*). A lógica discricionária, arbitrária ou preferida representa a melhor prática, ou a prática preferida, definida pela equipe do projeto.

Burke (1999) observa que todas as premissas assumidas na elaboração do diagrama, como as lógicas obrigatórias ou mandatárias, discricionárias, durações, calendários, suprimento, recursos e requisitos orçamentários devem ser cuidadosamente documentadas.

O PMI (2004) sugere que as atividades devem ser seqüenciadas logicamente usando as relações de precedências adequadas, as antecipações¹²⁵ e

¹²² Mandatory dependencies or hard logic, no original.

¹²³ Discretionary dependencies or soft logic, no original.

¹²⁴ External dependencies, no original.

¹²⁵ Leads, no original.

defasagem¹²⁶, a fim de possibilitar o desenvolvimento da programação do projeto.

A preparação do diagrama de rede também proporciona uma excelente oportunidade para testar¹²⁷, ou simular no papel, várias formas de conduzir o projeto, evitando, portanto, erros que acarretarão custos e consumo de prazo, caso ocorram "no campo" durante a sua condução real. Ele também proporciona uma oportunidade de participação dos membros da equipe, objetivando o uso de seu conhecimento prático, cooperação futura e comprometimento. Na conclusão do planejamento, o diagrama de rede final fornecerá um registro permanente, expressando claramente como o projeto será conduzido de forma que todos os membros da equipe possam ver seu envolvimento e responsabilidade (MODER em CLELAND; KING, 1988).

Burke (1999) alerta que um problema comum no desenvolvimento do diagrama de rede é a introdução de atividades considerando apenas o aspecto temporal, em vez da lógica. Neste ponto, no processo de planejamento deve-se considerar apenas a seqüência de atividades. As restrições de duração, suprimento, recursos e custos devem ser introduzidas posteriormente.

2.2.4.4 Benefícios da utilização do diagrama de rede

Moder; Phillips e Davis (1983) destacam que embora o preparo da rede seja somente a primeira fase nas aplicações dos métodos do caminho crítico, muitos usuários relatam que os maiores benefícios dos conceitos do caminho crítico são derivados desta fase. O preparo da rede conduz os usuários a pensar sobre o projeto de uma maneira mais completa do que antes, forçando-os a fazer um trabalho mais completo de planejamento. Entretanto, uma grande quantidade de informação útil é incluída na rede após sua conclusão, e o processamento e a utilização adequada dessas informações pode trazer benefícios adicionais importantes, não somente para o gerente do projeto, como também para os

¹²⁶ Lags, no original.

¹²⁷ Try-out, no original.

subcontratados e todos os outros grupos envolvidos no projeto.

Kerzner (2006) enfatiza que a análise do diagrama de rede pode prover informações valiosas para o planejamento, integração de planos, estudos de durações, programação e gerenciamento de recursos. O principal propósito do planejamento através do diagrama de rede é a eliminação da necessidade de gerenciamento de crises, através de uma representação gráfica de todo o programa. As seguintes informações gerenciais podem ser obtidas por esta representação:

- ✓ Interdependências entre as atividades;
- ✓ Duração do projeto;
- ✓ Impacto de se iniciar tarde;
- ✓ Impacto de se iniciar cedo;
- ✓ Balanceamento entre recursos e tempo;
- ✓ Exercícios “What if”;
- ✓ Custo de um programa de compressão;
- ✓ Falhas no planejamento / performance;
- ✓ Avaliação da performance.

2.2.4.5 Diagrama de flechas

O método do diagrama de flechas (Figura 2.47) é um método de construção de um diagrama de rede da programação do projeto que usa flechas (setas) para representar as atividades, conectando-as através dos nós para mostrar suas dependências. Esta técnica é também chamada de atividade na flecha, sendo menos usada do que o diagrama de precedências (PMI, 2004).

Ainda segundo o PMI, este método usa somente as dependências do tipo término – início¹²⁸, podendo exigir o uso de atividades-fantasma¹²⁹, que são representadas como linhas tracejadas, para definir corretamente todos os relacionamentos lógicos. Essas atividades possuem duração zero, pois não representam um trabalho a ser realizado.

¹²⁸ Grifo nosso.

¹²⁹ Dummy activity, no original.

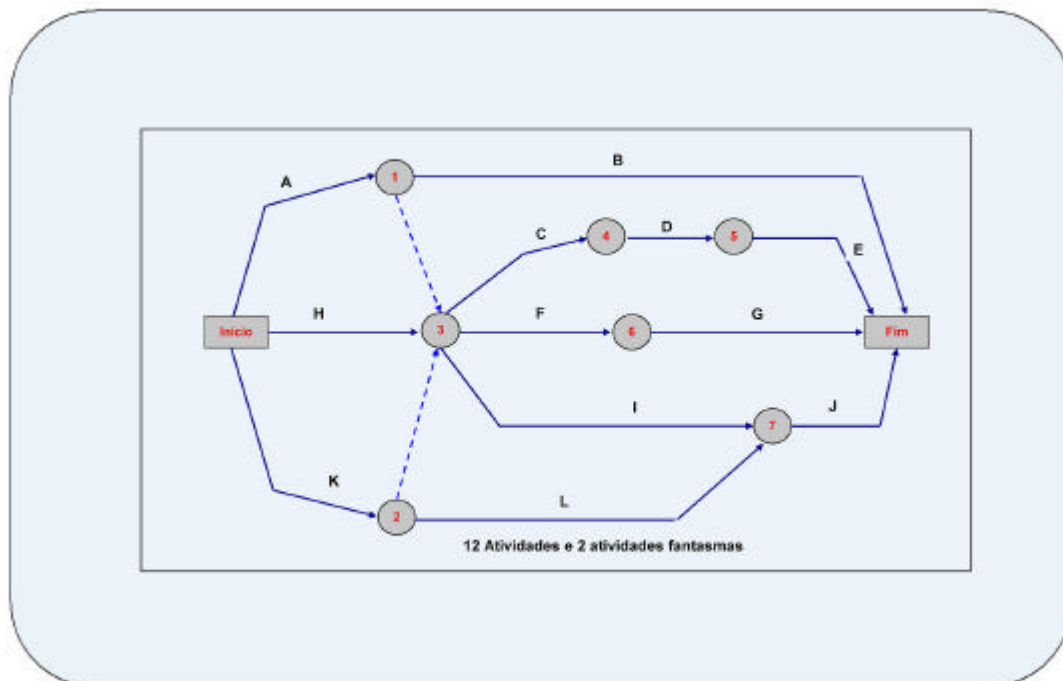


Figura 2.47 - Método do diagrama de flechas.

Fonte - PMI (2004, p. 132).

As flechas são nomeadas com os tipos de números apropriados. Um diagrama de rede pode ser iniciado ou finalizado por mais de uma flecha, ou então possuir diversas flechas no meio. Qualquer número de flechas pode terminar em um nó ou sair de um dele, conforme a Figura 2.48 (MEREDITH; MANTEL, 2000).

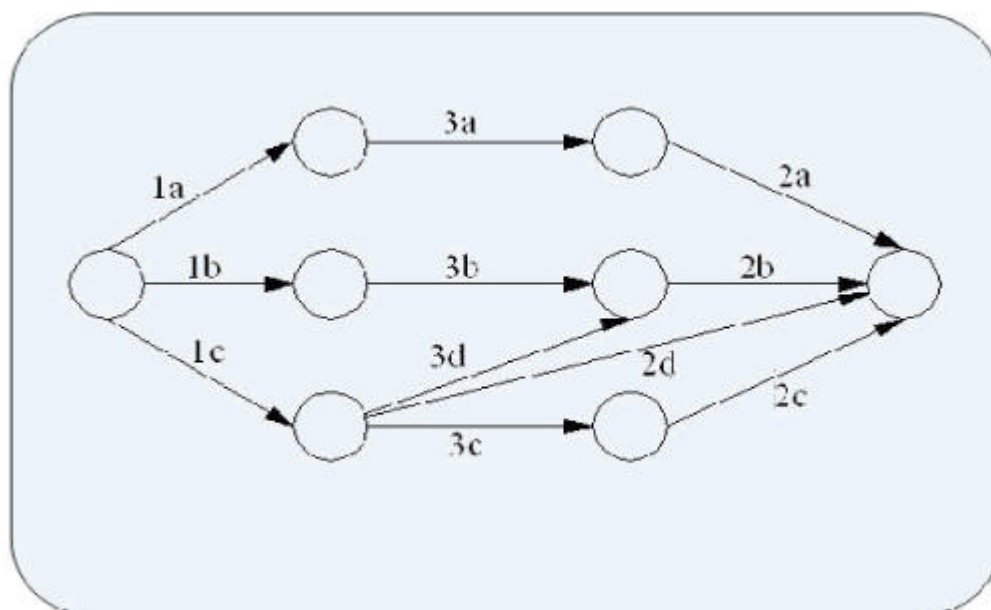


Figura 2.48 - Diagrama de flechas - AOA.

Fonte – Meredith e Mantel (2000, p. 309).

Conforme Kerzner (2006), Meredith e Mantel (2000), a construção de uma rede de flechas (AOA) pode não ser direta em alguns casos, podendo ocorrer a necessidade de uma atividade-fantasma para ajudar a indicar uma precedência particular, via um arco ou uma linha tracejada. Uma atividade-fantasma é uma atividade artificial que não possui duração, não utiliza recursos e não requer duração. Seu único propósito é indicar um relacionamento lógico. Pode-se observar na Figura 2.49, que a atividade-fantasma foi inserida para indicar que a atividade **300** também tem como predecessora a atividade **400**.

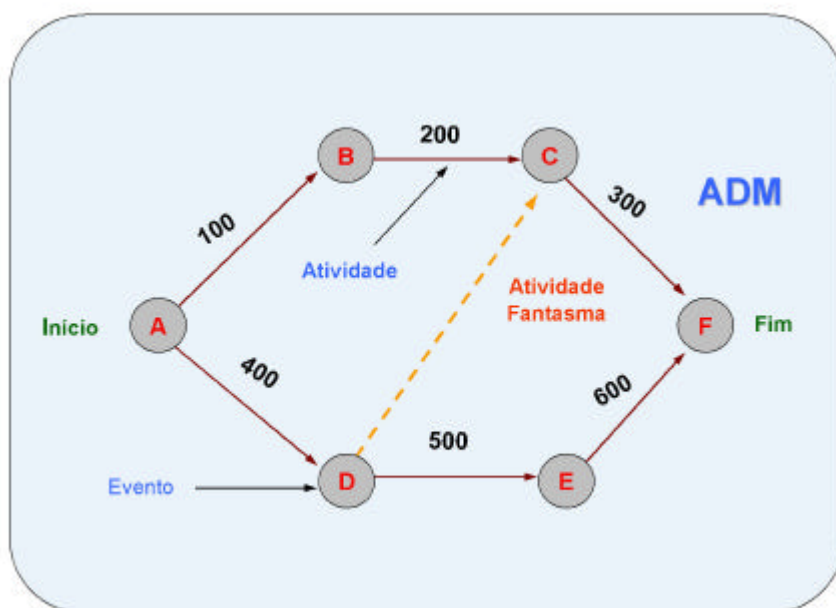


Figura 2.49 - Diagrama de rede (AOA) com atividade

Fonte - Autor.

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 24) definem a atividade-fantasma como:

Uma flecha representando meramente uma dependência de uma atividade com outra. Uma atividade-fantasma possui uma estimativa de duração nula. Ela é também denominada uma “flecha de dependência”. As atividades-fantasma são freqüentemente representadas por flechas com linhas tracejadas ou flechas sólidas com estimativas de duração nulas (Figura 2.50).

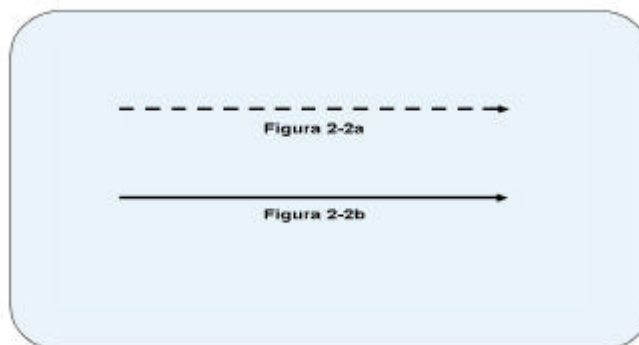


Figura 2.50 – Atividade-fantasma.

Fonte – Moder; Phillips; Davis (1983, p. 24).

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 25) definem o diagrama de flechas como:

Uma representação gráfica de um plano do projeto, mostrando os inter-relacionamentos de várias atividades. Os diagramas de rede são também denominados “diagramas de flechas” (Figura 251). Quando os resultados das estimativas de duração e cálculos são adicionados ao diagrama, ele pode ser usado como um cronograma do projeto.

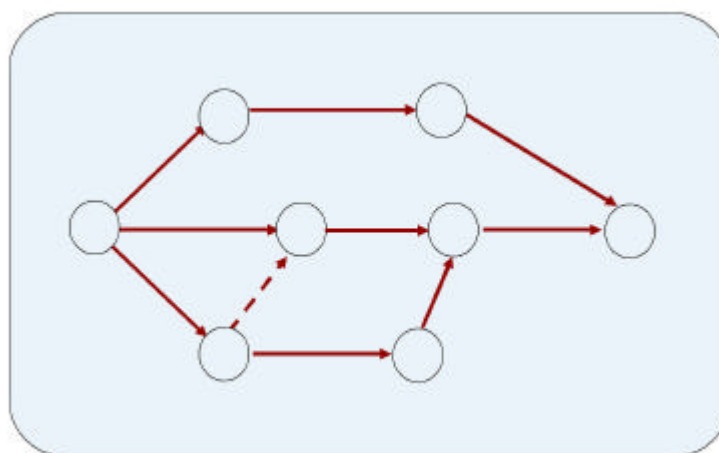


Figura 2.51 - Diagrama de flechas.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 25).

As poucas regras de diagramação baseadas no método de flechas podem ser classificadas como aquelas básicas para todos os sistemas de diagramação de flechas, e por aquelas impostas pelo uso de computadores ou métodos tabulares de cálculo do caminho crítico (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983, p. 25-26).

1ª Regra: Antes que uma atividade possa iniciar, todas as atividades que a precedem devem ser concluídas. As atividades que não possuem predecessoras são auto-acionáveis quando o projeto inicia;

2ª Regra: As flechas implicam somente precedência lógica. Nem o comprimento da flecha nem a sua direção de “bússola” no desenho possuem qualquer significado. Uma exceção a esta regra é apresentada nos “diagramas de rede em escala de tempo”;

3ª Regra: Os números dos eventos não devem ser duplicados em um diagrama de rede;

4ª Regra: Quaisquer dois eventos podem ser conectados diretamente por somente uma única atividade;

5ª Regra: As redes devem possuir somente um evento inicial (sem predecessor) e somente um evento de término (sem sucessor).¹³⁰

As regras 3, 4 e 5 são impostas pelos softwares, sendo que as regras 4 e 5 não são necessárias a todos os softwares. O cálculo manual do diagrama de rede não necessita das regras 3, 4 ou 5, entretanto a rede não deve possuir ciclos fechados¹³¹.

As regras 1 e 2 podem ser interpretadas através do diagrama de rede apresentado na Figura 2.52. De acordo com a regra 1, este diagrama considera que “antes que a atividade **D** possa ser iniciada, as atividades **A**, **B** e **C** devem estar concluídas”. Observar que isto não quer dizer que as atividades **A**, **B** e **C** devem ser concluídas simultaneamente.

Observar que o evento 5 representa o “início da atividade **A**”. O evento 6, entretanto, significa “a conclusão das atividades **A**, **B** e **C**, e o início da atividade **D**”.

¹³⁰ Tradução própria.

¹³¹ Loops, no original.

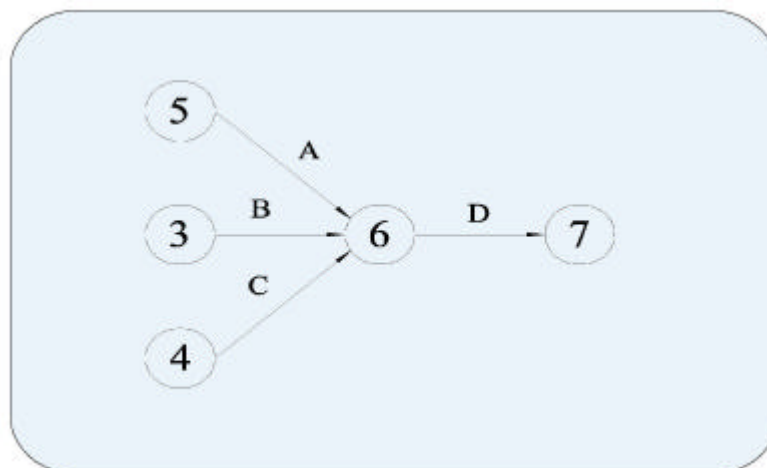


Figura 2.52 - Exemplo de um diagrama de flechas.

Fonte – Moder, Phillips e Davis (1983, p. 27).

De acordo com Moder; Phillips e Davis (1983), um dos erros mais comuns no desenvolvimento de diagramas de rede está relacionado com a regra nº 1. Considerando a Figura 2.52, supondo que a atividade **D** é dependente da conclusão das atividades **B** e **C**, da conclusão de uma primeira parte da atividade **A** e que a conclusão da segunda parte da atividade **A** não depende das atividades **B**, **C** e **D**. Para representar corretamente esta situação, torna-se necessário dividir a atividade **A** em duas partes, primeira e segunda parte, e então introduzir uma atividade-fantasma, conforme mostrado na Figura 2.53, cuja função é corrigir um problema de falsa dependência, que é: a atividade **D** é somente parcialmente dependente da atividade **A**. A falsa dependência representa um problema sutil no diagrama de rede, não devendo ser constantemente utilizada, sobretudo nos pontos de junção e de dispersão. Conforme será apresentado posteriormente, este problema é evitado nos diagramas de eventos ou nós e nos diagramas de precedência.

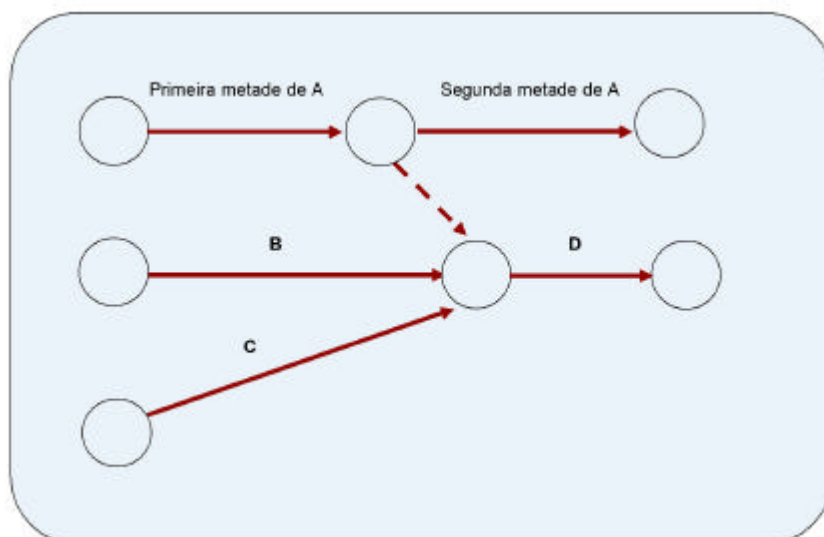


Figura 2.53 – Exemplo de falsa dependência.

Fonte – Moder, Phillips e Davis (1983, p. 27).

Este problema também é evidenciado por Fadigas (1970, p. 9) ao salientar que “também em consequência da regra geral há necessidade de subdividir uma atividade **A** em tarefas **A1**, **A2**, etc., quando **A** é composta de muitas operações acontece que outras atividades **C** e **D** podem ser iniciadas quando **A** está feita parcialmente, como ilustram as figuras [...]” (Figura 2.54).

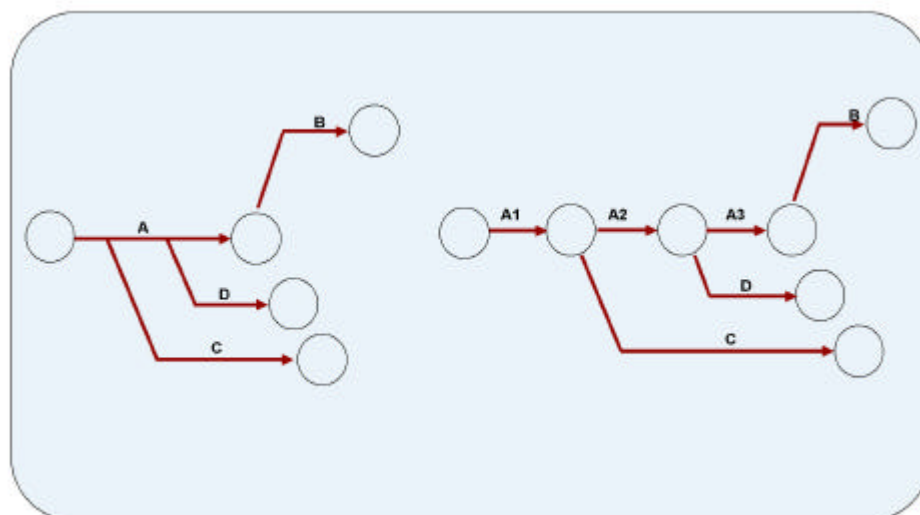


Figura 2.54 - Exemplo de falsa dependência.

Fonte - Fadigas (1970, p. 10).

Cada trabalho do projeto é representado através de uma flecha, em que os nós, chamados eventos, são colocados ao final de cada flecha. Os eventos representam pontos no tempo que ocorrem quando todas as atividades que chegam nele estão

concluídas. Por exemplo, na Figura 2.55, somente quando as atividades “selecionar operadores” e “preparação do material de treinamento” estiverem concluídas, o evento nº. 10 irá ocorrer. Cabe ressaltar que as duas atividades predecessoras não precisam estar concluídas ao mesmo tempo, entretanto, o evento nº. 10 somente ocorrerá quando as duas atividades estiverem concluídas (MODER em CLELAND; KING, 1988).

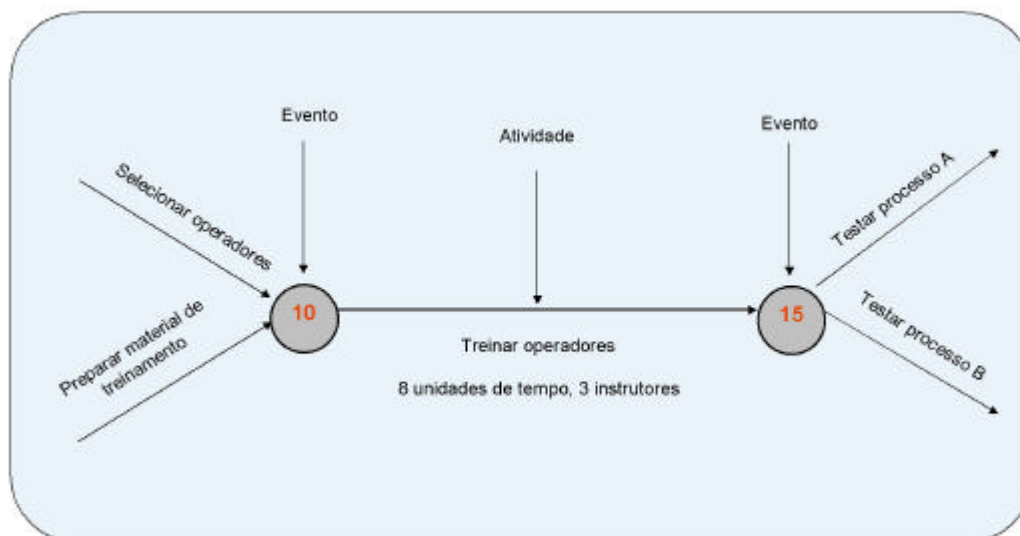


Figura 2.55 - Exemplo de atividade na flecha.

Fonte - Moder em Cleland; King (1988, p. 331).

Segundo Moder; Phillips e Davis (1983), a maioria das dependências das atividades é causada pela natureza delas próprias, por exemplo, o pessoal não pode ser treinado, até que tenham sido contratados. Os questionários não podem ser usados na pesquisa, até que eles tenham sido impressos. Tais dependências entre as atividades podem ser chamadas naturais, e este é o tipo mais comum de dependência. Entretanto, a seleção de moradores é dependente do design do questionário, mas somente porque um único grupo de pessoas é atribuído para fazer ambos os trabalhos (a “equipe de design” na descrição do projeto). Esta limitação de equipe, e a implicação de que a equipe de design não pode realizar os trabalhos simultaneamente, faz com que as duas atividades sejam desenhadas em série (dependentes) em vez de em paralelo. Uma dependência deste tipo não é “natural”, mas causada pela limitação de recursos. Além disso, ela pode ser chamada uma dependência de recursos. Os recursos envolvidos podem ser pessoas, máquinas, instalações, fundos ou outros tipos de recursos.

Normalmente, é melhor incluir no primeiro estudo do diagrama de rede todas as dependências de recursos que são conhecidas e firmemente estabelecidas como regras básicas para o projeto. Estas dependências firmes representam fatores significativos na fase de planejamento de um projeto e, freqüentemente, terão maiores efeitos no diagrama e no cronograma resultante. Entretanto, se houver dúvidas quanto à disponibilidade de recursos, as dependências de recursos devem ser omitidas no primeiro estudo do diagrama de rede. Neste caso, este primeiro estudo estará baseado somente na lógica natural (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Lewis (1995) recomenda que uma boa prática a ser seguida é a diagramação, o que é logicamente possível de se fazer ignorando as limitações de recursos. Isto irá levar à melhor programação possível. Esta abordagem é referida como programação de acordo com as dependências naturais (aquelas que dependem apenas da lógica) em vez de programar de acordo com a restrição de recursos.

2.2.4.6 Diagrama de eventos ou de atividades nos nós

Moder; Phillips e Davis (1983) enfatizam que o diagrama de flechas foi introduzido nas publicações originais no Método do Caminho Crítico, e desde então o diagrama de flechas se tornou uma das formas mais comuns de representar os diagramas de rede. Até a década de 1980, muitos ou talvez a maioria dos programas utilizados para o CPM e PERT foram projetados para aceitar o código do evento predecessor-sucedor ($i - j$) para atividades que estão associadas com o diagrama de flechas, mas hoje em dia prevalece a utilização dos diagramas de precedências.

Entretanto, o diagrama de flechas não é somente o único procedimento de rede, nem é o mais eficiente, se julgarmos a eficiência pelo número de símbolos necessários para representar um dado número de atividades em um diagrama de rede. Pelo menos três outros métodos têm sido concebidos e usados amplamente.

O oposto do diagrama de flechas é o de eventos ou nós, no qual os nós representam as atividades e as flechas são meros conectores, denotando os relacionamentos de precedências. A Figura 2.56 ilustra o projeto de pesquisa de

mercado no formato do diagrama de eventos ou nós. A principal vantagem deste diagrama é a eliminação da necessidade de atividades-fantasma para corrigir falsas dependências. Esta característica o torna mais eficiente e, principalmente, mais fácil de aprender. Nos diagramas de flechas o aspecto mais difícil é aprender corretamente a utilização das atividades-fantasma.

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 37) comentam que:

Um dos primeiros defensores do diagrama de eventos ou nós e, aparentemente, seu fundador foi J. W. Fondahl da Universidade de Stanford. O Professor Fondahl desenvolveu um formato de nós em 1958, quase simultaneamente à publicação dos primeiros relatórios do PERT e CPM, entretanto os relatórios do PERT e CPM despertaram mais cedo à atenção do público, tornando o formato de flechas mais popular durante a primeira década de aplicação dos diagramas de rede. Somente em meados da década de 1970 os softwares comerciais iniciaram a utilização do diagrama de eventos ou nós.¹³²

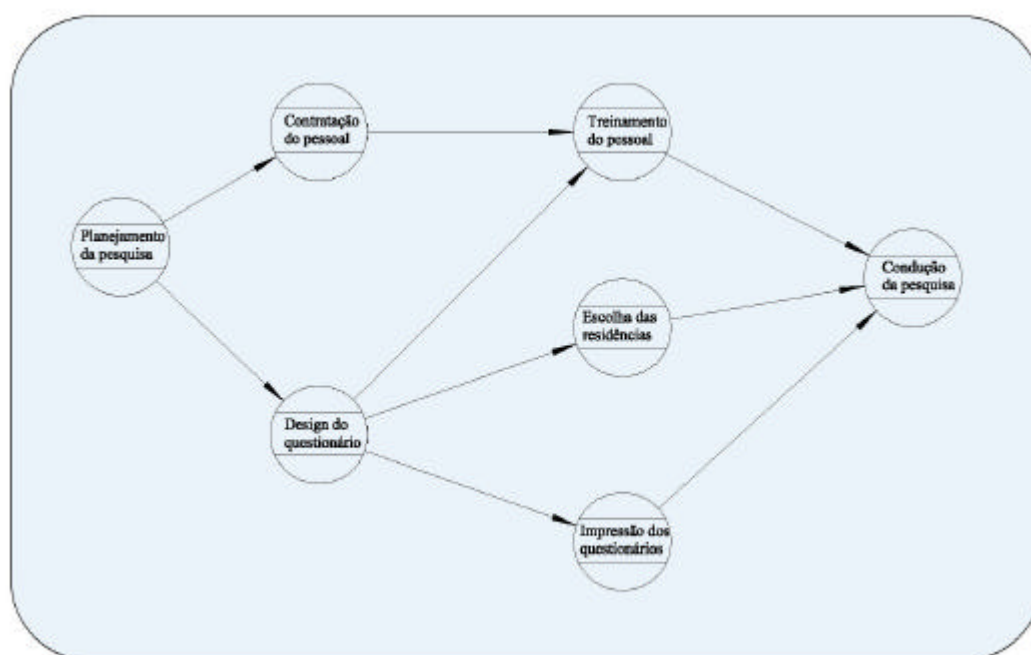


Figura 2.56 - Diagrama de eventos ou nós aplicado no projeto de pesquisa.

Fonte – Moder, Phillips e Davis (1983).

¹³² Tradução própria.

O autor salienta que a forma do símbolo do nó não é significativa.

Conforme Kerzner (2006), o diagrama de eventos, ou diagrama PERT, é basicamente uma ferramenta gerencial de planejamento e controle. Ele pode ser considerado como um guia¹³³ para um programa ou projeto particular, em que a maioria dos elementos (eventos) está completamente identificada, juntamente com seus correspondentes inter-relacionamentos.

Um dos propósitos de se construir o diagrama PERT é determinar quanto tempo é necessário para completar o projeto. O diagrama PERT, então, usa a duração como denominador comum para analisar aqueles elementos que influenciam diretamente no sucesso do projeto, isto é, prazo, custo e desempenho (KERZNER, 2006).

A Figura 2.57 apresenta um típico diagrama PERT. As linhas em negrito representam o caminho crítico, que é estabelecido pela maior duração de todo o sistema de eventos.

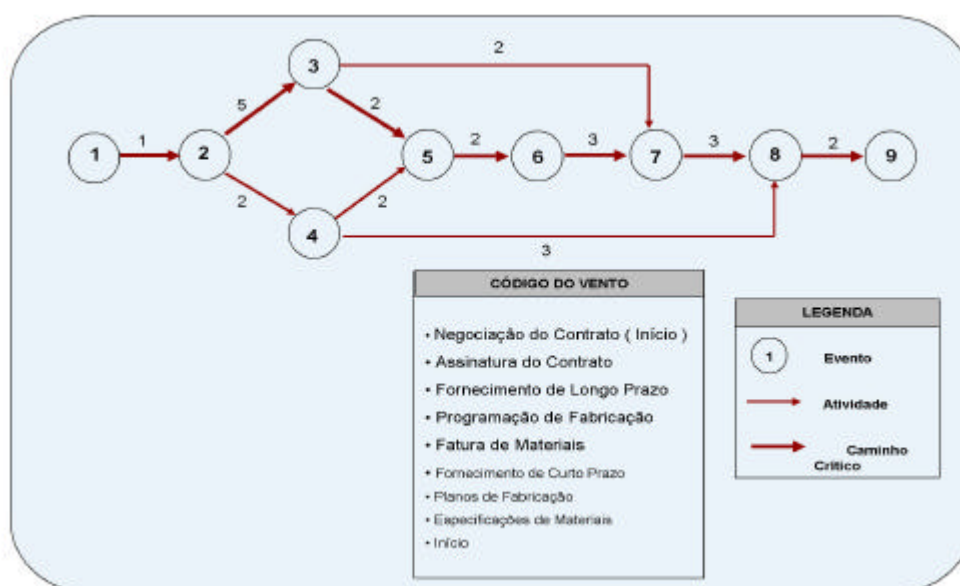


Figura 2.57 - Rede PERT simplificada.

Fonte - Kerzner (2006, p. 478).

¹³³ Road map, no original.

2.2.4.7 Diagrama de precedências

Uma extensão do diagrama de eventos ou de nós, foi primeiramente mencionada no relatório de 1961 de Fondahl, no qual foram associados os valores de “defasagem”¹³⁴ com os relacionamentos das atividades e também foram introduzidas as matrizes de “precedências”. Este conceito ganhou uma maior importância a partir do manual do usuário do “PMS – *Project Management System*”, um software de gerenciamento de projetos desenvolvido para o computador IBM 1440, para o processamento de redes, publicado por volta de 1964, sendo que um de seus principais autores foi J. David Craig (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Um amplo desenvolvimento deste procedimento foi então conduzido por K. C. Crandall¹³⁵ (apud MODER em CELAND; KING, 1988, p. 358), alterando à lógica do diagrama de rede PERT e CPM, de um único tipo de dependência, para três outros tipos.

O método do diagrama de precedências – PDM é um método de construção de um diagrama de rede que usa caixas ou retângulos, chamados de nós, para representar as atividades, e os conectores por setas que mostram as dependências. A Figura 2.58 apresenta um diagrama de precedências. Esta técnica também é chamada de atividade no nó - AON¹³⁶, sendo o método usado pela maioria dos pacotes de softwares (PMI, 2004).

¹³⁴ Lag, no original.

¹³⁵ Crandall, Keith C. “Project Planning with Precedence Lead/Lag Factors.” *Project Management. Quartely*, Vol. 6(3) (1973), pp. 18-27.

¹³⁶ Activity-on-node – AON, no original.

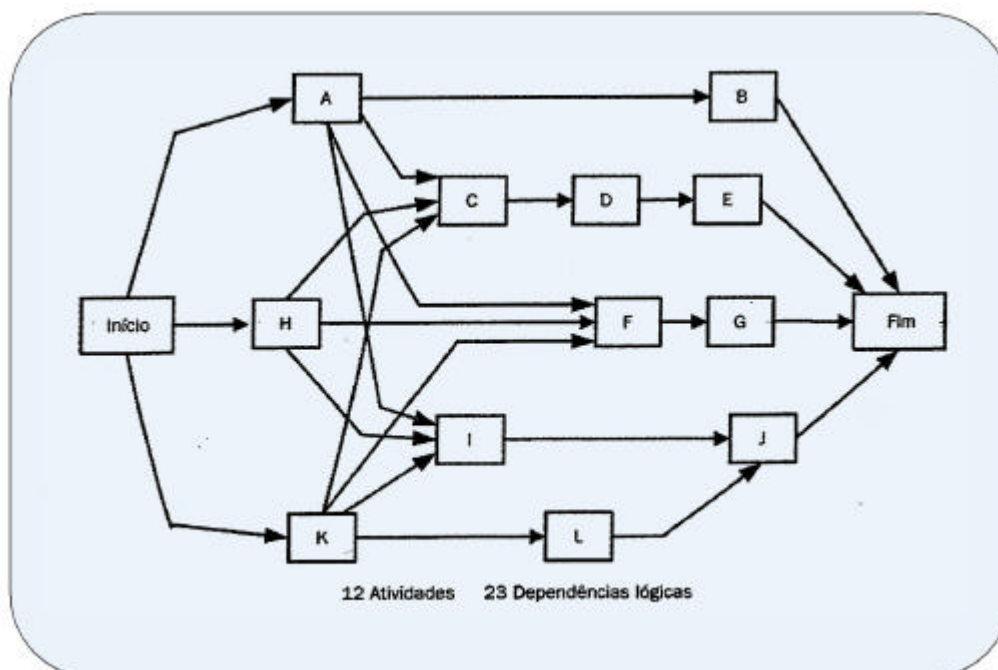


Figura 2.58 - Método do diagrama de precedências.

Fonte - PMI (2004, p. 132).

Segundo Meredith e Mantel (2000) o diagrama de precedências é um método de diagrama de rede de atividade no nó (AON), que possibilita a modelagem de antecipações e defasagens¹³⁷. Por causa do aumento de flexibilidade, decorrente das antecipações e defasagens necessárias, deve ser conhecido se cada atividade pode ser dividida¹³⁸ ou não. A divisão permite um atendimento mais fácil das restrições de antecipações e defasagens. Se a divisão não é permitida, o projeto pode ser significativamente atrasado.

Maximiano (1997, p. 63) define que:

O diagrama de precedências é uma técnica alternativa de representação gráfica das atividades do projeto. O diagrama de precedências, como seu nome indica, é um gráfico que mostra as ligações entre as atividades e seu encadeamento. No diagrama de precedências, ou diagrama de rede do projeto, cada atividade é representada por um “nó”, um retângulo ou círculo dentro do qual se anota o símbolo ou número que designa a atividade. As

¹³⁷ Leads e lags, no original.

¹³⁸ Split, no original.

setas que fazem a ligação indicam que uma atividade deve terminar antes que a atividade seguinte possa começar [...].

Moder; Phillips e Davis (1983) apresentam como exemplo de diagrama de precedências a Figura 2.59. Neste diagrama de rede, para representar a “sobreposição¹³⁹” das atividades do tipo que ocorre normalmente nos projetos, foram desenvolvidas modificações no diagrama de eventos ou de nós, consistindo na definição dos relacionamentos de precedências entre as atividades, que são ilustrados na Figura 2.60. Neste diagrama pode-se especificar “tempos de atraso¹⁴⁰” associados com quaisquer tipos de relacionamentos de precedências, usados para sobrepor atividades.

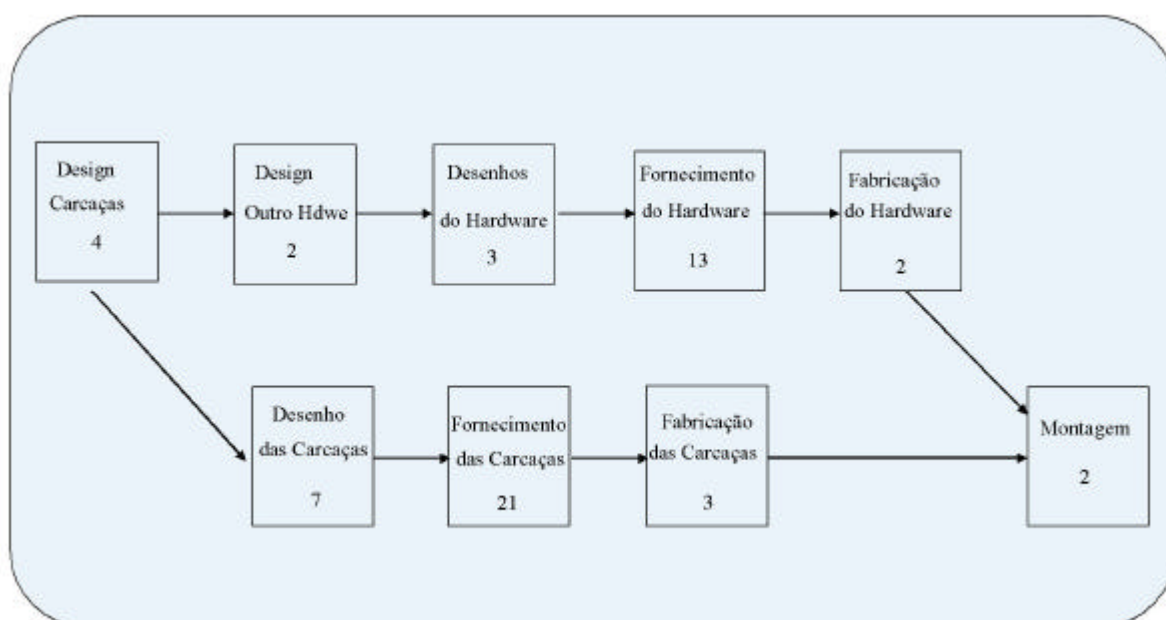


Figura 2.59 - Diagrama de precedências.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 39).

¹³⁹ Overlapping, no original.

¹⁴⁰ Lag time, no original.

Crandall¹⁴¹ apud Moder em Cleland e King (1988, p. 358) apresenta os seguintes tipos de lógicas de precedências (Figura 2.60):

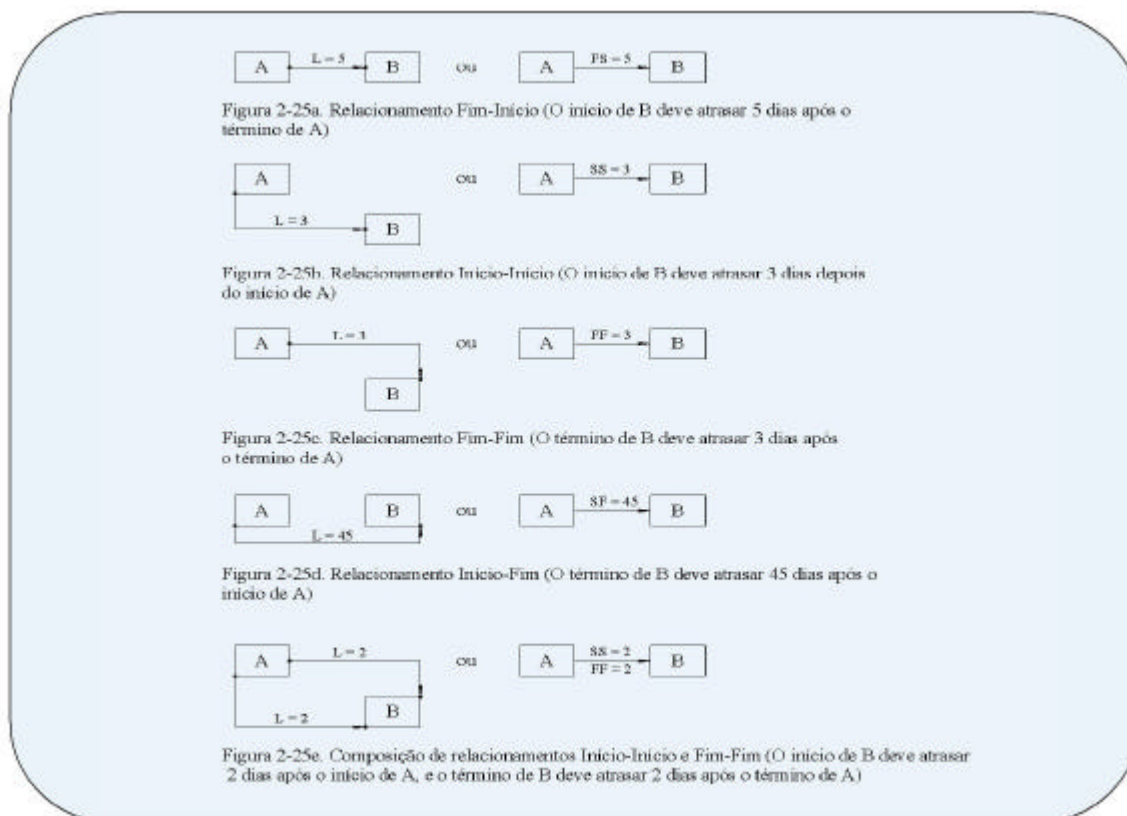


Figura 2.60 - Relacionamentos de precedências.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 40).

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 95) salientam que “o relacionamento término – início é o único permitido no PERT e CPM¹⁴², possuindo a flexibilidade de se adicionar um tempo de atraso. Já o relacionamento, início – término, não é freqüentemente usado”.

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 95) apresentam abaixo a nomenclatura e premissas a serem usadas:

- ✓ **FS_{ij}**: denota uma restrição de término - início, que é igual ao mínimo número de unidades de tempo que devem acontecer da conclusão da

¹⁴¹ Crandall, Keith C. “Project Planning with Precedence Lead/Lag Factors.” Project Management. Quarterly, Vol. 6(3) (1973), pp. 18-27.

¹⁴² O grifo é nosso.

atividade predecessora (i) anteriormente ao início da sucessora (j). (Nota: esta é a única restrição lógica utilizada no PERT/CPM, com $FS_{ij} = 0$);

- ✓ **SS_{ij}**: denota uma restrição de início - início, que é igual ao mínimo número de unidades de tempo que devem ser realizadas na atividade predecessora (i) antes do início da atividade sucessora (j);
- ✓ **FF_{ij}**: denota uma restrição de término - término, que é igual ao mínimo número de unidades de tempo que devem restar para serem realizadas na atividade sucessora (j) depois da conclusão da predecessora (i);
- ✓ **SF_{ij}**: denota uma restrição de início - término, que é igual ao mínimo número de unidades de tempo que devem acontecer do início da predecessora (i) até a conclusão da sucessora (j);
- ✓ **ZZ_{ij}**: denota uma combinação freqüentemente usada de duas restrições, isto é, um relacionamento de início-início e um de término-término. Ela é calculada com as unidades de tempo do relacionamento SS_{ij} acontecendo em primeiro lugar, seguida pelas unidades de tempo do relacionamento FF_{ij} .¹⁴³

Usando as regras acima apresentadas, pode-se revisar o diagrama apresentado na Figura 2.59, a fim de mostrar a sobreposição de atividades de forma mais precisa, sem a necessidade de “quebrar” as atividades em dois ou mais nós (Figura 2.61).

¹⁴³ Tradução própria.

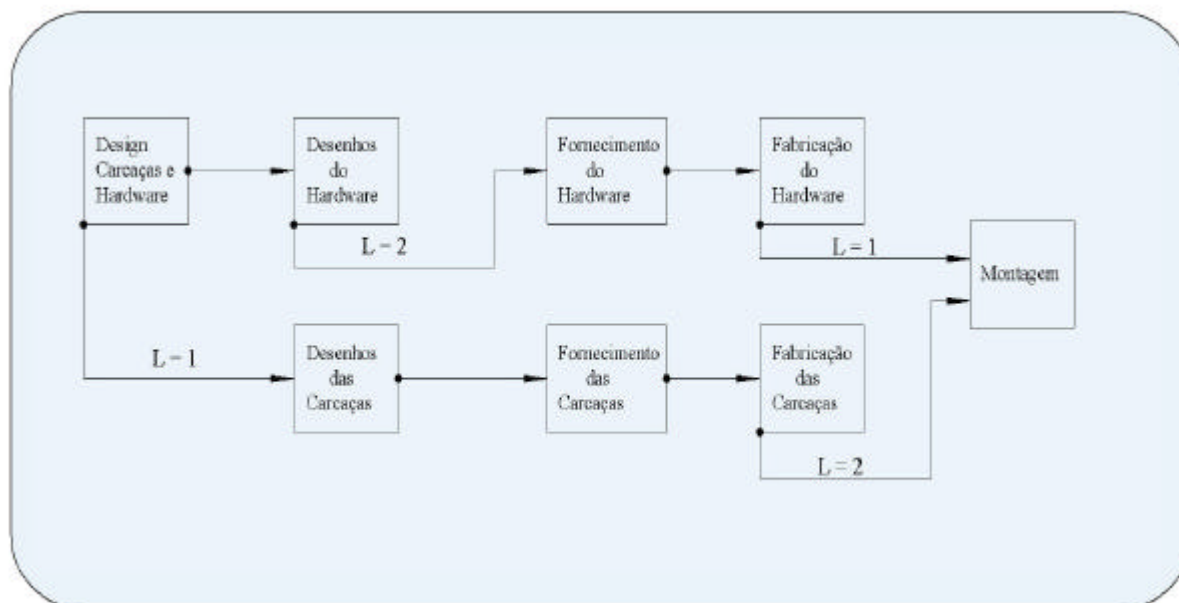


Figura 2.61 - Projeto exemplo convertido em um diagrama de precedências.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 42).

Estas vantagens também são evidenciadas por Fadigas (1970, p. 24) ao salientar que:

O diagrama de blocos, ou Método dos Potenciais, apresenta algumas vantagens, por exemplo, não há necessidade de introduzir atividades fictícias¹⁴⁴, como no diagrama clássico, [...] da mesma forma, é muito simples representar a possibilidade de iniciar uma atividade antes de a precedente estar completamente terminada; não há necessidade de subdividir a atividade, como no diagrama (i - j), [...] para determinar que valor deve ser colocado na flecha no caso da sobreposição das atividades, precisamos levar em conta não apenas as condições de defasagem dos inícios, mas também a condição de defasagem dos términos, pois uma atividade subsequente não pode terminar antes da atividade precedente.

¹⁴⁴ Também conhecida como atividades-fantasma.

A segunda situação observada pelo Prof. Fadigas está apresentada na Figura 2.62.

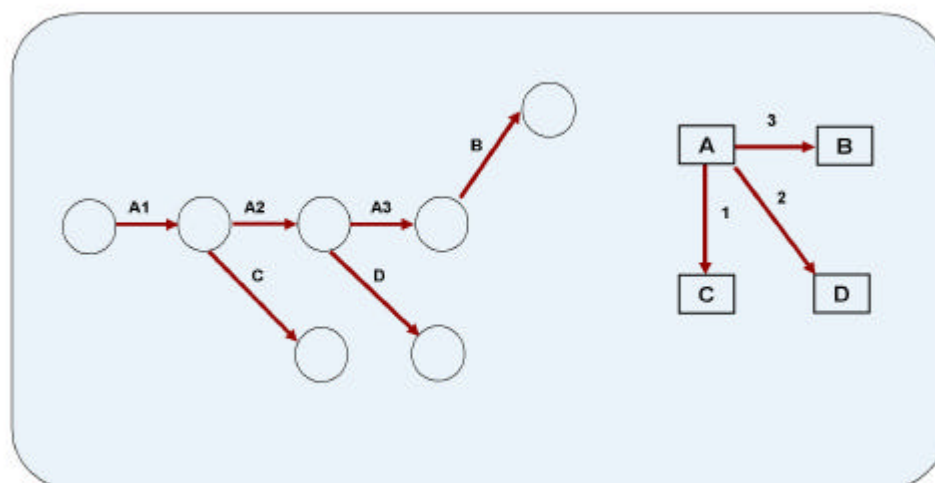


Figura 2.62 - Exemplo de falsa dependência nos diagramas i – j e blocos.

Fonte - Fadigas (1970, p. 24).

Observa-se na figura acima que o diagrama apresentado através do Método de Precedências é muito mais simples e claro que o respectivo diagrama de flechas, e que a quantidade de atividade usadas para representar o mesmo modelo é significativamente menor (4 atividades utilizadas no PDM contra 6 no ADM).

Schuyler (2001) comenta que embora seja dificultoso, é possível representar os três relacionamentos: início – início, término – término e início - término, usando nós fantasma (ou falsa dependência) no PERT ou CPM. O PDM elimina a necessidade de nós fantasma para sobrepor atividades e também apresenta como melhoria a possibilidade de inclusão das defasagens e antecipações, possibilitando a modelagem de atrasos, como, por exemplo, o tempo de secagem da pintura. As flechas na Figura 2.63 mostram os quatro tipos de relacionamentos.

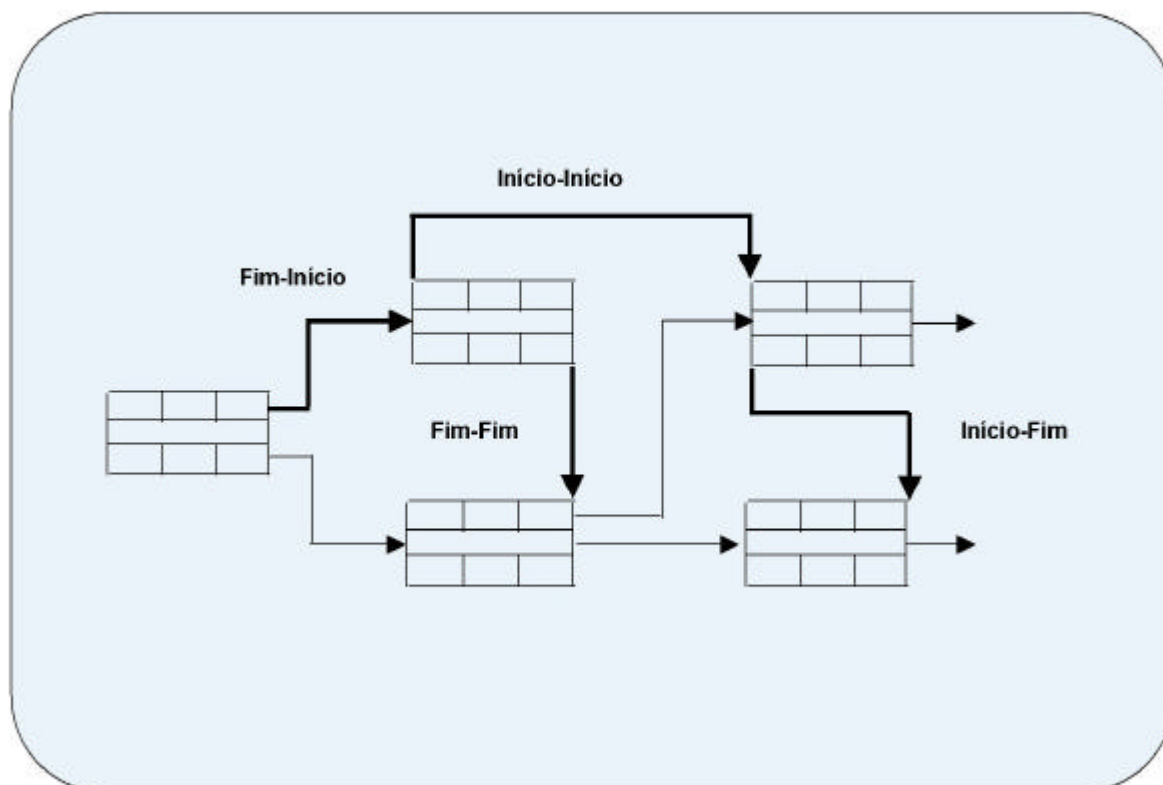


Figura 2.63 - Quatro tipos de relacionamentos.

Fonte - Schuyler (2001, p. 127).

Moder; Phillips e Davis (1983) explicam que é evidente, que em algumas situações os diagramas de precedências, podem ser mais eficientes do que os diagramas de flechas ou de eventos ou nós. Os defensores do diagrama de precedências sentem que este método é de mais fácil compreensão e menos confuso, pois não há necessidade de dividir as atividades. Entretanto, o método também introduz algumas complexidades na forma da ligação das flechas com várias definições diferentes, e os cálculos da duração do projeto que não são muito diretos como nos diagramas de rede de flechas ou de eventos ou nós.

Meredith e Mantel (2000) salientam que algumas anormalidades tendem a acontecer no diagrama de precedências que não são encontradas no diagrama de flechas. Por exemplo, por causa dos requisitos de antecipações e defasagens, as atividades podem parecer ter folgas totais quando realmente não as têm. Neste caso, o caminho crítico da rede irá retroceder por meio de uma atividade, resultando que o aumento de tempo da atividade pode na verdade diminuir o prazo de conclusão do

projeto. Tal atividade é denominada **crítica reversa**¹⁴⁵. Isto ocorre quando o caminho crítico entra através término de uma atividade, em função de uma restrição de término, continua retrocedendo através da atividade, e a deixa através de uma restrição de início. Este assunto será detalhado ao se explicar a metodologia de cálculo.

Leach (2000, p. 134) propõe que na construção da lógica do projeto torna-se necessária a consideração dos seguintes pontos:

1. Cada atividade possui um produto claramente definido?
2. As predecessoras de cada atividade são necessárias para iniciá-la?
3. As predecessoras de cada atividade são suficientes para executá-la?
4. Todas as atividades fornecem todos os produtos a serem entregues pelo projeto (comparar com a EAP)?
5. Temos recursos atribuídos às atividades?
6. As atividades possuem restrições desnecessárias?
7. Todos os eventos ou marcos foram incluídos no diagrama de rede?
8. Todos os recursos que determinam a duração da atividade estão sendo alocados em regime integral (100% de utilização)?
9. Todos os caminhos do diagrama de rede estão vinculados ao término do projeto? Se não, vincule-os a pelos menos um evento de término, normalmente chamado de "Término do Projeto";
10. Todos os caminhos do diagrama de rede estão vinculados ao início do projeto? Se não, vincule-os a pelos menos um evento de início, normalmente chamado de "Início do Projeto".¹⁴⁶

Os dois últimos itens apresentados por Leach também são enfatizados por Meredith; Mantel (2000, p. 309) quando eles sugerem:

Na notação AON, quando há múltiplas atividades sem predecessoras, é usual mostrá-las todas saindo de um único nó chamado "início". Similarmente, quando múltiplas atividades não possuem sucessores, é usual mostrá-las conectadas a um nó chamado "término", conforme a Figura 2.64.

¹⁴⁵ Este assunto será detalhado no item 2.2.7.4.1 - Anormalidades do diagrama de precedência.

¹⁴⁶ Tradução própria.

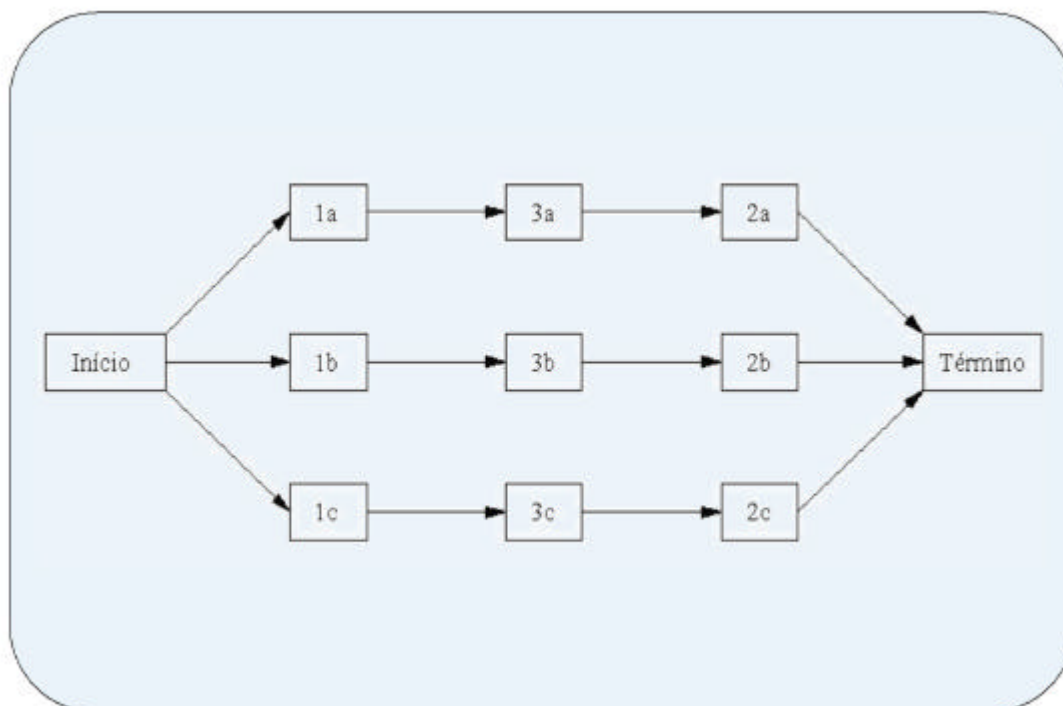


Figura 2.64 - Diagrama de precedências - AON.

Fonte – Meredith; Mantel (2000, p. 310).

2.2.5 Estimativa de duração das atividades

2.2.5.1 Introdução

A lógica básica do planejamento deve ser estabelecida pelo primeiro esboço do diagrama de rede, e o próximo passo é adicionar as estimativas de duração para cada atividade e refinar o diagrama de rede, conforme necessário, para apresentar o nível de detalhe desejado. Esses processos, na prática, estão intimamente inter-relacionados, sendo normalmente realizados simultaneamente. Ao se elaborar as estimativas de duração, é normal que se descubra que certas atividades necessitam ser redefinidas, condensadas em menos atividades, ou expandidas em mais atividades, a fim de representar precisamente o projeto no nível desejado de detalhe (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Tanto Kerzner (2006) como o PMI (2004), afirmam que as estimativas de duração de atividades são avaliações quantitativas, do número provável de períodos de

trabalho, que serão necessários para concluir uma atividade. A estimativa de duração deve ser progressivamente elaborada, sendo fundamental para o processo a consideração da qualidade e da disponibilidade dos dados de entrada.

O processo de estimativa requer que sejam elaboradas estimativas da quantidade de esforço de trabalho, da quantidade prevista de recursos a serem utilizados para executar as atividades e do número de períodos de trabalho necessários para concluir as atividades da programação. Portanto, as estimativas de duração podem incluir alguma indicação da faixa dos prováveis resultados. Por exemplo, pode ser estimada uma duração de duas semanas mais ou menos dois dias, para indicar que a atividade poderá ter uma duração de pelo menos oito dias e não mais do que doze dias, considerando que a semana de trabalho possua cinco dias úteis. Outro aspecto importante no processo de estimativa é que todas as bases, dados e premissas que suportam a estimativa de duração sejam documentadas e que sejam considerados os calendários do projeto e dos recursos (PMI, 2004).

No entender de Moder; Phillips e Davis (1983) o método do caminho crítico fornece uma forma disciplinada para fazer estimativas de duração detalhadas, representando graficamente a seqüência dos elementos do projeto e calculando as programações de cada elemento. Portanto, o diagrama de rede utiliza efetivamente mais detalhes do que um gráfico de barras, sendo uma particular vantagem no uso das estimativas de duração e na análise da programação. O conhecimento humano é o ingrediente básico em todos os métodos, mas é a maneira com que este conhecimento é aplicado que determina a precisão e o poder dos resultados.

A determinação do tempo decorrido entre eventos necessita que os gerentes funcionais responsáveis avaliem a situação e submetam suas melhores estimativas, pois os cálculos dos caminhos críticos e folgas tomarão por base essas melhores estimativas. Nessa situação ideal, o gerente funcional deve ter à sua disposição um grande volume de dados históricos, a partir dos quais ele fará as suas estimativas. Obviamente, quanto mais dados históricos estiverem disponíveis, mais confiável será a estimativa (KERZNER, 2006).

Noção similar é apresentada por Moder; Phillips e Davis (1983, p. 49), ao considerarem que:

Um fator principal que influencia a precisão das estimativas de duração é

quem as faz, e uma regra geral a ser considerada é que a pessoa supervisora com maior conhecimento deve estimar cada atividade. Isto significa, por exemplo, que as estimativas que são de responsabilidade primária de um subcontratado elétrico devem ser estimadas pelo gerente ou supervisor do subcontratado, mais familiarizado com o trabalho. As atividades do departamento de pesquisa devem ser estimadas pelo supervisor responsável pela pesquisa, mais familiarizado com o trabalho, e assim por diante. O objetivo principal do processo de estimativas de duração deve ser obter as estimativas mais realistas possíveis.¹⁴⁷

Uma característica do planejamento do diagrama de rede é a convocação de reuniões com todo o pessoal de supervisão, durante a fase de elaboração da estimativa de duração, considerando cada atividade pela qual eles são responsáveis. É também desejável que estas pessoas participem da preparação do primeiro esboço do diagrama de rede. Quando os subcontratados, fornecedores, inspetores representando o cliente, etc., se encontram para discutir um projeto, a discussão conduzirá às questões de prioridades em certas fases do trabalho, interferência potencial das equipes de trabalho, definições das atribuições dos engenheiros e muitos outros detalhes de planejamento, que podem não terem sido explorados até o surgimento dos problemas. Essas discussões freqüentemente identificam e resolvem problemas potenciais, antes que o projeto comece, em vez de tratá-los assim que eles ocorram, podendo acarretar ações corretivas que sejam caras ou talvez impossíveis (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Lewis (1995) também alerta que as durações das atividades devem ser estimadas baseadas em um banco de dados histórico, e elaboradas por uma pessoa que possua a habilidade necessária para executar o trabalho. Caso estas condições não sejam satisfeitas, a duração real do trabalho, em alguns casos, pode divergir consideravelmente das estimativas de duração.

A Norma ABNT (2000, p. 7) recomenda que:

- ✓ As estimativas para duração das atividades sejam estabelecidas por pessoal com responsabilidade para essas atividades;
- ✓ A duração estimada a partir de experiências passadas seja verificada quanto à correção e à aplicabilidade às atuais condições do projeto;

¹⁴⁷ Tradução própria.

- ✓ As entradas devem ser documentadas e rastreadas até as respectivas origens;
- ✓ Durante as estimativas de duração, é útil para o planejamento de recursos, que sejam estimados, ao mesmo tempo, os recursos associados;
- ✓ Seja dada atenção particular à alocação de tempo suficiente para as práticas da qualidade;
- ✓ Quando a estimativa de duração envolver significativa incerteza, convém que os riscos sejam avaliados e minimizados, incorporando-se às estimativas, as apropriadas tolerâncias pertinentes aos riscos restantes;
- ✓ Quando for útil ou necessário, convém envolver o cliente e outras partes interessadas.

Cleland e King (1983) destacam que o método do caminho crítico, visando evitar alguns problemas inerentes às estimativas de durações utilizadas pelo PERT, tem utilizado algumas abordagens focadas na utilização de estimativas históricas, como forma de obtenção de melhores resultados. O uso de estimativas históricas no planejamento e controle de projetos assume que existe disponível um grupo de atividades realizadas, para as quais as durações reais são conhecidas. As atividades concluídas constituem um banco de dados histórico de estimativas de durações, que pode ser usado como uma base para ajustar estimativas de atividades futuras ou em andamento.

Não obstante, é geralmente sentido pelos usuários do CPM, que a abordagem do diagrama de rede tende a ajudar o estabelecimento de um nível gerenciável. Novamente, o aumento de detalhes mostrados por uma rede desempenha um papel útil, pois quanto menores os elementos de trabalho, mais difícil é esconder uma estimativa superestimada. De fato, certa quantidade de orgulho profissional é em geral percebida na atitude do avaliador, que normalmente conduz a um grau de otimismo nas suas considerações. Outro fator que favorece a elaboração de estimativas realistas é o reconhecimento de que figuras preconcebidas, possivelmente tenderão a fazer com que atividades envolvidas constituam o caminho crítico, atraindo, deste modo, a atenção da alta administração e outras partes envolvidas no projeto, sobre o grupo responsável por aquelas atividades (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Segundo Moder; Phillips e Davis (1983) somente uma quantia limitada de pesquisas sobre as estimativas de durações em diagramas de rede foi publicada. Um dos estudos mais interessantes, feito por Seelig; Rubin¹⁴⁸ (apud MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983, p. 50), que compararam os resultados de 48 projetos de pesquisa e desenvolvimento, sendo que alguns utilizaram o PERT e outros não. Os autores concluíram que o uso do PERT definitivamente conduziu a uma melhoria no desempenho da programação, mas não teve efeito notável no desempenho técnico. Além disso, eles concluíram que a melhoria no desempenho da programação foi principalmente um resultado da melhoria na comunicação entre os gerentes do projeto, que foi conseguida por meio do uso do método do diagrama de rede.

2.2.5.2 Métodos e técnicas de estimativas

Moder; Phillips e Davis (1983) sugerem que é melhor completar um esboço preliminar do diagrama de rede do projeto, antes de se realizar quaisquer estimativas de duração. Este procedimento é útil a fim de assegurar total concentração na lógica dos inter-relacionamentos entre as atividades, que, evidentemente, deve ser estabelecida precisamente. Quando o esboço estiver concluído, as estimativas de duração devem ser incluídas em cada atividade. Este passo irá constituir uma análise ou revisão completa da rede, e irá normalmente resultar em um número de modificações, baseadas na nova perspectiva do diagramador da rede do projeto.

Assim que as estimativas estiverem concluídas, um simples cálculo manual do passo de ida¹⁴⁹ deve ser realizado, resultando no cálculo das datas cedo de início e término das atividades. Este é um passo importante, pois através dele são identificados erros, ou a necessidade de posterior refinamento, antes do preparo do

¹⁴⁸ Seelig, W. D.; I. M. Rubin, "The Effects of PERT in R&D Organizations", published as a *Working Paper of the Research Program on the Management of Science and Technology*, Nº 230-66, Alfred P. Sloan School of Industrial Management, Massachusetts Institute of Technology, December 1966.

¹⁴⁹ Forward pass, no original.

desenho final do diagrama de rede do projeto (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Knutson e Bitz (1991, p. 66) apresentam sugestões bastantes interessantes sobre a elaboração das estimativas de duração, salientando que:

Estimar não é seu melhor palpite. Não é tentar alcançar um desafio. Não é ceder às demandas de outras pessoas. Uma estimativa não é o que nós estimamos da última vez; não é o que nós estimamos da última vez mais o quanto nós deslizamos; não é um número conservador com muita segurança; não é pegar a estimativa de outra pessoa e dobra-la, ou aumentar as unidades de tempo por um; não é fornecer a resposta esperada ou “certa”.

[...] estimar em gerenciamento de projetos é uma técnica de previsão para determinar a quantidade de esforço e tempo exigidos para completar o trabalho das tarefas de um projeto. Deve-se tentar prever ou predizer quanto tempo o esforço real ou o trabalho levará, quantos recursos humanos serão necessários, e o tempo decorrido ou a duração estimada para concluir as tarefas.¹⁵⁰

“O objetivo da utilização do comportamento histórico para ajustar as estimativas atuais¹⁵¹ é de obter melhores estimativas. Alguns estudos que têm tratado com a questão da precisão das estimativas de durações das atividades têm mostrado que o método é viável” (CLELAND; KING, 1983, p. 409).

Após a elaboração do diagrama de rede, deve-se estimar a duração média¹⁵² de cada atividade, baseada nas especificações e na consideração dos recursos a serem utilizados na execução dos trabalhos. Mais uma vez, cumpre salientar que as melhores estimativas são normalmente obtidas das pessoas que supervisionam o trabalho ou das que possuem tal experiência (MODER em CLELAND; KING, 1988).

Abordagem similar é defendida por Rosenau (1992), ao definir que uma boa estimativa de duração tem como base quem irá executá-la e como ela será executada, e recomendando a necessidade de realização de um julgamento pragmático da estimativa de duração, com a participação do líder da tarefa, o gerente do projeto, e um a três outros conhecedores do assunto. A meta de tal

¹⁵⁰ Tradução própria.

¹⁵¹ Current estimates, no original.

¹⁵² Average duration, no original. Grifo do autor.

reunião em grupo é chegar a um consenso sensato sobre o quanto a atividade irá levar, quando ela é executada de forma planejada.

Na estimativa de duração, a atividade deve ser considerada independentemente das atividades que as precedem ou sucedem. Por exemplo, não se deve dizer que uma atividade particular irá demorar mais do que o usual porque suas partes necessárias estão previstas para serem entregues mais tarde. A entrega deve ser uma atividade separada, em que a própria estimativa de duração deve refletir o prazo realista de entrega (MODER; PHILLIPS; DAVIS,1983).

Moder; Phillips e Davis (1983) sugerem que se deve assumir níveis normais de mão-de-obra, equipamentos, ou outros recursos para cada atividade. Exceto por limitações conhecidas nos recursos, em função de algumas atividades serem dependentes de recursos, não se deve levar em conta possíveis conflitos entre atividades realizadas simultaneamente, que podem competir pelos mesmos recursos. Estes conflitos serão tratados posteriormente, após a realização dos cálculos da programação.

A estimativa de duração a ser feita para cada atividade é o tempo médio que a atividade deve levar, esta estimativa é denominada de “duração da atividade”¹⁵³. Este termo significa o tempo gasto pela atividade, expresso em unidades, tais como dias de trabalho, em vez de uma medida do trabalho expresso em unidades tais como homens–dia. Unidades diferentes de dias de trabalho, tais como horas ou semanas, podem ser utilizadas, desde que a unidade escolhida seja usada consistentemente através do diagrama de rede. As estimativas de duração das atividades não devem incluir contingências incontroláveis tais como incêndios, enchentes, greves, ou atrasos legais, e também os fatores de segurança empregados para tais contingências (MODER; PHILLIPS; DAVIS,1983).

Contrariamente, os defensores do Método da Corrente Crítica sugerem que não se deve usar a duração média nas estimativas de duração de atividades. Este assunto será abordado detalhadamente no item 2.2.9.

Leach (2000) comenta que ao se solicitar estimativas de durações de atividades para as pessoas, não devemos solicitar a duração média, pois elas têm a tendência

¹⁵³ Grifo do autor.

de fornecerem uma estimativa que se sintam confortáveis, independentemente de como ela é chamada. Outro aspecto levantado é que devemos ter certeza que o trabalho estimado inclui 100% do esforço da tarefa. Caso isto não ocorra, deve-se reduzir a duração da atividade a fim de que seja mantida uma alocação em tempo integral¹⁵⁴. Após a obtenção da estimativa “normal” inicial, deve-se voltar à equipe perguntando, por exemplo, “Quão rapidamente esta atividade pode ser realizada, considerando a existência de todos os insumos necessários para iniciá-la, e também, que tudo ocorra bem durante o andamento da mesma”. É necessária uma diferença entre as estimativas considerando as médias e as de baixo risco a fim de que seja gerado o pulmão do projeto. LEACH alerta que o fato de se adicionar o pulmão do projeto as estimativas de baixo risco (pessimistas), desnecessariamente a duração do projeto será aumentada.

Para Levine (2002), quando uma pessoa pretende estimar a duração de uma atividade, ela primeiro apresenta uma estimativa mais provável da duração. Este é a duração que ela sente que poderia acontecer, por volta de cinquenta por cento (50%) das vezes, ao executar a tarefa. Mas normalmente as pessoas não se sentem confortáveis com um fator de confiança de cinquenta por cento (50%), adicionando, portanto, algum tempo que elas sentem que poderia acontecer por volta de noventa por cento (90%) das vezes. Em seguida, ainda segundo Levine, as pessoas imaginam o que é necessário para iniciar as atividades, incluindo as condições requeridas. Caso haja dúvidas de que elas terão tudo que precisam para iniciá-las, mais tempo será adicionado às atividades.

Quando diversas atividades são realizadas sucessivamente, existe a tendência de se adicionar ainda mais segurança, para levar em consideração o possível atraso de uma das atividades. Similarmente, é de conhecimento que existe uma tendência de se perder tempo entre atividades. Levine define isto como a regra $5 + 5 = 13$, ou seja, quando duas atividades, com estimativa de duração de cinco (5) dias, são realizadas em série, irão gastar treze (13) dias, pois se perde aproximadamente três (3) dias entre a conclusão da primeira atividade e o início da segunda. Este

¹⁵⁴ Full time, no original. Na realidade encontram-se situações nas quais a alocação de recursos nem sempre se dá em tempo integral.

comportamento é chamado de fator de coleção¹⁵⁵.

Finalmente, é sabido que a duração total da atividade não será aceita pela gerência, e normalmente será aplicada uma redução de 20%. Para a compensação da redução se aplica um percentual de 25%, à já inflacionada estimativa.

Certamente existe justificativa para todos os itens supracitados, entretanto, a maioria deles não influencia o tempo real necessário para executar a atividade. Quase todos estes argumentos também são utilizados no Método da Corrente Crítica, que será apresentado no item 2.2.9.

Além dos fatores apresentados acima, Levine (2002) considera que existem diversas abordagens para estimar as durações das atividades, a saber:

- ✓ **Tempo gasto** e **Tempo de trabalho**¹⁵⁶: são estimados 5 dias para realmente realizar o trabalho, mas também é sabido que ocorrem interrupções. Portanto estima-se a duração da atividade em 10 dias, considerando o tempo gasto que é esperado ocorrer;
- ✓ **Duração da tarefa** e **duração do recurso**: é estimado que a tarefa vá levar 80 Hh para ser realizada, mas ainda não se tem certeza se estas 80 Hh serão realizadas por 2 pessoas, trabalhando 5 dias, ou se as 80 Hh serão realizadas por 1 pessoa, trabalhando meio período, em 20 dias;
- ✓ **Perdas e atrasos decorrentes de interfaces**: acima foi observada a ocorrência de perdas entre atividades e quando existe convergência de várias atividades. Essas perdas esperadas devem ser incorporadas nas próprias atividades, ou devem ser criadas atividades-fantasma para considerar esses atrasos?
- ✓ **Duração teórica** e **experiência**: para uma atividade realizada várias vezes, foram estimados 20 dias para a sua duração, e este é o prazo considerado necessário e suficiente para sua execução, porém, a cada vez que a tarefa é realizada ela gasta por volta de cinquenta por cento (50%) a mais do que foi originalmente estimado, e para cada vez há uma

¹⁵⁵ Collection factor, no original.

¹⁵⁶ Elapsed time vs working time, no original.

razão diferente para o atraso. Deve ser utilizada a estimativa de 30 dias, baseada na experiência passada, ou usada a estimativa aparentemente mais correta de 20 dias?

- ✓ **Níveis de habilidades, curvas de aprendizado e prioridades:** Serão considerados os indicadores de desempenho? Serão adicionados tempos às estimativas da duração, em função da expectativa da necessidade de tempo e esforços adicionais para executar a atividade pela primeira vez (curva de aprendizado)? A duração de uma atividade deve ser ajustada em função do nível de habilidade esperado dos recursos a serem designados? Realmente existe um índice de habilidade? E se o recurso mudar? Uma atividade ou projeto de prioridade mais alta deve ser realizada mais rapidamente em função da pressão e atenção?
- ✓ **Método PERT:** Esta técnica fornece um método quantitativo de considerar incerteza ou risco. Ele utiliza três estimativas de duração para cada atividade: estimativa otimista, estimativa mais provável e estimativa pessimista. A mais provável é a duração que se repete mais vezes, é a moda da distribuição. A otimista é a duração razoavelmente mais curta, atingível por volta de dez por cento (10%) das vezes. A pessimista é a duração razoavelmente mais longa, também com uma probabilidade de aproximadamente dez por cento (10%).

Observar que, como vimos anteriormente, Kerzner (2006), considera o valor de um por cento (1%), em vez de dez por cento (10%) para as estimativas otimistas e pessimistas.

- ✓ **Método Delphi:** esta técnica de auxílio à decisão é raramente empregada na determinação das durações de atividades, podendo ser aplicada se desejado. Cada membro da equipe deve fornecer sua própria estimativa para o grupo. As estimativas nos extremos (menores/maiores) são defendidas pelo estimador, que freqüentemente introduz assuntos que não foram considerados por outros membros. Baseado na nova informação, a equipe vota novamente (re-estima). O processo é repetido até que haja um razoável consenso e conforto em relação à duração da atividade.

Segundo Maximiano (1997, p. 61) existem várias formas de elaborar uma estimativa de duração das atividades de um projeto: experiência prática, consultas a especialistas e consultas aos planos operacionais de projetos similares anteriores. A duração das atividades é influenciada por muitas variáveis:

- ✓ **Previsão de recursos:** a duração de qualquer atividade é determinada pela quantidade prevista de recursos. Em teoria, quanto maior a quantidade de pessoas e recursos alocados ao projeto, maior velocidade o ciclo de vida tem. No entanto, a simples organização e mobilização de recursos numerosos pode ser uma atividade que consome muito mais tempo que o esperado;
- ✓ **Competência das pessoas** mais importante que a quantidade, a qualidade das pessoas envolvidas afeta dramaticamente a duração das atividades. É legítimo esperar que o desempenho e a produtividade pessoal aumentem em proporção direta com a experiência e as qualificações;
- ✓ **Serviços de terceiros** um dos principais determinantes da duração das atividades é a participação de serviços e produtos fornecidos por terceiros. Essas pessoas e organizações estão sujeitas as suas próprias restrições e competências. O planejamento eficiente requer coordenação precisa e comunicação constante a fim de que os serviços de terceiros não comprometam os prazos do projeto;
- ✓ **Fatores e desdobramentos incontroláveis** planos e cronogramas são influenciados por fatores incontroláveis, como clima, greves de fornecedores e funcionários próprios, feriados, desastres naturais.

Um segundo método popular de determinação das durações das atividades é chamado de conduzido por meio do *esforço*¹⁵⁷. Através deste método, é estimado o total de horas para ser aplicado por cada recurso que está trabalhando na atividade, e também o índice de esforço¹⁵⁸. Por exemplo, uma parede é construída por dois pedreiros, trabalhando durante todo o tempo, por um total de oitenta (80) homens-hora. A duração da tarefa é calculada como cinco (5) dias (40 horas decorridas). Caso existam múltiplos recursos e índices de esforço, a duração da atividade será determinada pelo esforço mais longo.

¹⁵⁷ Effort-driven, no original.

¹⁵⁸ Rate of effort, no original.

A seguir serão apresentadas algumas considerações e premissas utilizadas na elaboração de estimativas de duração de atividades:

a) Considerações do clima

Em projetos de construção o clima é uma das maiores fontes de incerteza na programação. Segundo Moder; Phillips e Davis (1983), em um sistema de estimativa única, existem duas abordagens comuns para levar em conta o clima:

- ✓ A primeira abordagem é de omitir a consideração do clima ao se estimar a duração de cada atividade, considerando a estimativa do efeito total do clima na duração do projeto;
- ✓ A segunda abordagem envolve a consideração dos efeitos do clima, ao se elaborar a estimativa de duração de cada atividade. Nesta abordagem cada atividade é avaliada de acordo com sua sensibilidade ao clima: o trabalho de escavação é sensível à chuva, o trabalho de lançamento de concreto é sensível ao frio, o encanamento interior não é sensível ao clima, etc. Neste caso a sensibilidade ao clima deve indicar qual é o aumento a ser acrescentado na duração da atividade para fazer a compensação necessária (por exemplo, um aumento de 20% na duração da atividade);
- ✓ Em função dos cálculos iniciais da programação (datas cedo e tarde, folgas), é possível lidar com possíveis atrasos decorrentes do clima, reprogramando para mais cedo ou mais tarde, as atividades que possuem quantidades relativamente grandes de folgas, evitando conseqüentemente, as más estações climáticas. Esta abordagem resulta em uma programação mais precisa para cada atividade com referência às datas calendário.

b) Atividades em finais de semana

A utilização de dias de trabalho¹⁵⁹, que é uma unidade de duração bastante usada em projetos de construção, resulta no cálculo da duração do projeto assumindo que nenhuma atividade será realizada durante os finais de semana e feriados. Entretanto isto pode ser incorreto, como por exemplo, a cura do concreto é realizada através de

¹⁵⁹ Working days, no original.

dias não trabalháveis, como os feriados e finais de semana. Portanto, torna-se necessário modelar corretamente este tipo de situação bastante comum nos projetos de construção. Hoje em dia, a maioria dos softwares de gerenciamento de prazo possibilita esta modelagem, por meio da utilização de diversos tipos calendários (semana de cinco dias, semana de seis dias, dias corridos, etc.) em um projeto (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

O objetivo de todo o planejamento do projeto deve ser o desenvolvimento de um plano que seja realista, possibilitando aos gerentes a tomada de decisões sobre como fazer o trabalho.

c) Atividades com durações fixas

Algumas atividades requerem durações fixas, como por exemplo, aprovações legais de 30 ou 60 dias, que estão fora do controle do gerente de projeto. Frequentemente essas atividades fazem parte do caminho crítico do projeto e, portanto, são importantes fatores na duração total do projeto. Evidentemente o passo mais importante é identificar esses períodos de tempo e/ou datas impostas na fase inicial do planejamento do projeto, de tal forma que os passos preparatórios sejam programados para evitar a perda desses prazos ou datas impostas.

Outra consideração é de se assegurar, tanto quanto possível, a realização em paralelo com atividades de tempos fixos em vez de colocá-las em série, reduzindo a duração total dos caminhos que contem esses elementos fixos (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

2.2.5.3 Redefinindo as atividades e o seqüenciamento

Existem determinadas situações decorrentes de problemas encontrados ao se elaborar a diagramação, ou da necessidade de se definir as estimativas de durações em função de ajustes na estratégia de condução da implantação de empreendimentos, em que inevitavelmente serão necessários ajustes na definição das atividades e no nível de detalhe do diagrama de rede (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

b) Atividades em paralelo¹⁶⁰

Situações de atividades em paralelo, ou “sobreposição de atividades”, ocorrem freqüentemente em projetos de construção, e em certos outros tipos de trabalho. O método de diagramação de precedências é projetado especialmente para representar a sobreposição das atividades, que devem ser consideradas quando esses relacionamentos são esperados para ocorrer no projeto. Para comparar os diversos métodos, será apresentado o seguinte problema exemplo no formato de atividades nos nós.

Na situação ilustrada na Figura 2.65, várias atividades inter-relacionadas podem começar e terminar aproximadamente nos mesmos nós.

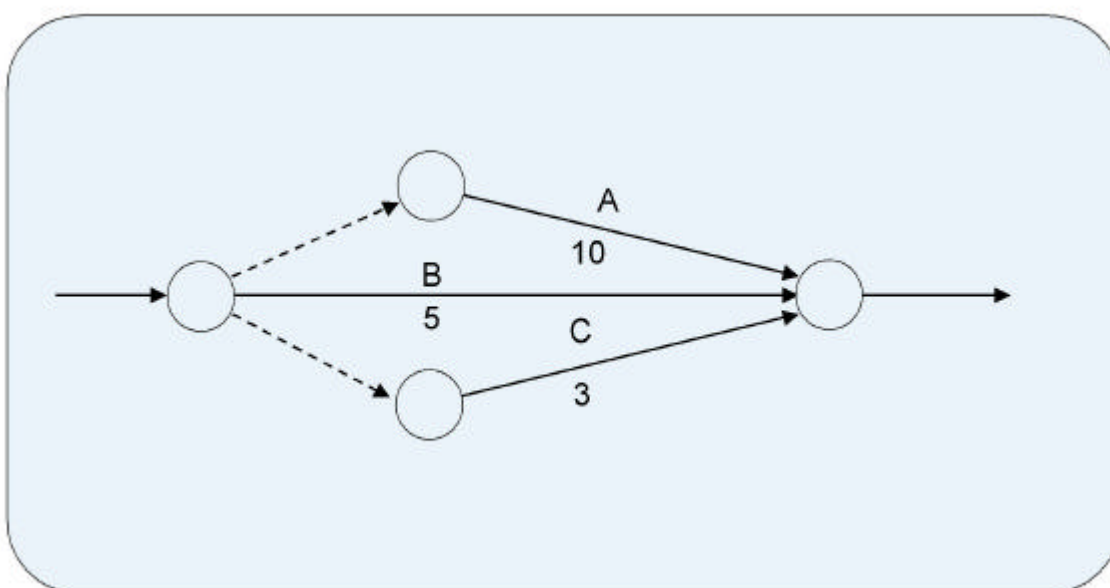


Figura 2.65 - Atividades em paralelo representadas no diagrama de flechas.

Fonte – Moder, Phillips e Davis (1983, p. 54).

Suponha que a atividade **A** possa ser iniciada depois de um dia do início da atividade **B**, e que será concluída um dia depois da conclusão da atividade **B**. A atividade **C** pode ser realizada a qualquer momento em que **B** esteja acontecendo.

Para situações de rede deste tipo de precisão, usando o esquema básico de flechas, nós devemos redefinir as atividades, conforme a Figura 2.66.

¹⁶⁰ Activities in parallel, no original. Prof. Dr. Biazzini considera que se deve usar o termo “atividades independentes”, pois paralelo significa ao mesmo tempo.

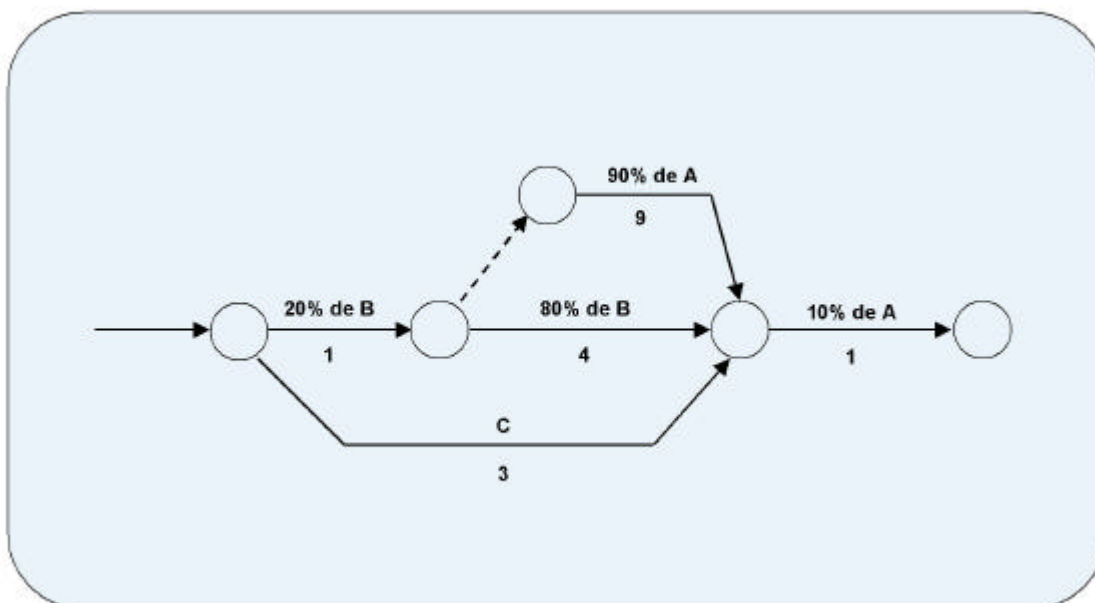


Figura 2.66 - Atividades em paralelo representadas no diagrama de flechas.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 54).

Outra abordagem para a correção do problema de atividades em paralelo seria condensá-las em uma única atividade. Entretanto, a atividade única deveria ter uma estimativa de duração representando o tempo total para a conclusão de todas as três atividades, uma estimativa de tempo que é mais precisamente obtida de uma solução detalhada dada na Figura 2.67.

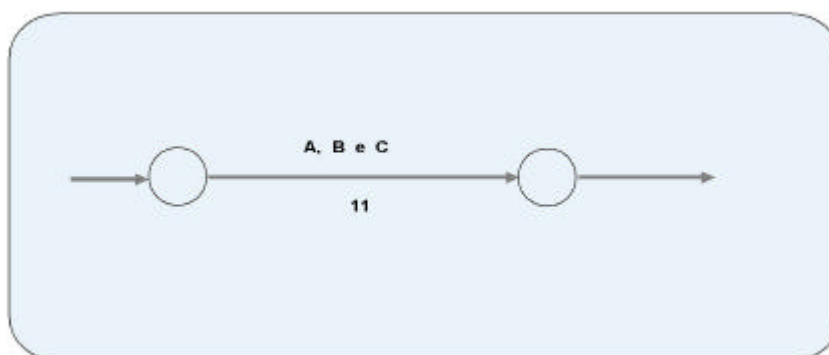


Figura 2.67 - Sumariando em uma única atividade.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 55).

Através da Figura 2.68 apresenta-se o problema exemplo utilizando o diagrama de atividades no nó. Observa-se que não existe muita diferença em relação ao diagrama apresentado anteriormente, pois ainda temos cinco (5) atividades.

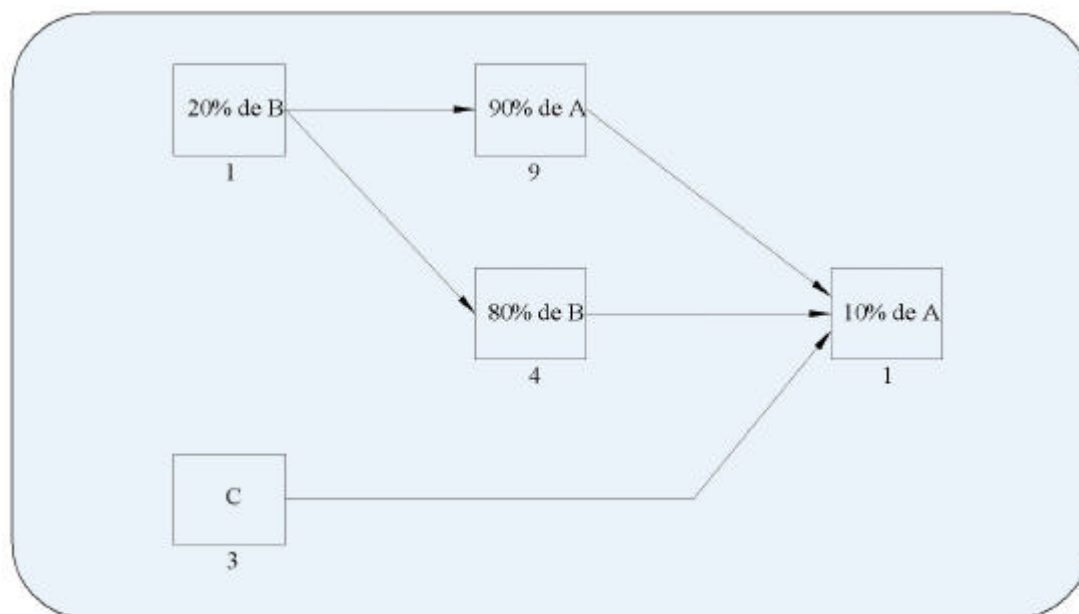


Figura 2.68 - Atividades em paralelo representadas no diagrama de atividade no nó.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 55).

Considerando o problema representado em um diagrama de precedências, Figura 2-69, observa-se que somente as três atividades básicas são representadas, e seus relacionamentos de sobreposição são mostrados por meio das flechas e da notação de defasagem¹⁶¹ de tempo. A principal característica da notação de precedência é que as atividades não estão subdivididas na rede, o que é considerado uma vantagem para a leitura. Entretanto, os relacionamentos de dependência estão agora mais complexos.

¹⁶¹ Lag, no original.

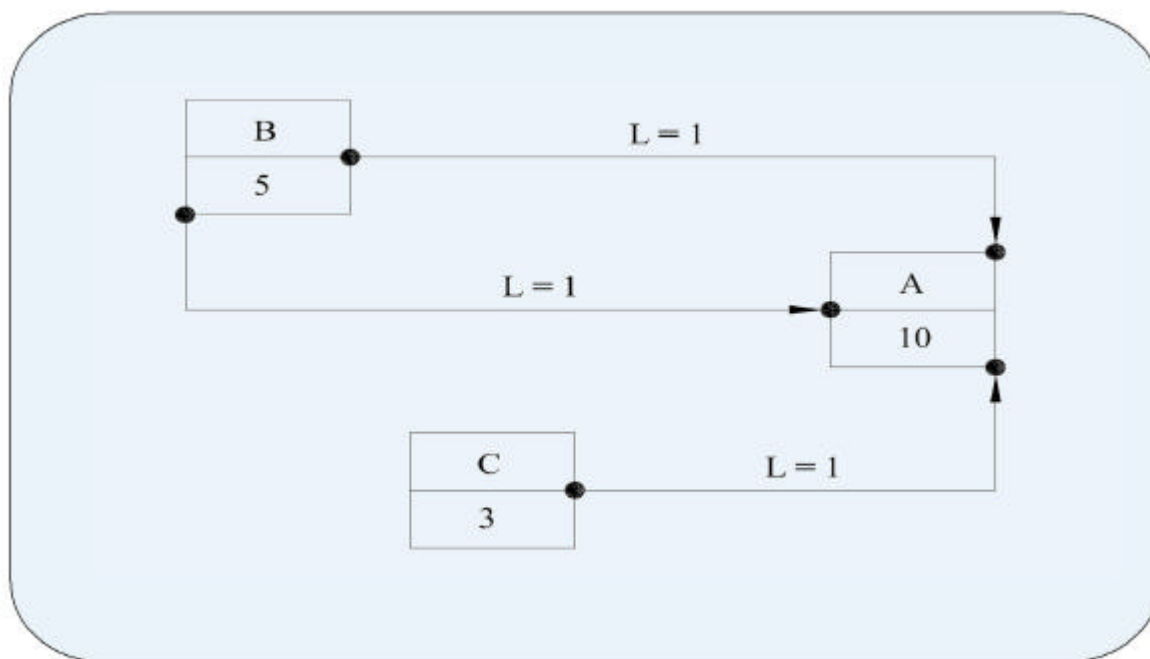


Figura 2.69 - Atividades em paralelo representadas no diagrama de precedências.

Fonte – Moder, Phillips e Davis (1983, p. 56).

Moder, Phillips e Davis (1983) concluem salientando, que claramente o diagrama de precedências é mais fácil de ser lido, quando comparado com as atividades subdivididas apresentadas no diagrama de flechas e de nós. Entretanto, os relacionamentos de dependência no diagrama de precedência são mais complexos e podendo ser mais difíceis de serem compreendidos na prática. Na escolha do formato de diagrama de rede empregar, deve-se considerar os tipos de relacionamentos envolvidos nas atividades do projeto, as pessoas que estarão lendo as redes e os métodos computacionais disponíveis.

c) Atividades em série

Moder, Phillips e Davis (1983) explicam que outro problema que afeta a precisão dos diagramas de rede, aparece quando diversas atividades são desenhadas em série, como mostrado na Figura 2.70. Suponha que durante a análise do diagrama foi observado que realmente a atividade **B** pode ser iniciada pelo menos dois dias antes do término da atividade **A**. Este erro pode ser corrigido de diversas formas. Uma solução pode ser obtida com a divisão da atividade **A** no ponto em que a atividade **B** inicia (Figura 2.71). Uma segunda solução pode ser obtida através a absorção da complementação da atividade **A** na atividade **B** (Figura 2.72). Na

terceira opção podemos condensar as atividades **A** e **B** (Figura 2.73).

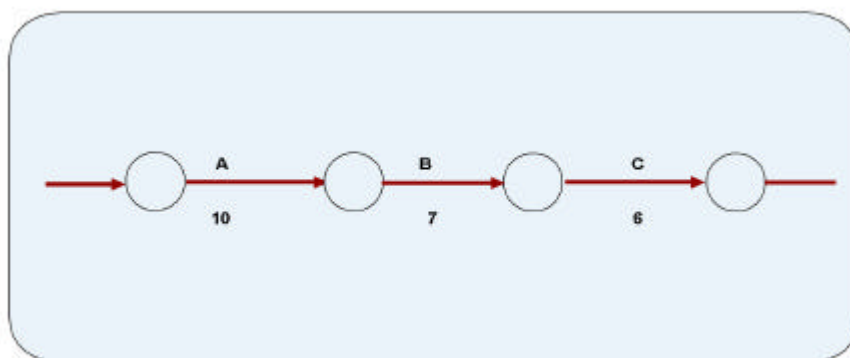


Figura 2.70 -

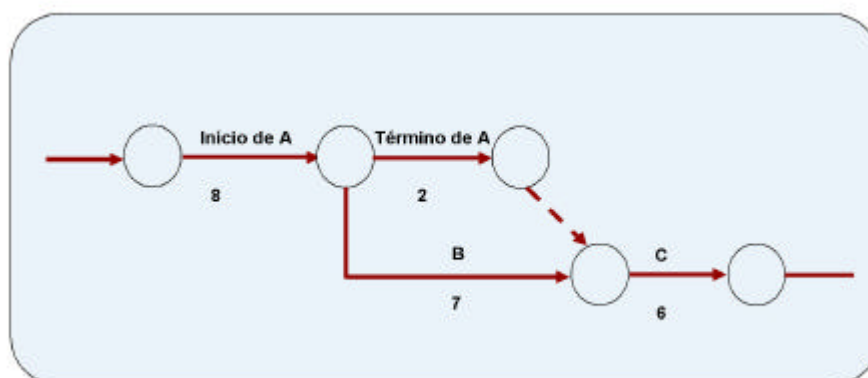


Figura 2.71 -

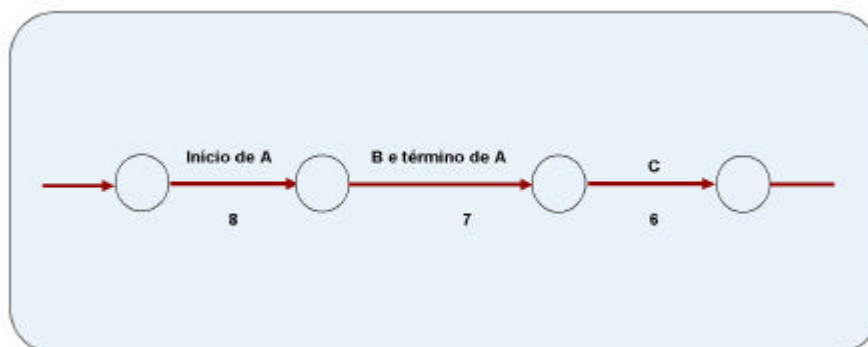


Figura 2.72 -

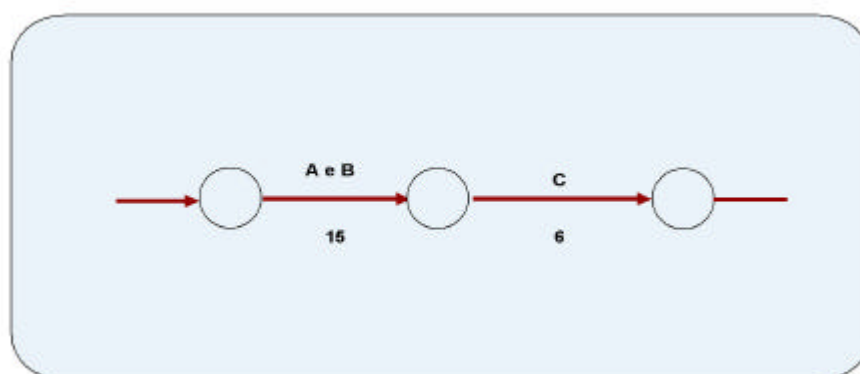


Figura 2.73 -

Figuras 2.70, 2.71, 2.72 e 2.73 - Soluções apresentadas para a diagramação de atividades em série.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 56).

2.2.5.4 Estimativa de três pontos

Anderson; Sweeney e Williams (2003) salientam que uma vez desenvolvido o diagrama de rede do projeto, torna-se necessário informações sobre a duração requerida para executar cada atividade. Esta informação é usada no cálculo da duração total do projeto e na programação das atividades específicas. Para projetos repetitivos, como os de construção e os de manutenção, os gerentes possuem a experiência e os dados históricos necessários, para fornecerem estimativas de duração precisas, porém, para projetos novos ou singulares, estimar a duração de cada atividade, pode ser uma tarefa bastante difícil. Na verdade, em muitos casos, as durações de atividades são incertas e são melhores descritas por meio de um intervalo de possíveis valores, em vez de uma única duração estimada. Nestes exemplos, as durações incertas das atividades são tratadas como variáveis aleatórias associadas às distribuições de probabilidade. Como um resultado, pode-se obter cálculos das probabilidades de se alcançar uma data específica para conclusão do projeto.

Goodpasture (2004) alerta que existe um grande perigo em se usar estimativas

pontuais nas durações e esforços¹⁶². A rede PERT foi o primeiro sistema de rede a reconhecer que o valor esperado é a melhor estimativa singular em um ambiente de incerteza, portanto o valor esperado da duração deve ser o número usado nos cálculos de rede. A distribuição BETA foi selecionada para o sistema PERT e as duas variáveis, “alfa” e “beta”, foram escolhidas para formar uma curva BETA com a assimetria enfatizando o valor mais pessimista.

Para incorporar a incerteza nas durações das atividades, Anderson; Sweeney e Williams (2003, p. 453) sugerem, para cada atividade do projeto, a obtenção de três estimativas de duração:

- ✓ **Duração otimista (a)**: a duração mínima da atividade se tudo ocorrer perfeitamente;
- ✓ **Duração mais provável (m)**: a duração mais provável da atividade sob condições normais;
- ✓ **Duração pessimista (b)**: a duração máxima da atividade se atrasos significativos são encontrados.

O PMI (2004, p. 142) salienta que

A precisão de uma estimativa de duração de atividades pode ser melhorada considerando a quantidade de riscos envolvidos na estimativa original. As estimativas de três pontos se baseiam na determinação de três tipos de estimativas:

- ✓ **Otimista**¹⁶³: a duração da atividade se baseia em um cenário de melhor caso do que está descrito na estimativa mais provável;
- ✓ **Mais provável**¹⁶⁴: a duração da atividade, quando são fornecidos os recursos prováveis de serem designados, sua produtividade, as expectativas realistas para as atividades, dependências de outros participantes e interrupções;
- ✓ **Pessimista**¹⁶⁵: a duração da atividade se baseia em um cenário de pior caso do que está descrito na estimativa mais provável.

¹⁶² Efforts, no original.

¹⁶³ Optimistic, no original.

¹⁶⁴ Most likely, no original.

¹⁶⁵ Pessimistic, no original.

Uma estimativa de duração da atividade pode ser construída considerando uma média das três durações estimadas. Muitas vezes essa média irá fornecer uma estimativa de duração mais precisa do que a estimativa mais provável de um único ponto.

Kerzner (2006, p. 490) ao definir estas três durações fornece uma indicação de suas frequências de ocorrência:

- ✓ **Duração otimista.** Esta duração assume que tudo irá ocorrer de acordo com o planejado e com o mínimo de dificuldades. Isto deve ocorrer aproximadamente um por cento das vezes;
- ✓ **Duração mais provável.** Esta é a duração que na mente dos gerentes funcionais deve ocorrer com mais frequência, caso este esforço seja reportado repetidamente;
- ✓ **Duração pessimista.** Esta duração assume que tudo não irá ocorrer de acordo com o planejado e que ocorrerão dificuldades máximas. Isto também deve ocorrer aproximadamente um por cento das vezes.

Goodpasture (2004, p. 51) diz que bons resultados podem ser obtidos com a utilização da estimativa de três pontos, podendo ser usadas equações para calcular o valor esperado, variância e o desvio-padrão. Os três pontos são:

- ✓ **Mais otimista:** valor que possui uma pequena probabilidade de ocorrência;
- ✓ **Mais provável:** valor para qualquer instância singular do projeto, É a moda da distribuição;
- ✓ **Mais pessimista:** valor que também possui uma pequena probabilidade de ocorrência.

Não é incomum que os valores das estimativas otimista e mais provável estejam próximos um do outro, do que do valor pessimista, decorrente de que muitas coisas podem dar erradas, e, usualmente existem poucas que podem dar certo. A Tabela 2.5 apresenta as equações para cálculo de valores estatísticos para as distribuições mais comuns e a Figura 2.74 apresenta as ilustrações.

Estatística	Normal	BETA	Triangular	Uniforme
Valor esperado ou média	$A + [(B - A)/2]$	$(B + 4 * M + A)/6$	$(B + M + A)/3$	$A + [(B - A)/2]$
Variância σ^2	$(B - A)^2/36$	$(B - A)^2/36$	$[(A + B)^2 + (M - A) * (M - B)]/18$	$(B^3 - A^3) / [3 * (B - A)] - (B - A)^2/4$
Desvio padrão, σ	$(B - A)/6$	$(A - B)/6$	$\sqrt{\sigma^2}$	$\sqrt{\sigma^2}$
Mais provável ou moda	$A + [(B - A)/2]$	Por observação ou estimativa, o pico da curva	Por observação ou estimativa, o pico da curva	Não aplicável

Nota: A = Valor otimista, B = Valor pessimista, M = Valor mais provável

Tabela 2.5 - Estatísticas das distribuições comuns.

Fonte - Goodpasture (2004, p. 53).

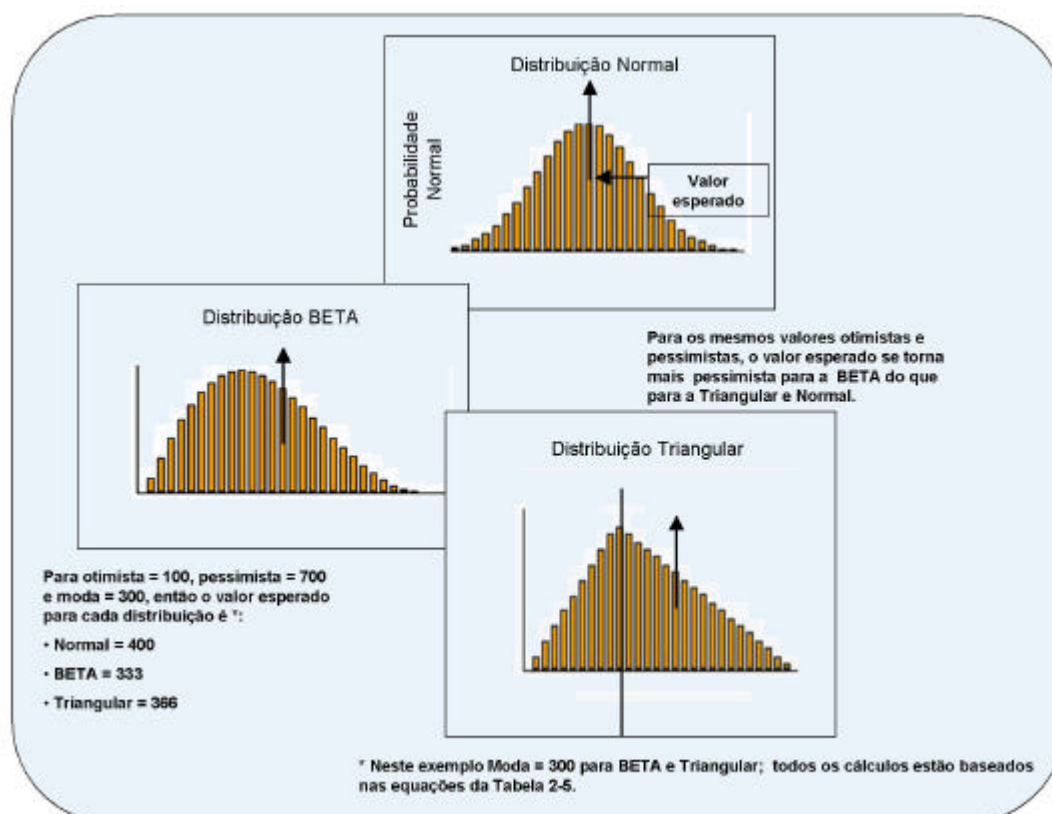


Figura 2.74 - Comparação das distribuições estatísticas.

Fonte - Goodpasture (2004, p. 54).

Observar que na Figura 2.74 para as mesmas estimativas de valores otimista e pessimista, e a mesma moda para as distribuições Beta e Triangular, o valor esperado se torna mais pessimista à medida que se caminha da distribuição beta, para a triangular e para a normal.

Segundo Levine (2002), são obtidas pelo menos três (3) vantagens com a utilização da estimativa de três pontos:

- ✓ Definindo três estimativas, obtém-se um melhor sentimento da verdadeira estimativa de duração e da amplitude do risco e contingência para cada atividade. Por exemplo, uma atividade com uma estimativa de 3, 4, 10 deve ser mais propensa a riscos do que uma atividade com uma estimativa 5, 5, 5;
- ✓ Pode-se usar vários pesos no desenvolvimento da programação, possibilitando a visualização das datas projetadas de conclusão do projeto, para vários graus de otimismo ou contingência. Isto não muda quanto tempo o projeto irá levar, mas realmente fornece um claro entendimento dos possíveis resultados, fornecendo informações necessárias para a tomada de decisões pela alta administração;
- ✓ Por meio da utilização de um software especial para análise PERT, pode-se gerar uma avaliação estatística da probabilidade de se alcançar qualquer data possível de conclusão do projeto.

2.2.6 Desenvolvendo a programação

O que se pretende ao desenvolver a programação de um projeto é responder a duas questões básicas: qual é a duração esperada para o projeto e quando cada atividade pode ser programada. As respostas a estas questões são inferidas da lógica do diagrama de rede e das durações estimadas de cada atividade. Essas estimativas podem ser baseadas em um único valor da duração, um modelo determinístico, que é basicamente o procedimento do CPM, ou podem ser baseadas em um sistema de três estimativas de duração, um modelo probabilístico para o planejamento do projeto, como o PERT. Independentemente de qual procedimento

de estimativa é usado, os métodos de cálculos da programação serão os mesmos, já que eles tratam somente com os tempos médios estimados para a duração das atividades. Considerando que a lógica do diagrama de rede é utilizada como base desses cálculos, tornam-se necessários procedimentos diferentes para cada tipo de diagrama: de flechas e de precedências (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Quase todas as técnicas especiais de gerenciamento de projetos que utilizadas atualmente foram desenvolvidas durante os anos de 1950 e 1960 pela indústria norte-americana de defesa aérea (DoD e NASA). Dentre essas técnicas pode-se citar a técnica de avaliação e análise de programas (PERT), valor agregado (EV), gerenciamento de configuração, engenharia de valor e a estrutura analítica do projeto (EAP). A indústria da construção também fez sua contribuição ao desenvolver o método do caminho crítico (CPM) e o método do diagrama de precedências (PDM), usando diagramas de rede e nivelamento de recursos (BURKE, 1999).

Segundo Archibald (1992) a natureza específica de cada projeto dita quais recursos são críticos, e conseqüentemente devem ser cuidadosamente programados. A duração é estimada em uma base bruta através do cronograma *master* do projeto, e em detalhes através das programações das tarefas ou atividades. Instalações, equipamentos e materiais são planejados, estimados, orçados e controlados por procedimentos estabelecidos para esses propósitos dentro de cada organização. O cronograma *master* do projeto estabelece as datas principais a serem usadas nesses procedimentos e na programação detalhada das tarefas. Os recursos, dinheiro e pessoal requerem atenção especial para o efetivo planejamento e controle do projeto.

Segundo o PMI (2004, p. 143):

O desenvolvimento da programação do projeto é um processo iterativo, que determina as datas de início e término planejadas das atividades do projeto, podendo exigir que as estimativas de duração e de recursos sejam analisadas e revisadas, criando uma programação do projeto aprovada, que sirva como referência (ou como linha de base), em relação a qual o progresso pode ser acompanhado. O desenvolvimento da programação continua durante todo o projeto, conforme o trabalho se desenvolve o plano de gerenciamento do projeto se modifica e os eventos de riscos previstos

ocorrem ou desaparecem, à medida que novos riscos são identificados.

Levine (2002) comenta que ao se realizar uma programação, a preocupação é com o estabelecimento da duração do trabalho, ou seja, determinação de quando o trabalho será realizado. As programações podem ser conduzidas por vários fatores, podendo incluir uma combinação de quaisquer destes fatores:

- ✓ **Dirigida por marcos:** o trabalho é programado para atingir marcos e prazos finais¹⁶⁶ que são ditados pelo contrato ou condições do projeto. Esses marcos e prazos finais são normalmente apresentados no Cronograma de Marcos do Projeto ou Cronograma de Eventos Principais do Projeto, que é usado como base ou referência, para a elaboração da programação detalhada do projeto;
- ✓ **Dirigida pelas precedências:** normalmente o trabalho é programado pelo computador, levando em consideração as durações das atividades, restrições e relacionamentos que foram definidos. Uma programação puramente dirigida por meio das relações de precedências pode não levar em consideração a totalidade dos marcos pré-definidos, assumindo que todos os recursos estarão disponíveis quando necessários. Certamente esta situação não é realista, mas é um bom modelo para se iniciar a programação;
- ✓ **Dirigida por recursos:** O trabalho é programado quando os recursos estão disponíveis para realizá-lo. Para a aplicação desta técnica, é necessário começar com uma programação preliminar (não restringida ou limitada por recursos¹⁶⁷), preferivelmente uma que seja dirigida pelas precedências, possibilitando a elaboração de um modelo que represente principalmente as restrições físicas. Uma vez calculada a programação, os recursos designados para realização dos trabalhos são definidos, sendo portanto realizado o carregamento de recursos. Também é definida a disponibilidade de recursos, e então comparadas à necessidade e a disponibilidade de recursos. Caso ocorram conflitos, o nivelamento de recursos é acionado para buscar, por meio da

¹⁶⁶ Deadline, no original.

¹⁶⁷ Resource constrained, no original.

reprogramação dos trabalhos, a compatibilidade entre necessidade e disponibilidade de recursos.

A programação significa planejar associando o tempo ao trabalho, consistindo em associar períodos, datas e prazos às atividades. São as decisões que estabelecem quando as atividades devem ser realizadas (MAXIMIANO, 1997).

Uma questão que deve ser considerada na programação é o grau de detalhe que deve ser estabelecido no diagrama de rede. Embora uma EAP possa ser desenvolvida até o nível 6 (nível de esforço) para os propósitos de estimativa, pode-se querer desenvolver uma programação de trabalho no nível 5 (nível do pacote de trabalho), em vez do nível 6. Existem duas razões para isto: a primeira é que a maioria dos gerentes de níveis mais altos não precisa ou se importam com o grau de detalhe usado no controle do progresso. Eles apenas querem saber, de maneira sumariada, como está o andamento e a situação do projeto; segundo, é muito difícil gerenciar em um nível muito detalhado. Portanto, é aconselhável o desenvolvimento de uma programação no nível 6, apenas para o uso dos interessados da equipe do projeto que necessitam da informação neste nível de detalhe, publicando a programação do trabalho no nível 5 (LEWIS, 1995).

Lewis (1995, p. 117) adverte: “não planeje em um detalhe maior do que você pode gerenciar”. Portanto, na decisão do grau de detalhe a ser programado, deve-se levar em consideração a regra básica que estabelece que a rede não deve ser planejada em um grau de detalhe que não possa ser gerenciada.

Um outro aspecto relacionado à duração da atividade que deve ser observado é que as atividades devem ser quebradas em unidades de trabalho que possuem durações relativamente curtas. Não existe uma regra estabelecida, mas é sugerido que as durações devam estar dentro de um intervalo de quatro a seis semanas no máximo, dependendo da natureza do trabalho. Se isto não é feito, existe uma tendência real de adiar o trabalho das tarefas até que seja muito tarde a sua recuperação, acarretando, portanto, a aplicação de um grande esforço próximo ao final da tarefa, numa tentativa infrutífera de finalizá-la em tempo. Quando uma tarefa possui duração maior do que seis semanas, ela deve ser subdividida em tarefas “artificiais”, contendo produtos (*deliverables*) se possível, de forma que o progresso possa ser atualizado, e conseqüentemente minimizando a tendência de se postergar a realização do trabalho (LEWIS, 1995). De maneira similar, Rita Mulcahy (2002)

sugere que o projeto seja dividido em “tarefas” contendo de oito (8) a oitenta (80) homens-hora de trabalho, significando uma duração de um (1) a dez (10) dias.

Lewis (1995) sugere que deve haver um balanço ou compromisso entre programar com muito ou pouco detalhe, pois a subdivisão de “grandes” tarefas em tarefas gerenciáveis não somente evita a postergação do trabalho, favorecendo a alocação de recursos, mas também possibilita o estabelecimento de marcos mensuráveis, nos quais produtos tangíveis serão produzidos, propiciando uma boa medição do progresso do projeto.

Uma vez que o diagrama de rede está aprovado, e as atividades já possuem suas durações estimadas deve-se então, calcular as datas programadas de início e término de cada atividade. Todos os cálculos da programação envolvem primeiro um passo de ida¹⁶⁸ e então um passo de volta¹⁶⁹ através do diagrama de rede. Baseado em uma data de início especificada para o projeto, os passos ou cálculos de ida (progressivo) procedem seqüencialmente a partir do início ao término do projeto fornecendo as datas de início e término mais cedo (esperadas) de cada atividade, e para o diagrama de flechas, será calculada a data mais cedo (esperada) de ocorrência de cada evento. O modificador “esperado” é usado para lembrar que estas são as datas de ocorrência estimadas. As durações reais, conhecidas somente após as atividades serem concluídas, podem diferir destas durações esperadas em função dos desvios apresentados entre as durações reais e estimadas das atividades (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Essas datas “esperadas” são as datas inicialmente calculadas, que após a alocação e nivelamento de recursos passarão a ser datas planejadas, de início e término, de cada atividade.

Por meio da especificação da data de ocorrência mais tarde permitida para a conclusão do projeto, os cálculos do passo de volta, ou regressivo, também procedem seqüencialmente a partir do término para o início do projeto. Eles fornecem as datas de início e término mais tarde, permitidas para cada atividade, e para os diagramas de flechas, a data de ocorrência mais tarde, permitida para cada

¹⁶⁸ Forward pass, no original.

¹⁶⁹ Backward pass, no original.

evento. Após a conclusão dos cálculos de ida e volta, pode-se calcular a folga¹⁷⁰ de cada atividade, e determinar os caminhos críticos e subcríticos do diagrama de rede (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

A Norma ABNT (2000, p. 7) recomenda que:

- ✓ Os dados de entrada para o desenvolvimento do cronograma sejam identificados e verificados para o atendimento às condições específicas do projeto;
- ✓ Seja tomado um cuidado especial para identificar o caminho crítico, atividades com longo tempo de espera e atividades de longa duração;
- ✓ Sejam identificados formatos padronizados de cronograma adequados às diferentes necessidades dos usuários;
- ✓ As inconsistências encontradas na integração das estimativas de duração com as dependências das atividades sejam resolvidas antes que os cronogramas sejam finalizados e emitidos;
- ✓ Os cronogramas devem indicar as atividades críticas e quase críticas;
- ✓ O cronograma deve identificar eventos particulares, algumas vezes denominados como eventos-chave ou marcos, que necessitam de entradas ou decisões específicas, ou onde resultados importantes são planejados, tais como avaliações de progresso;
- ✓ O cliente e as principais partes interessadas sejam mantidos informados durante o desenvolvimento do cronograma sendo envolvidos quando necessário. Convém que cronogramas apropriados sejam fornecidos a eles com informações ou, se necessário, para aprovação.

A programação do projeto inclui pelo menos as datas planejadas de início e de término para cada atividade do cronograma. Se for, inicialmente, utilizado o planejamento de recursos, o cronograma do projeto deve continuar sendo preliminar até que as atribuições de recursos sejam confirmadas e as datas programadas de início e término sejam estabelecidas. Um cronograma de referência do projeto também pode ser desenvolvido com datas alvo de início e de término definidas para cada atividade do cronograma. A programação do projeto pode ser apresentada de

¹⁷⁰ Float or slack, no original.

forma sumariada, às vezes chamada cronograma master, cronograma mestre, cronograma de marcos, cronograma de eventos, cronograma básico ou apresentado em detalhes (PMI, 2004).

2.2.7 Método do caminho crítico

2.2.7.1 Introdução

De acordo com Fadigas (1970, p. 3):

As técnicas do caminho crítico podem ser classificadas em dois grandes grupos, que se desenvolveram independentemente. O grupo que chamaremos “CPM”, que corresponde, além do *Critical Path Method*, o LESS (*Least Cost Estimating and Scheduling*), o CPS (*Critical Path Scheduling*) etc., consideram as durações das atividades como perfeitamente determinada. O grupo “PERT” (*Program Evaluation and Review Technique*) considera as durações das atividades como variáveis aleatórias, isto é, uma programação na incerteza; compreende, além do PERT, o PEP (*Program Evaluation Procedure*), o TOPS (*The Operating PERT System*) [...].

O Método do Caminho Crítico (CPM¹⁷¹), também chamado de Análise do Caminho Crítico (CPA¹⁷²), nasceu de um trabalho conjunto realizado no período de Dezembro de 1956 a Fevereiro de 1959 pela DuPont e Remington Rand Univac. O objetivo da equipe de pesquisa do CPM foi o de determinar como melhor reduzir o tempo necessário para realizar a reforma da planta, manutenção e trabalho de construção. Na essência, eles estavam interessados em otimizar o balanceamento entre o tempo (duração do projeto) e o custo total do projeto. O objetivo era solucionar o dilema do balanceamento entre prazo e custo através da determinação da duração de um projeto que minimize a soma dos custos diretos e indiretos em que, por exemplo, os

¹⁷¹ Critical Path Method, no original.

¹⁷² Critical Path Analysis, no original.

custos diretos incluem mão-de-obra e materiais, enquanto os custos indiretos incluem os itens usuais, tais como supervisão, assim como o “custo” do tempo perdido na produção devido à parada da planta (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983; BURKE, 1999).

Segundo Moder; Phillips e Davis (1983) as estimativas compreendendo estes tipos de projetos são caracteristicamente sujeitas a uma quantidade relativamente pequena de variação quando comparadas com as atividades do Programa Polaris. O PERT nasceu em um ambiente de incerteza quase absoluta, pois se tratava do desenvolvimento de sistemas e equipamentos nunca antes produzidos: o primeiro submarino movido a energia nuclear e o respectivo armamento de dissuasão estratégica o míssil Polaris. O CPM, ao contrario, em seu desenvolvimento, lidava com a programação de atividades sobre as quais havia significativa experiência prévia, o que permitia aos envolvidos fazer estimativas quanto aos prazos e recursos alocados com significativa precisão, mesmo considerando-se a natureza não repetitiva e singular de cada empreendimento.

Conseqüentemente, ao contrário do PERT, o CPM trata as durações das atividades em um modo determinístico, possuindo como sua principal característica, a habilidade de chegar a uma programação do projeto, que busca delimitar cenários nos quais se estabelece expectativa de minimização dos custos envolvidos. O CPM produz uma simulação de algo singular, no máximo ele lhe mostra, dentre um conjunto de alternativas, qual aquela com maior potencial de levar o empreendimento a uma situação de custo favorável, face às expectativas daquele *stakeholder* que tomou o risco do empreendimento.

O projeto escolhido para esta dissertação, projeto do turbogerador, é similar aos projetos desenvolvidos na época pela DuPont, pois a **Empresa A** já desenvolveu diversos projetos termoelétricos similares ao escolhido. Devido a esta experiência a **Empresa A** aceitou participar deste projeto assinando um contrato na modalidade EPC.

Os grupos pioneiros do PERT e do CPM não sabiam da existência de cada um, até meados de 1959, quando o desenvolvimento de cada trabalho já se encontrava bem avançado para influenciar o outro.

O trabalho de John Fondahl¹⁷³ (apud MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983, p.14), iniciado em 1958 é certamente notório. Ele desenvolveu uma abordagem do diagrama de nó para o problema básico do CPM. Também, durante esta época o “método dos potenciais” foi desenvolvido na França, baseado em uma lógica de diagramação de rede que colocava uma restrição no início de uma atividade, para retardar¹⁷⁴ o seu início por uma duração especificada após o início de sua atividade predecessora. Neste sentido, este procedimento foi o precursor para o desenvolvimento do “diagrama de precedência” que tomou lugar nos Estados Unidos nos anos 60.

Após a elaboração do diagrama de rede de um projeto, o próximo passo na técnica CPM é determinar as datas cedo que cada atividade pode iniciar e terminar. Para a determinação destas datas é realizado um cálculo para frente (progressivo). Esta análise determina a data mais cedo que o projeto pode ser concluído. Posteriormente é realizado um cálculo para trás (regressivo) para determinar as datas tarde que cada atividade pode terminar e iniciar sem atrasar a conclusão do projeto (RAGSDALE, 2001).

O PMI (2004, p. 145) define que:

O método do caminho crítico é uma técnica de análise de rede do cronograma que é realizada usando o modelo de cronograma. O método do caminho crítico calcula as datas teóricas de início e término mais cedo, e de início e término mais tarde, de todas as atividades do cronograma, sem considerar quaisquer limitações de recursos, realizando a análise do caminho de ida e uma análise do caminho de volta pelos caminhos do diagrama de rede do projeto. As datas resultantes de início e término, mais cedo e mais tarde, não são necessariamente as do cronograma do projeto, em vez disso, indicam períodos de tempo dentro dos quais as atividades podem ser programadas, conhecendo-se as durações das atividades, relacionamentos lógicos, antecipações, defasagem e outras restrições conhecidas.

As datas calculadas de início e término mais cedo, e de início e término

¹⁷³ Fondahl, J. W., “A Noncomputer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry”, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, Calif., 1st Edition, 1961, 2nd Edition, 1962.

¹⁷⁴ Lag, no original.

mais tarde, podem ou não ser as mesmas em qualquer caminho do diagrama de rede, pois a folga total que fornece a flexibilidade da programação pode ser positiva, negativa ou nula. Em qualquer caminho da rede, a flexibilidade do cronograma é medida pela diferença positiva entre as datas mais tarde e mais cedo, sendo chamada de “folga total”. Os caminhos críticos tanto podem ter folgas totais nulas ou negativas, e as atividades programadas nesses caminhos são chamadas de “atividades críticas [...]”.

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 4) salientam que:

[...] os métodos do caminho crítico envolvem tanto a imagem gráfica dos inter-relacionamentos entre os elementos de um projeto, como um procedimento aritmético que identifica a importância relativa de cada elemento na programação geral. Desde o seu desenvolvimento, os métodos do caminho crítico têm sido aplicados com sucesso notável nos programas de pesquisa e desenvolvimento, em todos os tipos de trabalho de construção, equipamentos, plantas de manutenção e instalação, introdução de novos produtos ou serviços, desenvolvimento dos principais sistemas relacionados com o transporte e energia, planejamento estratégico de longo prazo, desenvolvimentos dos sistemas de informações gerenciais, planejamento da produção, planejamento de emergência, e até mesmo a produção de figuras de movimento, condução de campanhas políticas e cirurgias complexas [...]¹⁷⁵.

Um dos produtos mais importantes do método do caminho crítico é a identificação de um ou mais caminhos críticos, pois, de fato, pode haver mais do que um caminho crítico ao longo do diagrama de rede.

Uma das metas primárias do CPM é determinar a duração do caminho crítico do projeto, isto é, a duração mais cedo na qual o projeto pode ser concluído, e determinar quais atividades pertencem a este caminho. O tempo exigido para completar o grupo de atividades que estão no caminho mais longo da rede é chamado de caminho crítico. Qualquer atraso nas datas de início ou término das atividades do caminho crítico (também chamadas de atividades críticas) atrasa a conclusão do projeto. (RAGSDALE, 2001).

Observar que as definições apresentadas acima, ao definirem o caminho crítico não

¹⁷⁵ Tradução própria.

consideram a possibilidade de existência de folga positiva, que ocorre quando a duração estimada para o projeto é uma data imposta ao projeto – a data programada para a conclusão de um projeto (T_s), portanto uma restrição do projeto é maior do que a duração total calculada no passo progressivo. Este assunto será apresentado, em detalhes, no item 2.2.7.2.3 – Identificação do Caminho Crítico, baseado na definição apresentada por Moder; Phillips e Davis (1983, p. 80). A conceituação sobre folgas será apresentada no item 2.2.7.2.2.

Salienta-se que é possível uma situação em que a data de conclusão do projeto, calculada através do passo de ida, é menor do que uma data imposta para o seu término, sendo, portanto tratada, como uma restrição. Nesta situação os cálculos do passo regressivo deverão ser iniciados através dessa data imposta para a conclusão do projeto (maior do que a data calculada) e o caminho crítico terá folga total positiva. Esta situação é possível de ser configurada em quase todos os softwares de gerenciamento de projeto (Primavera, MSPProject, Open plan, Prestige, etc.), embora eles adotem “como default”, o tempo total calculado através do passo progressivo, como data de término tarde da última atividade do diagrama de rede, para início do cálculo do passo regressivo, gerando portanto nesta nova situação um caminho crítico com folga zero.

A existência de uma folga negativa representa uma situação irreal, indicando que: ou o modelo construído através do diagrama de rede, não está representando a “realidade” do projeto, devendo portanto ser revisado, ou existem atividades superestimadas, que devem ser reestimadas.

Anderson; Sweeney; Williams (2003, p. 450) sugerem o seguinte procedimento para utilização do método do caminho crítico:

1º Passo: Desenvolver uma lista de atividades que compõem o escopo do projeto;

2º Passo: Determinar o(s) predecessor(es) imediato(s) para cada atividade do projeto;

3º Passo: Estimar a duração para executar cada atividade;

4º Passo: Desenhar um diagrama de rede do projeto representando as atividades e os predecessores imediatos listados nos passo 1 e 2;

5º Passo: Usar o diagrama de rede do projeto e a duração estimada da

atividade, para determinar o início e o término cedo de cada atividade, através de um passo de ida (progressivo) no diagrama de rede. O término cedo da última atividade do projeto identifica o tempo total requerido para a conclusão do projeto;

6º Passo: Usar o tempo total para completar o projeto identificado no passo 5, como o término tarde da última atividade do diagrama de rede e realizar o passo de volta (regressivo) através do diagrama de rede para identificar o início e o término tarde de cada atividade;

7º Passo: Usar a diferença entre início tarde e cedo para determinar a folga total de cada atividade;

8º Passo: Achar as atividades com folga zero, pois estas são as atividades críticas do projeto;

9º Passo: Usar as informações dos passos 5 e 6 para desenvolver a programação de atividades do projeto¹⁷⁶.

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 19) enumeram a seguintes vantagens que podem ser esperadas da utilização dos métodos do caminho crítico no planejamento e controle de projetos:

- ✓ **Planejamento:** Os métodos do caminho crítico requerem, em primeiro lugar, o estabelecimento dos objetivos e especificações do projeto, provendo uma base realista e disciplinada para determinar como alcançar esses objetivos, considerando as restrições pertinentes de prazo e de recursos. Ele reduz o risco de não se tomar ações nas tarefas necessárias para concluir um projeto, fornecendo uma forma realista para conduzir um planejamento de longo alcance e detalhado, incluindo sua coordenação em todos os níveis de gerenciamento;
- ✓ **Comunicação:** Os métodos do caminho crítico fornecem formas claras, concisas e não ambíguas de documentar e comunicar os planos do projeto, cronogramas e os desempenhos de tempo e custo;
- ✓ **Psicológico:** Os métodos do caminho crítico, se adequadamente desenvolvidos e aplicados, podem encorajar um sentimento de equipe. É também muito útil no estabelecimento de objetivos intermediários da programação, que são mais significativos ao pessoal de operação e a delineação das responsabilidades para alcançar esses objetivos

¹⁷⁶ Tradução própria.

programados;

- ✓ **Controle:** Os métodos do caminho crítico facilitam a aplicação do princípio do gerenciamento por exceção, por meio da identificação dos elementos mais críticos do plano, concentrando a atenção do gerenciamento em 10 a 20% das atividades do projeto que são mais restritivas à programação. Ele continuamente define novas programações ilustrando os efeitos das mudanças técnicas e de procedimentos na programação geral;
- ✓ **Treinamento:** Os métodos do caminho crítico são úteis no treinamento de novos gerentes de projeto e na doutrinação de outras pessoas que podem estar, temporariamente, ligadas ao projeto.¹⁷⁷

A programação também é a base para o progresso e a medição do desempenho, e, obviamente, com uma programação mal desenvolvida será impossível o estabelecimento de um efetivo controle do projeto. Infelizmente, más programações são bastante comuns, sendo que os efeitos decorrentes de más programações no desempenho do projeto são terrivelmente prejudiciais, provocando confusões e ineficiente atribuição de recursos. Normalmente a equipe do projeto procura por orientações para serem utilizadas na condução do projeto, ficando desencorajadas quando não podem confiar nos documentos de programação. Conseqüentemente, nessas situações surgem versões alternativas da programação, elaboradas por aqueles que não concordam ou não estão satisfeitos com a programação oficial, gerando mais confusão e deserção (LEVINE, 2002).

Burke (1999) salienta que a principal diferença entre o CPM e o PERT é como cada método atribui durações às atividades. O CPM usa uma abordagem determinística, que se enquadra a um projeto em que as durações do tempo podem ser previstas com precisão, como em um projeto de construção, enquanto o PERT, por outro lado, usa uma abordagem probabilística, que se enquadra a um projeto no qual as durações podem variar ao longo de um intervalo de possibilidades, como em um projeto de pesquisa. A estimativa de duração da atividade normalmente depende da disponibilidade de informações de projetos anteriores.

¹⁷⁷ Tradução própria.

2.2.7.2 Cálculo do CPM utilizando o diagrama de flechas

Uma vez que uma rede tenha sido desenhada, com durações designadas para todas as atividades, é necessário executar os cálculos para determinar o caminho mais longo do projeto. Se as datas de início e término já tiverem sido impostas para o projeto, esses cálculos vão dizer se as datas requisitadas podem ser alcançadas. Por outro lado, se uma data de início é determinada, a data de término cedo do projeto será calculada (LEWIS, 1995).

Segundo Lewis (1995), o cálculo mais simples que pode ser realizado para uma rede vai determinar a duração total do trabalho, através do caminho mais longo do projeto e vai revelar qualquer “liberdade” existente em caminhos paralelos ao caminho mais longo. O caminho mais longo é chamado de caminho crítico¹⁷⁸, uma vez que um atraso nesse caminho irá causar um correspondente atraso na data de conclusão do projeto. Esse cálculo vai determinar quantas semanas (ou dias ou horas, dependendo da unidade de tempo), o projeto levará para ser realizado se não existirem feriados, férias, etc.

Moder; Phillips e Davis (1983), salientam que, para os propósitos didáticos de cálculo do diagrama de rede, por conveniência, normalmente são usados os dias de trabalho decorridos¹⁷⁹; deve ser compreendido que outras unidades de tempo podem ser usadas sem mudanças nos procedimentos de cálculo. Além disso, será assumido que o projeto começa na data zero e possui somente um evento inicial e de término¹⁸⁰. Os cálculos básicos da programação somente irão considerar os procedimentos relativos a prazos, uma vez que as limitações de recursos não serão explicitamente consideradas, a menos que elas sejam construídas na lógica do diagrama de rede.

Noção similar é apresentada por Lewis (1995), ao salientar que a forma tradicional de calcular a duração do trabalho de um projeto ignora os recursos iniciais. Em

¹⁷⁸ Observar que Lewis (1995, p. 120) também define o caminho crítico como sendo o caminho mais longo. Conforme já foi comentado, esta não é a definição mais precisa do Caminho Crítico. Vide 2.2.7.2.3.

¹⁷⁹ Elapsed working days, no original.

¹⁸⁰ O grifo é nosso.

outras palavras, as atividades são tratadas como se tivessem durações fixas, baseado na premissa de que os recursos estarão disponíveis quando o trabalho for iniciar. Estas premissas serão discutidas posteriormente.

Gooldpasture (2004) explica que o cálculo do caminho crítico é a tarefa da programação mais quantitativamente intensa a ser feita, talvez mais complicada do que o “nivelamento de recursos” e o cálculo de pontos de junção¹⁸¹. Embora intensivos, os cálculos do caminho crítico não são difíceis de fazer, mas em uma base prática esses cálculos devem ser realizados pelas ferramentas de software de programação de rede. Os seguintes passos devem ser realizados:

- ✓ Para cada caminho da rede que esteja conectado através de toda a rede, será calculado o “passo progressivo¹⁸²” por meio do cálculo da duração do caminho usando as datas de início cedo;
- ✓ Para cada caminho da rede, deve ser trabalhado na direção oposta, usando as datas de término tarde, e calculado o “passo regressivo¹⁸³”;
- ✓ Um ou mais caminhos calculados desta forma podem ter durações iguais, nos passos progressivo e regressivo¹⁸⁴. Estes são os caminhos críticos. Todos os outros caminhos terão durações desiguais através dos passos progressivo e regressivo, portanto estes não são críticos;
- ✓ A desigualdade apresentada nos passos progressivo e regressivo em qualquer caminho é a folga¹⁸⁵ do caminho. De um modo geral, este caminho, ou qualquer tarefa deste caminho, pode ser atrasado de acordo com a desigualdade entre os cálculos progressivo e regressivo (a folga total), sem causar atraso no projeto.

Moder em Cleland e King (1988, p. 332) sugere a seguinte nomenclatura para o cálculo do diagrama de flechas:

¹⁸¹ Merge, no original.

¹⁸² Forward path, no original.

¹⁸³ Backward path, no original.

¹⁸⁴ Conforme será apresentado posteriormente, é possível a desigualdade entre as durações calculadas no passo progressivo e a do passo regressivo, gerando, portanto um caminho crítico com folga positiva ou negativa. Vide 2.2.7.2.3.

¹⁸⁵ Float or slack, no original.

- ✓ D_{ij} : estimativa da duração média da atividade $i - j$;
- ✓ E_i : data cedo de ocorrência do evento i ;
- ✓ L_i : data tarde de ocorrência do evento i ;
- ✓ ES_{ij} : data de início cedo da atividade $i - j$;
- ✓ EF_{ij} : data de término cedo da atividade $i - j$;
- ✓ LS_{ij} : data de início tarde da atividade $i - j$;
- ✓ LF_{ij} : data de término tarde da atividade $i - j$;
- ✓ FT_{ij} : folga total da atividade $i - j$;
- ✓ FL_{ij} : folga livre da atividade $i - j$;
- ✓ T_s : data programada para a conclusão de um projeto ou ocorrência de certos eventos principais em um projeto.

2.2.7.2.1 Cálculo das datas cedo e tarde

a) Cálculo progressivo, passo para frente ou passo de ida¹⁸⁶

Segundo Lewis (1995) o cálculo progressivo é realizado através da rede para calcular as datas cedo de cada atividade no diagrama de rede.

Para calcular as datas de início e término cedo de cada atividade do projeto, os cálculos progressivos (passo de ida) são iniciados por meio da atribuição de uma data arbitrária de início cedo para o evento inicial do projeto. Um valor igual a zero é normalmente usado para a data de início (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 74) destacam as seguintes regras para elaboração do cálculo progressivo, conforme representação adotada para o diagrama de flechas apresentado na Figura 2.75.

¹⁸⁶ Forward pass, no original.

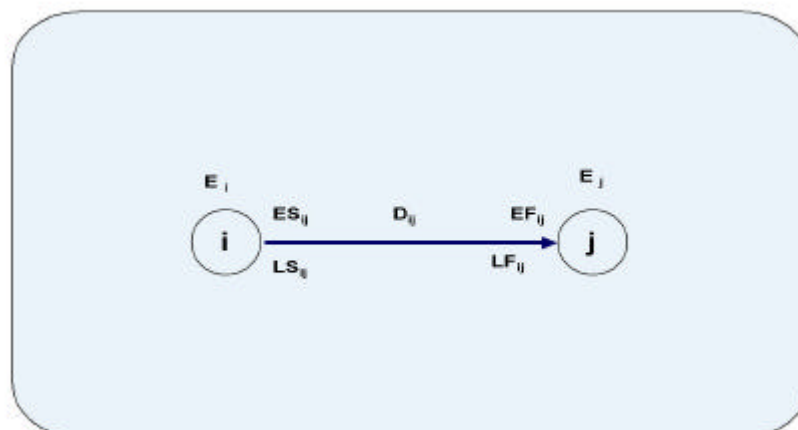


Figura 2.75 - Representação do diagrama de flechas.

Fonte - O autor.

- ✓ **Regra 1** O evento inicial do projeto é assumido para ocorrer na data zero. Deixando o evento inicial ser denotado por 1, isto pode ser escrito como:

$$E1 = 0$$

- ✓ **Regra 2** Todas as atividades são assumidas para iniciar o mais cedo possível, ou seja, conforme todas as suas atividades predecessoras são concluídas. Para uma atividade (i – j) arbitrária isto pode ser escrito como:

ES_j = máximo das EF_i das atividades que imediatamente precedem a atividade (i-j), isto é, todas as atividades que chegam no nó i

- ✓ **Regra 3** A data de término cedo de uma atividade é meramente a soma de sua data de início cedo e a duração estimada da atividade. Para uma atividade arbitrária (i – j) isto pode ser escrito por meio da Form.(2.2):

$$EF_j = ES_j + D_j$$

(2.2)

Segundo Lewis (1995, p. 121) para calcular as durações do trabalho do projeto,

existe somente duas regras que são universais, embora os softwares possam impor regras adicionais:

- ✓ **Regra 1:** Antes do início de uma atividade, todas as atividades predecessoras devem estar concluídas;
- ✓ **Regra 2:** As flechas denotam precedências lógicas, nem o tamanho nem seu ângulo possui qualquer significado (não é um vetor e sim um escalar).

Já para Ragsdale (2001, p. 668) os seguintes pontos principais devem ser observados na execução do cálculo progressivo:

- ✓ A data de início cedo da atividade inicial do projeto é igual a zero;
- ✓ A data de início cedo de uma atividade é igual à data mais tarde (máxima) de término cedo das atividades que a precedem;
- ✓ A data de término cedo de uma atividade é igual a sua data de início cedo mais o tempo necessário para executar a atividade¹⁸⁷.

Moder em Cleland e King (1988, p. 333) considera que:

os eventos foram numerados (ou renomeados) através de um simples algoritmo de tal forma que o evento inicial é 1, o evento de término é t, e todos os outros eventos (i - j) são numerados de tal forma que $i < j$. Como premissa é considerado $E_1 = 0$, portanto, conforme Form.(2.3):

$$E_j = \max_i (E_i + D_{ij}) \quad 2 \leq j \leq t \quad (2.3)$$

Considerando:

E_t = duração do projeto (esperada).

$L_t = E_t$ ou T_s , a data programada para conclusão do projeto.¹⁸⁸

¹⁸⁷ Tradução própria.

¹⁸⁸ Tradução própria.

Moder (1983) conclui esclarecendo os cálculos dos eventos e das atividades:

$$ES_j = E_i \text{ para todos } j \quad (2.4)$$

$$EF_j = E_i + D_{ij} \text{ para todos } j \quad (2.5)$$

As fórmulas acima, Form.(2.4) e (2.5), consideram que os cálculos do “passo de ida¹⁸⁹”, ou passo progressivo, são realizados para determinar a data mais cedo de ocorrência de cada evento j (E_j), e as datas de início e término cedo para cada atividade $i - j$ (ES_{ij} e EF_{ij}). Estes cálculos estão baseados na premissa de que cada atividade é realizada “o mais cedo possível”, isto é, elas são iniciadas assim que o evento predecessor ocorrer. Considerando que estes cálculos são iniciados igualando o evento inicial do projeto à data zero ($E_1 = 0$), a data cedo calculada para o evento final do projeto (E_t) fornece a duração esperada para o projeto.

Para facilitar estes cálculos manuais, todas as datas serão assumidas como datas de término. Portanto, as atividades iniciais do projeto, que são aquelas sem predecessores, que seguem o evento inicial do diagrama de rede, terão uma data de início cedo igual à zero, correspondendo à data do calendário programada para o início do projeto. Uma data de início zero significa o final do dia zero, que é o mesmo do início do dia um. Por outro lado, o computador fornece as datas convertidas para as datas do calendário, conforme será mostrado no item 2.2.7.4.2.

b) Cálculo regressivo ou passo de volta¹⁹⁰

Segundo Moder; Phillips e Davis (1983), o propósito do cálculo regressivo ou passo de volta é o de calcular as datas de início e término tarde permitidos para cada atividade. Estes cálculos são considerados como “imagem espelhada” dos cálculos progressivos. Em primeiro lugar, o termo “mais tarde permitido” é usado no sentido

¹⁸⁹ Forward pass calculations, no original.

¹⁹⁰ Backward pass, no original.

que o evento de término do projeto deve ocorrer na data, ou anteriormente a alguma data arbitrariamente programada, que será denotada por T_S . Portanto, os cálculos de volta ou passo regressivo são iniciados através da especificação de um valor para T_S . Se nenhuma data programada para a conclusão do projeto é especificada, então como convenção se estabelece a data mais tarde permitida para o evento de término igual à data cedo, determinada por meio do cálculo progressivo. Portanto, $L = E$ para o evento de término do projeto. Isto foi estabelecido no desenvolvimento inicial do CPM, e será conseqüentemente, por convenção, chamado de folga nula ou zero.

Um resultado do uso desta convenção é que a folga do caminho crítico é zero, enquanto a folga dos demais caminhos é positiva. Quando uma data programada é estabelecida para o evento terminal do projeto, a folga junto do caminho crítico pode ser positiva, nula, ou negativa, dependendo se T_S é maior, igual, ou menor, respectivamente, do que a data de ocorrência mais cedo para o evento de término. A convenção de folga nula possui uma propriedade adicional útil na qual a data de término tarde permitida para a atividade fornece o tempo para o qual a conclusão de uma atividade pode ser atrasada sem diretamente causar aumento no prazo total para completar o projeto (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Moder; Phillips e Davis (1983, p. 77) destacam as seguintes regras para elaboração dos cálculos regressivos:

- ✓ **Regra 1:** A data de término tarde permitida para o evento de término do projeto (t) é estabelecida igual a uma data arbitrária programada de conclusão do projeto, T_S , ou então igual a sua data cedo de ocorrência considerada no cálculo progressivo;

$$L_t = L_s \text{ ou } E_t$$

- ✓ **Regra 2** A data de término permitida para uma atividade arbitrária ($i - j$) é igual à menor, ou mais cedo, das datas de início tarde permitidas de suas atividades sucessoras;

LF_{ij} = mínimo dos LS's das atividades diretamente seguindo a atividade (i - j);

- ✓ **Regra 3** A data de início tarde permitida para uma atividade arbitrária (i - j) é igual a sua data de término tarde permitida menos a duração estimada da atividade, conforme Form.(2.6).

$$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij} \quad (2.6)$$

Moder em Cleland e King (1988, p. 333), conforme Form.(2.7) abaixo, considera que:

L_t = E_t ou T_s, a data programada para conclusão do projeto.
então,
 $LI = \min (L_j - D_{ij}) \quad 1 \leq i \leq t-1$

(2.7)

Ainda segundo Moder (1983):

$$\begin{aligned} LF_{ij} &= L_j \text{ para todos } ij \\ LS_{ij} &= L_j - D_{ij} \text{ para todos } ij \end{aligned} \quad (2.8)$$

Os cálculos, denominados de “cálculos regressivos¹⁹¹” ou passo de volta, são realizados para determinar as datas mais tarde de ocorrência (permitidas) para cada evento i (L_i), e as datas tardes, de início e término (permitidas) para cada atividade i - j (LS_{ij} e LF_{ij}). Estes cálculos são iniciados por meio do evento de término do projeto, igualando a data mais tarde de ocorrência (permitida), à duração programada para o projeto, se uma data é especificada, então, (L_t = T_s), ou, caso nenhuma duração seja especificada, iguala-se arbitrariamente ao E_t (L_t = E_t). Isto, por convenção é chamado de

¹⁹¹ Backward pass calculations, no original.

“folga total zero¹⁹²”. Estes cálculos então prosseguem trabalhando para trás no diagrama de rede, sempre assumido que cada atividade é realizada considerando a restrição “o mais tarde possível”¹⁹³.

A data tarde de cada evento é calculada por meio de um cálculo regressivo (passo de volta) através da rede. Considerando que L_i denota a data tarde do evento i . Se n é o evento término, os cálculos são geralmente iniciados fixando $T_s = t_n$ e trabalhando para trás na direção do evento de início usando a Form.(2.7).

Porém, se é estabelecida uma data de término do projeto, posterior à data de término cedo do evento n , é possível atribuir esta data como a data tarde do evento de término. Se a data exigida for mais cedo que a data cedo do evento de fim, não existe uma programação viável.

Da exposição anterior percebe-se que para cada atividade crítica existirá uma programação na qual as datas de início cedo e tarde serão coincidentes.

Da mesma forma, para as atividades não críticas as datas de início (ou término) cedo e tarde de uma atividade não serão coincidentes.

O prazo obtido pela diferença de datas cedo e tarde caracteriza uma folga na programação destas atividades cuja conceituação é apresentada adiante.

Programações baseadas nas datas de início cedo são conhecidas como programações ASAP (*as soon as possible*) e aquelas baseadas nas datas tardes são identificadas como ALAP (*as late as possible*).

2.2.7.2.2 Definição e cálculo das folgas

Burke (1999), Anderson; Sweeney; Williams (2003) definem que a folga total¹⁹⁴ é uma medida da flexibilidade de uma atividade, ou tempo excedente inerente na programação da atividade, quantificando quantos dias de trabalho a atividade pode ser atrasada ou estendida, sem que ela afete a data de conclusão do projeto ou

¹⁹² Zero total float or zero slack, no original.

¹⁹³ Tradução própria.

¹⁹⁴ Total float, float or slack, no original

quaisquer datas-alvo de término¹⁹⁵.

Inicialmente, durante o planejamento, a folga pode ser usada como um pulmão, para manipular a programação, de forma a ser compatível com a disponibilidade de recursos. Depois, durante o monitoramento e controle, a folga indica quando uma tarefa particular pode estar em perigo. Se uma tarefa não possui nenhuma folga, ela pertence ao caminho crítico¹⁹⁶. Se uma tarefa não cumpriu as datas, usando toda a sua folga, ela está atrasada, tornando necessário encontrar uma forma de recuperação daquele tempo no caminho crítico. Se a tarefa que tem folga está atrasada, ela deve ser monitorada cuidadosamente. Se a tarefa usou toda a sua folga e se estendeu, deve ser reconhecido que ela se tornou uma tarefa crítica, ocorrendo uma mudança no caminho crítico, que afetará a conclusão do projeto. Não somente o responsável pela tarefa deve assegurar que ela será completada o mais rápido possível, mas também os responsáveis pelas atividades sucessoras, dependentes da tarefa atrasada devem ser mantidos informados (KNUTSON; BITZ, 1991).

A identificação da folga pode funcionar como um sistema de aviso para os gerentes de projetos. Como um exemplo, se a folga total disponível começa a diminuir de um período de reportagem para o outro, isto pode sinalizar que o trabalho está se tornando maior do que estimado anteriormente ou que uma mão-de-obra altamente qualificada é necessária. Como consequência, a redução da folga total pode indicar que um novo caminho crítico pode estar se formando (KERZNER, 2006).

A informação sobre a folga é importante ao gerente de projetos, pois ele pode ter que ajustar orçamentos e distribuições de recursos, para ficar de acordo com a programação. Saber a quantidade de folga de uma atividade é essencial, pois a atividade pode ser atrasada, sem atrasar a conclusão do projeto. Em um ambiente de multiprojetos, a folga de um projeto pode ser usada temporariamente, para liberar os recursos necessários para outros projetos, que estão atrasados ou excessivamente restringidos (SHTUB; BARD; GLOBERSON, 1994).

Existem diversas categorias de folgas, fruto da inter relação de uma dada atividade

¹⁹⁵ Target finish date, no original.

¹⁹⁶ Esta definição se refere a uma situação particular, onde $T_s = L_t = E_t$, para o evento de término do projeto. Uma definição mais precisa da atividade crítica será apresentada no item 2.2.7.2.3.

com as demais (predecessoras e sucessoras).

De acordo com Moder; Phillips e Davis (1983) entre os diversos tipos de folgas definidas na literatura, duas são as mais importantes: a folga total, ou simplesmente folga do caminho, e a folga livre¹⁹⁷ da atividade, ou simplesmente folga da atividade.

a) Folga do caminho ou folga total¹⁹⁸

A folga do caminho (FT), como o nome implica, é a folga total associada com um caminho. Para uma atividade particular de um caminho, digamos $i - j$, ela é igual à diferença entre as datas cedo e tarde de início e término. Portanto, para a atividade ($i - j$), a folga do caminho é dada conforme a Form.(2.10):

$$FT_{ij} = LS_j - ES_j \text{ ou } FT_{ij} = LF_j - EF_j \quad (2.10)$$

Assumindo que a convenção de folga zero seja seguida, portanto, $L_t = E_t$ para o evento de término do projeto. Assim a folga do caminho, indica a quantidade de tempo (número de dias de trabalho), que a data real de conclusão de uma atividade pertencente ao caminho em questão, pode exceder sua data de término cedo, sem afetar o início cedo de qualquer atividade ou evento pertencente ao caminho crítico da rede, que é equivalente a não causar qualquer atraso na conclusão do projeto (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

A folga total (Figura 2.76) é compartilhada com todas as outras atividades da ramificação. Se a folga é usada por uma atividade, isso irá reduzir a folga disponível para as demais atividades pertencente a mesma ramificação. Precisa ser tomado cuidado para que não seja assumido, pela equipe do projeto, que cada atividade possui esta quantidade de folga para si mesma.

¹⁹⁷ Free float or activity float, no original.

¹⁹⁸ Total float, slack or path float, no original.

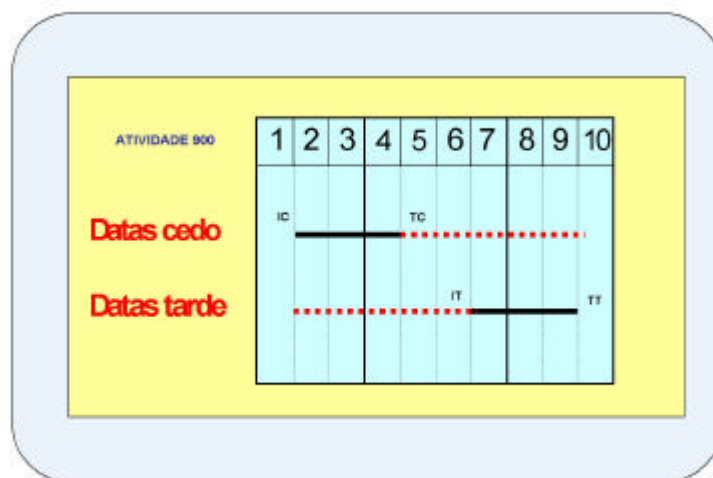


Figura 2.76 - Folga total.

Fonte - Autor.

Fadigas (1970, p. 19) salienta que “a folga total corresponde à folga de um caminho, é uma folga em condomínio, pois se utilizarmos toda a folga total na programação de uma atividade todas as atividades que constituem o restante daquele caminho terão de ser programadas na última época, isto é, não terão mais folga”.

O uso mais importante de folga do evento é identificar o caminho crítico. O caminho crítico é o caminho mais longo do diagrama de rede. Assim, seu comprimento determina o tempo mínimo requerido para conclusão do projeto. Eventos críticos são os eventos do caminho crítico, e para identificá-los, é necessário determinar os eventos com as menores folgas¹⁹⁹ (CLELAND; KING, 1983).

Ragsdale (2001), alerta que é necessário cuidado na interpretação da quantidade de folga disponível para uma dada atividade. Para ser preciso, a folga representa a quantidade de tempo, no qual o início de uma atividade pode ser atrasado, sem atrasar o projeto inteiro, assumindo que todas as atividades predecessoras iniciam nas suas datas de início cedo. Se qualquer atividade de um caminho não crítico atrasa, a folga disponível ao longo do resto do caminho não crítico é reduzida. Por esta razão, é mais seguro focar nas datas de início tarde de cada atividade (no lugar da folga) porque se todas as atividades começarem em até as suas datas de início tarde, o projeto não será atrasado.

¹⁹⁹ O grifo é nosso. Observar que Cleland & King definem corretamente o evento (ou atividade) crítico, considerando-o como os eventos (atividades) com as menores folgas.

b) Folga da atividade ou folga livre²⁰⁰

Moder; Phillips e Davis (1983) explicitam que as últimas atividades localizadas nos pontos de junção de diversos caminhos, em um caminho com folga total, possuem o que é chamado de folga da atividade, algumas vezes chamado de folga livre. O nome é devido ao fato de que a atividade específica é livre para usar esta folga, sem afetar quaisquer outras datas do diagrama de rede. A folga da atividade é igual à data tempo de início cedo da atividade sucessora, menos a data de término cedo da atividade em questão. Portanto, para a atividade (i – j), a folga da atividade é dada conforme Form.(2.11), onde j – k denota um sucessor para a atividade em questão.

$$FL_i = ES_{j_k} - EF_i \text{ ou } FL_i = E_j - EF_i$$

(2.11)

A folga da atividade ou folga livre é igual à quantidade de tempo, que a data de conclusão da atividade pode ser atrasada, sem afetar o início cedo ou a data de ocorrência de qualquer outra atividade ou evento, no diagrama de rede. A folga livre é “própria” de uma atividade individual, enquanto que a folga do caminho ou folga total é compartilhada por todas as atividades pertencentes a um caminho com folga (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Outra definição apresentada para a folga livre salienta que ela é a quantidade de folga que a atividade pode utilizar, sem afetar o início cedo de qualquer outra atividade sucessora (Figura 2.77).

²⁰⁰ Activity float or free float, no original.

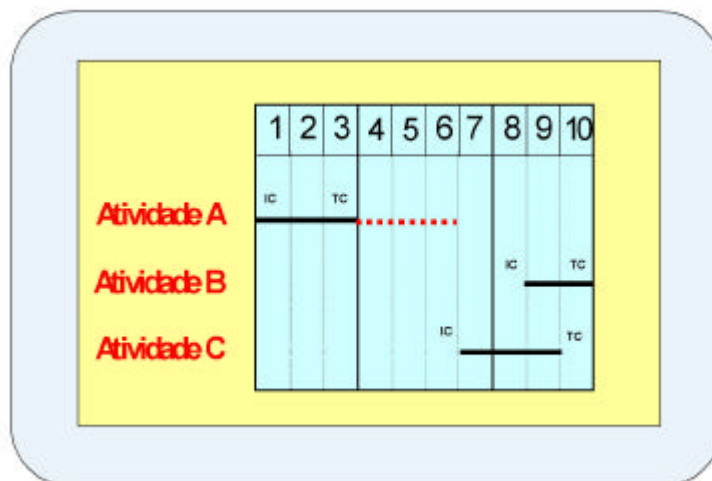


Figura 2.77 - Folga livre.

Fonte - Autor.

Shtub; Bard e Globerson (1994) definem a folga livre, assumindo que todas as atividades comecem o mais cedo possível. Neste caso, a folga livre, FS_{ij} , para atividade (i,j) é a diferença entre a data cedo do seu evento de término j e a soma da data cedo de seu evento de início i , mais sua duração, conforme Form.(2.12):

$$FS_{ij} = t_j - (t_i + L_{ij})$$

(2.12)

As atividades com uma folga total igual a zero são críticas, assim qualquer atraso nestas atividades causará um atraso na conclusão do projeto. A folga total ou é igual ou é maior que a folga livre, uma vez que a folga total de uma atividade é composta da folga livre, mais a folga compartilhada com outras atividades (SHTUB; BARD; GLOBERSON, 1994).

d) Folga negativa

Ocorre quando os cálculos mostram que uma atividade deve começar, antes que as atividades precedentes estejam concluídas. Esta é uma situação não trabalhável,

que ocorre quando uma atividade está atrasada em relação ao progresso planejado, permanecendo fixa a data de término. O valor da folga negativa indica quanto a duração da atividade ou lógica deve ser encurtada.

Kerzner (2006, p. 485) salienta que:

Uma folga negativa ocorre quando o cálculo do passo de ida ultrapassa a data final estabelecida pelo cliente. Observar que o cálculo das datas tardes, obtidas através do passo de volta, é iniciado a partir da data de término, estabelecida pelo cliente, provocando uma folga negativa, que provavelmente resulta de:

- ✓ O plano original foi altamente otimista, mas irrealista;
- ✓ A data de término definida pelo cliente não é realística;
- ✓ Uma ou mais atividades sofreram atraso durante a execução do projeto;
- ✓ Os recursos designados não possuem a habilidade necessária;
- ✓ Os recursos requisitados podem não estar disponíveis até uma data mais tarde.

Em qualquer evento, uma folga negativa é um sinal de alerta, que uma ação corretiva é necessária para manter a data final estabelecida pelo cliente.

c) Outros tipos de folgas

Na literatura são apresentados outros tipos de folgas, como as de interferência, independente e dependente, mas, por praticamente não serem usadas, e até mesmo calculadas pelos softwares mais tradicionais, não serão tratadas nesta dissertação.

2.2.7.2.3 Identificação do caminho crítico

Conforme já foi mencionado, após a definição do modelo, por meio da definição das atividades, estimativa de durações, seqüenciamento e restrições de datas, é realizado o cálculo progressivo (passo de ida) para determinar as datas cedo, de início e término, de todas as atividades. Após a determinação da data mais cedo de

conclusão do projeto, é realizado o cálculo regressivo (passo de volta) a partir da data final (calculada por meio do passo progressivo ou imposta através de uma restrição²⁰¹), para calcular as datas tarde, de início e de término, de todas as atividades (LEVINE, 2002).

A diferença entre datas cedo e tarde é chamada de folga total. O caminho do diagrama de rede que possui o menor valor de folga total é chamado de caminho crítico²⁰². Se não foi imposta uma data final de término ao projeto, o caminho crítico deve possuir uma folga total igual à zero. Se for imposta uma data de final de término, menor que a calculada no passo progressivo, surgirão atividades com folgas negativas, conseqüentemente as atividades com maiores folgas negativas constituirão o caminho crítico (LEVINE, 2002).

Um **caminho** é uma seqüência de nós conectados que conduzem do nó inicial ao nó final. Todos os caminhos devem cruzar o diagrama de rede para completar o projeto, possibilitando a visualização do caminho que requer mais tempo. Em função dos demais caminhos possuírem menores durações, este caminho mais longo determinará a duração total requerida para completar o projeto, conseqüentemente, se as atividades que constituem esse caminho mais longo são atrasadas, o projeto inteiro vai ser atrasado (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2003).

De acordo com Moder, et al, (pág 80) se for imposta a condição de que as datas de termino cedo e tarde do empreendimento sejam iguais (programação balanceada) então o caminho critico terá folga nula. Caso haja alguma imposição de data (ou evento) que force a uma situação de dissociação entre a data obtida na programação e a desejada, podemos obter, nestas circunstancias folgas (positivas ou negativas) ao longo do caminho critico. Em qualquer caso o caminho critico será o caminho mais longo (em termos de duração) ao longo da rede, desde que a rede tenha nós de início e término singulares.

Moder em Cleland e King (1988) alerta que quando é permitida a utilização de datas programadas (datas impostas ou restrições) em eventos intermediários do diagrama de rede, o caminho crítico não será sempre o caminho mais longo através da rede, entretanto, a definição acima apresentada é sempre válida. O autor aconselha que,

²⁰¹ O grifo é nosso.

²⁰² O grifo é nosso.

por esta razão, deve-se verificar qual é o caminho mais longo, antes da introdução das datas impostas em eventos intermediários.

No entender de Fadigas (1970) e Burke (1999) o caminho crítico é definido como a série de atividades que possuem folga zero. O caminho crítico sempre passa por meio do projeto da primeira atividade, até a última atividade. Assim que o projeto se aproxima da conclusão, diversos ramos, ou caminhos, podem se tornar críticos, possibilitando a existência de mais de um caminho crítico. Fadigas (1970) complementa informando que em todo projeto existe, pelo menos, um caminho, mas podem existir vários caminhos críticos.

Ao se planejar, programar ou controlar um projeto, a idéia central envolvida na utilização dos diagramas de rede é o princípio de gerenciamento por exceção²⁰³. De forma simples, isto significa que é a exceção que exige a maior atenção da alta administração. No caso de um projeto, as exceções são as atividades do caminho crítico, por que são elas que determinam a conclusão do projeto (CLELAND; KING, 1983).

A aplicação do princípio de gerenciamento por exceção em tais projetos, normalmente toma a forma de alocação e re-alocação de recursos de atividades não críticas, para atividades críticas. Isto pode ser realizado ou na fase de planejamento ou durante o controle do projeto, por exemplo, essa realocação pode ser feita de tal forma que se queira antecipar a data de conclusão do projeto, ou porque o projeto está atrasado. Presumivelmente, tais remanejamentos permitirão a realização mais rápida das atividades críticas e, conseqüentemente, a conclusão mais rápida do próprio projeto.

O caminho crítico é uma serie de atividades que precisam ser gerenciadas, de tal forma que sejam concluídas no prazo, caso contrário o projeto atrasará (a não ser que o tempo perdido em uma atividade possa ser recuperado, posteriormente, em outra). É muito arriscado permitir atraso nas atividades do caminho crítico, usando a premissa que este atraso será recuperado mais tarde. Observar que nestas situações, a Lei de Murphy invariavelmente prevalece. Portanto, a melhor regra de trabalho é fazer o que for necessário para se manter de acordo com a programação (LEWIS, 1995).

²⁰³ Grifo do autor.

Knutson e Bitz (1991), Lewis (1995), Goldratt (1998), Anderson, Sweeney, Williams (2003) e Kerzner (2006) consideram, em suas definições, que o caminho crítico é o caminho mais longo, por outro lado Moder, Phillips, Davis (1983), Shtub, Bard, Globerson, (1994), Burke (1999), Schuyler (2001) consideram que o caminho crítico é o caminho de menor folga. Para efeito desta dissertação, esta será a definição considerada.

2.2.7.2.4 Cálculo do diagrama considerando múltiplos eventos de início e/ou término

Segundo Moder em Cleland e King (1988), normalmente ocorre, na maioria dos projetos, uma quantidade de eventos principais, também chamados de marcos, significando o início ou término de uma atividade ou grupo de atividades. Estes marcos podem ser necessários para o estabelecimento das datas arbitrariamente programadas (normalmente impostas), e, portanto, eles podem se sobrepor aos cálculos progressivos e regressivos (passos de “ida e volta”). Segundo Moder em Cleland; King (1988, p. 338) estas restrições de programação podem ser de três tipos diferentes:

- ✓ **NET**: não mais cedo que uma data especificada;
- ✓ **NLT**: não mais tarde que uma data especificada (este é o tipo usual de programação);
- ✓ **ON**: exatamente na data especificada.²⁰⁴

Uma data “NET - não mais cedo que uma data especificada”, também conhecida como restrição cedo²⁰⁵, afeta o cálculo das datas cedo, de início e término, sendo conseqüentemente, considerada no cálculo de ida. De maneira similar, uma data “NLT - não mais tarde que”, também conhecida como restrição tarde²⁰⁶, afeta o cálculo das datas tarde, de início e término, sendo considerada no cálculo de volta. Já a restrição “ON – exatamente na data especificada”, afeta tanto das datas cedo

²⁰⁴ Tradução própria.

²⁰⁵ Early constraint, no original.

²⁰⁶ Late constraint, no original.

como as tardes, sendo conseqüentemente usada tanto nos cálculos progressivos como nos regressivos, se tornando as datas cedo e tarde para a atividade considerada (MODER em CLELAND; KING, 1988).

Levine (2002) menciona que as restrições de datas afetam os cálculos da programação. Das diversas opções para impor ou restringir datas, as mais populares são: Não Iniciar Mais Cedo Que (SNET²⁰⁷) ou Não Terminar Mais Tarde Que (FNLT²⁰⁸). As restrições SNET são usadas para impor uma data de início da atividade que pode ser igual ou posterior ao início mais cedo calculado no diagrama. Ela pode sobrepor os cálculos do passo progressivo. A restrição Não Terminar Mais Tarde Que (FNLT) atua de maneira oposta à restrição SNET, sendo usada para impor uma data de término, que pode ser igual ou menor, que o término tarde calculado no passo regressivo. A data FNLT, quando imposta, afeta o cálculo das datas tarde. A data FNLT não tem nenhum efeito nas datas cedo que são calculadas através do passo progressivo.

O'Brien e Plotnick (2006) explicam que a possibilidade de se adicionar restrições "artificiais" (não baseadas explicitamente na lógica declarada), é de grande valia para os usuários dos softwares que utilizam o CPM. Estas restrições podem ser divididas em duas classes, aquelas que podem ser tratadas pelo modelo original do CPM, por meio da adição de restrições de lógica interna, e aquelas que podem exigir uma sobreposição de preceitos básicos do CPM, como, por exemplo, que cada atividade precisa ser concluída antes do início de sua sucessora.

Restrições pertencentes à primeira classe:

- ✓ Não iniciar mais cedo que²⁰⁹;
- ✓ Não terminar mais tarde que²¹⁰;

Restrições pertencentes à segunda classe:

- ✓ Não iniciar mais tarde que²¹¹;

²⁰⁷ Start no earlier than, no original.

²⁰⁸ Finish no later than.

²⁰⁹ Start-not-earlier-than (SNET), no original.

²¹⁰ Finish-not-later-than (FNLT), no original.

²¹¹ Start-not later-than (SNLT), no original.

- ✓ Não terminar mais cedo que²¹²;
- ✓ Início mandatório²¹³;
- ✓ Término mandatório²¹⁴.

Uma outra situação alertada por Moder em Cleland; King (1988), é quando se tem, no diagrama de rede, mais de um evento de início e/ou de término. Nesta situação o diagrama não estará “fechado”, e, uma vez que o algoritmo utilizado requer um único evento de início e de término, torna-se necessário, a criação de atividades-fantasma, para conectar estes eventos “soltos” a um único evento de início e de término. Nesta situação, normalmente, é necessário o estabelecimento de data imposta, para o início cedo do evento com o início “solto”, conectado pela atividade-fantasma, e de uma data imposta para o término tarde do evento com término “solto”, conectado pela atividade-fantasma.

Segundo O’Brien; Plotnick (2006), o modelo original do CPM, baseado na abordagem matemática de matriz e nas limitações da memória dos computadores da década de 50, exigia que todos os diagramas de rede possuíssem somente uma atividade ou evento, de início e de término. Diversos softwares de gerenciamento de projeto ainda possuem estas características, embora seja uma boa prática não permitir a utilização de atividades soltas, também conhecidas como atividades-pêndulo. Entretanto, em muitas situações existem legítimas razões para se terem múltiplos inícios e terminos, como por exemplo, quando dois ou mais projetos, com diferentes datas de início, são combinados em um diagrama de rede, a fim de levar em consideração os inter-relacionamentos existentes entre esses dois projetos. Um outro problema, ainda maior, aparece quando existem dois ou mais produtos finais no diagrama de rede, e conseqüentemente um ou mais caminhos críticos para cada produto final (O’BRIEN; PLOTNICK, 2006).

²¹² Finish-not-earlier-than (FNET), no original.

²¹³ Mandatory-start-on, no original.

²¹⁴ Mandatory-finish-on, no original.

2.2.7.3 Calculo do CPM utilizando o diagrama de eventos ou atividades nos nós

O sistema de atividades nos nós é o oposto²¹⁵ do sistema de atividades nas flechas, e os nós representam as atividades e as flechas se tornam os conectores para representar os relacionamentos de precedência. Entretanto nenhum destes esquemas de diagramação é bem sucedido no tratamento do problema do aumento da quantidade de atividades, quando dois ou mais trabalhos são realizados em paralelo, com uma determinada quantidade de tempo de defasagem. Uma vez que esta situação ocorre muito freqüentemente, particularmente nos projetos de construção, foi desenvolvido um esquema de diagramação denominado diagrama de precedência (MODER em CLELAND; KING,1988).

2.2.7.4 Calculo do CPM utilizando o diagrama de precedências

Moder; Phillips e Davis (1983) alertam que os cálculos e interpretação das datas de início e término, cedo e tarde, através deste diagrama são consideravelmente mais complexos do que aqueles mostrados acima, para os diagramas de flechas e nós, que somente consideram a relação lógica básica de término – início.

Os procedimentos de cálculo apresentados a seguir estão baseados em uma variação dos diagramas de flechas / nós, utilizados no CPM e no PERT, que utilizam somente um único relacionamento de término – início, passando a considerar outros três tipos de inter-relacionamentos (Figura 2.78), conforme já apresentado no item 2.2.4.7.

²¹⁵ Reversal, no original.

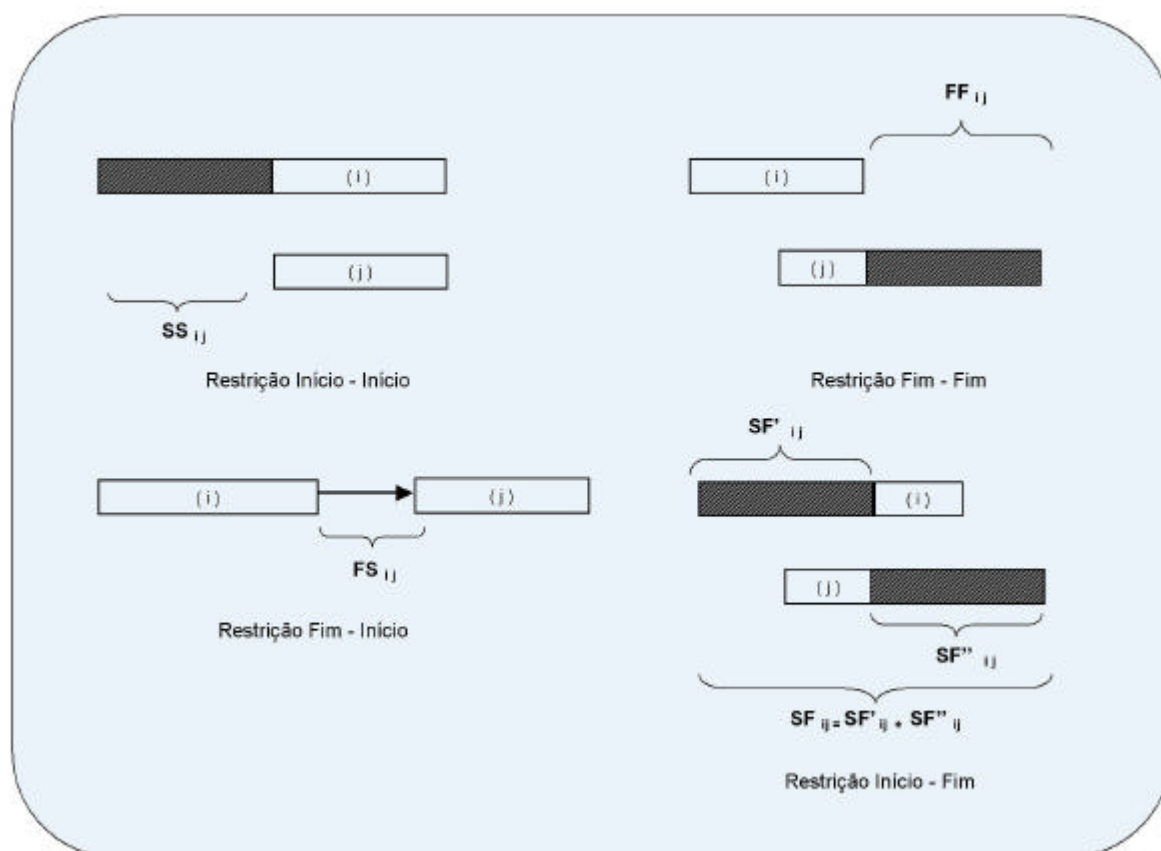


Figura 2.78 - Tipos de restrições utilizadas nos diagramas de precedência.

Fonte – Moder; Phillips e Davis (1983, p. 95).

A abordagem básica de cálculo usada no diagrama de precedência adota um procedimento que determina as datas de início e término, cedo e tarde das atividades, de forma que elas serão idênticas àquelas que seriam obtidas para o diagrama de flechas equivalente.

O diagrama de precedência é um método de diagrama de rede de atividade no nó (AON), que permite a modelagem de antecipações e defasagens. Por causa do aumento de flexibilidade decorrente das antecipações e defasagens necessárias, deve ser conhecido se cada atividade pode ser dividida²¹⁶ ou não. A divisão permite um atendimento mais fácil às restrições de antecipações e defasagens. Se a divisão não é permitida, o projeto pode ser significativamente atrasado (MEREDITH; MANTEL, 2000).

²¹⁶ Split, no original.

2.2.7.4.1 Características do caminho crítico

Wiest²¹⁷ (apud Moder; Phillips e Davis, 1983, p. 99) identifica classes de atividades críticas e sugere que se identifiquem, através dos cálculos do diagrama de precedências, as diversas formas nas quais as atividades podem ser críticas, sugerindo a seguinte nomenclatura:

- ✓ **NC**: denota uma atividade que é **Crítica Normal**, a duração do projeto muda na mesma direção da variação da duração de uma atividade crítica;
- ✓ **RC**: denota uma atividade que é **Crítica Reversa**, a duração do projeto muda na direção inversa da variação da duração de uma atividade RC;
- ✓ **BC**: denota uma atividade que é **Bi-crítica**, a duração do projeto aumenta como resultado de qualquer variação da duração de uma atividade BC;
- ✓ **SC**: denota uma atividade que é **Crítica Inicial**, a duração do projeto muda na direção da variação na data de início de uma atividade SC, mas é neutra (não é afetada) através de uma variação na duração total da atividade;
- ✓ **FC**: denota uma atividade que é **Crítica Final**, a duração do projeto muda na direção da variação na data de término da atividade FC, mas é neutra (não é afetada) através de uma variação na duração total da atividade;
- ✓ **MNC**: denota uma atividade cuja porção intermediária é Crítica Normal;
- ✓ **MRC**: denota uma atividade cuja porção intermediária é Crítica Reversa;
- ✓ **MBC**: denota uma atividade cuja porção intermediária é Bi-Crítica.

De forma similar, Meredith e Mantel (2000) salientam que algumas anomalias tendem a ocorrer no diagrama da precedência que não são encontradas nos

²¹⁷ Weist, Jerry D., "Precedence Diagramming Methods: Some Unusual Characteristics and Their Implications for Project Managers," Journal of Operations Management, Vol. 1, Nº 3, February 1981, pp. 121-130.

diagramas de flechas e de eventos. Por exemplo, por causa dos requisitos de antecipações e defasagens, as atividades podem parecer ter folgas quando elas realmente não as possuem; isto é uma limitação intrínseca desta notação. Também, o caminho crítico da rede acontecerá, freqüentemente, de forma regressiva através de uma atividade, resultando que o aumento de duração da atividade pode, na verdade, reduzir a data de conclusão do projeto. Tal atividade é denominada **crítica reversa**. Isto ocorre quando o caminho crítico passa pelo término de uma atividade, através de uma restrição de término, continua recuando através da atividade, e a deixa através de uma restrição de início. Na Figura 2.79 é apresentado um diagrama de rede, considerando que a divisão²¹⁸ de uma atividade não é permitida. Este diagrama apresenta três atividade **A**, **B** e **C** cujas durações são 10, 5 e 8 dias, respectivamente. Calculando-se este diagrama obtem-se que o caminho crítico possui uma duração de 22 dias, sendo composto pelas atividades **A**, **B** e **C**. Aumentando a duração da atividade **B** de 5 para 8 dias (Figura 2.80), verifica-se que a duração total do caminho crítico foi reduzida de 22 dias para 19 dias. Portanto ao se aumentar a duração de uma atividade crítica, obteve-se uma redução na duração do caminho crítico, evidenciando que a atividade **B** é uma atividade crítica reversa.

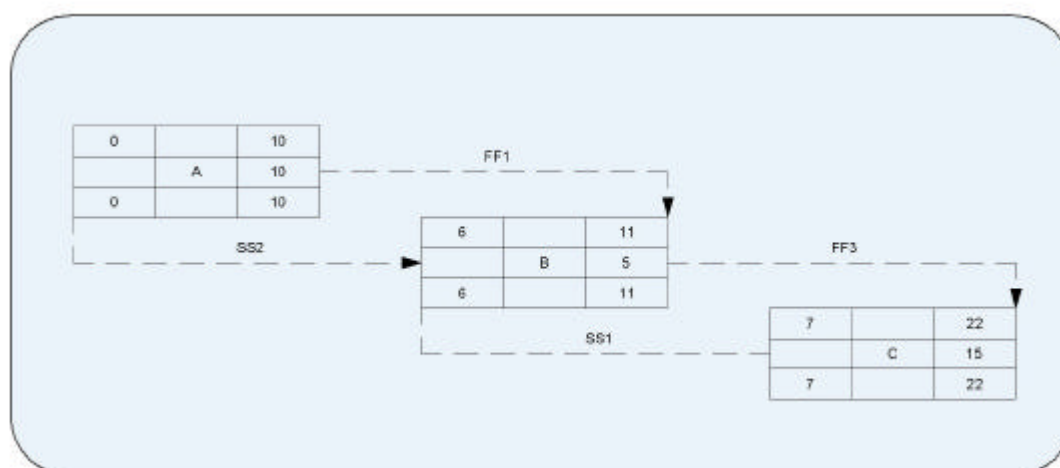


Figura 2.79 – Diagrama de rede sem permissão de quebra..

Fonte - Moder; Phillips e Davis (1983, p. 97).

²¹⁸ No splitting allowed, no original.

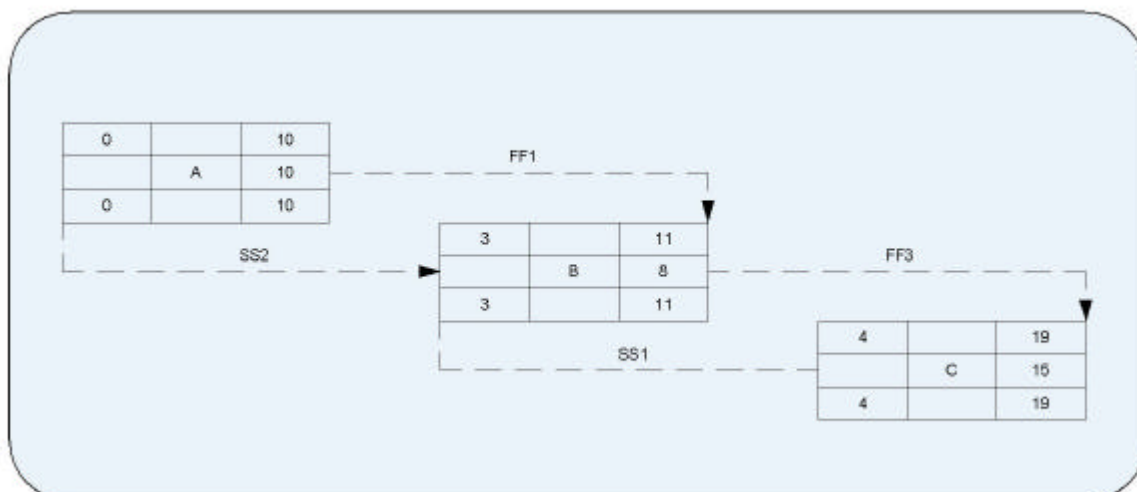


Figura 2.80 – Exemplo de atividade crítica reversa.

Fonte – Adaptado de Moder; Phillips e Davis (1983, p. 97).

2.2.7.4.2 Convenção usada pelos computadores

Conforme foi apresentado no item 2.2.7.2.1 – Cálculo das datas cedo, ao se realizar o cálculo progressivo, uma das regras estabelecidas é que o evento inicial do projeto é assumido ocorrer na data zero, significando que a data final do dia zero é a mesma do início do dia um (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Como data de início da atividade, considera-se o início do dia (ou qualquer outra unidade de período) correspondendo à data fornecida para início da atividade, enquanto como data de término, considera-se o final do dia (ou qualquer outra unidade de período) correspondendo à data fornecida de término da atividade (Figura 2.81). Lembrando que, para a simplificação dos cálculos manuais, todas as datas devem ser consideradas como datas de fim do período. Conseqüentemente, para uma atividade com data de início t , significa que o final do dia de trabalho t , que é igual ao início do dia de trabalho $t + 1$ (MODER em CLELAND; KING, 1988).

Segundo Burke (1993), as folgas são calculadas através das fórmulas – Form.(2.13) e (2.14):

$$\text{Folga total: } TF_{ij} = LF_{ij} - Ef_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} \quad (2.13)$$

$$\text{Folga livre: } FL_{ij} = ES_{jk} - EF_{ij} - 1 \quad (2.14)$$

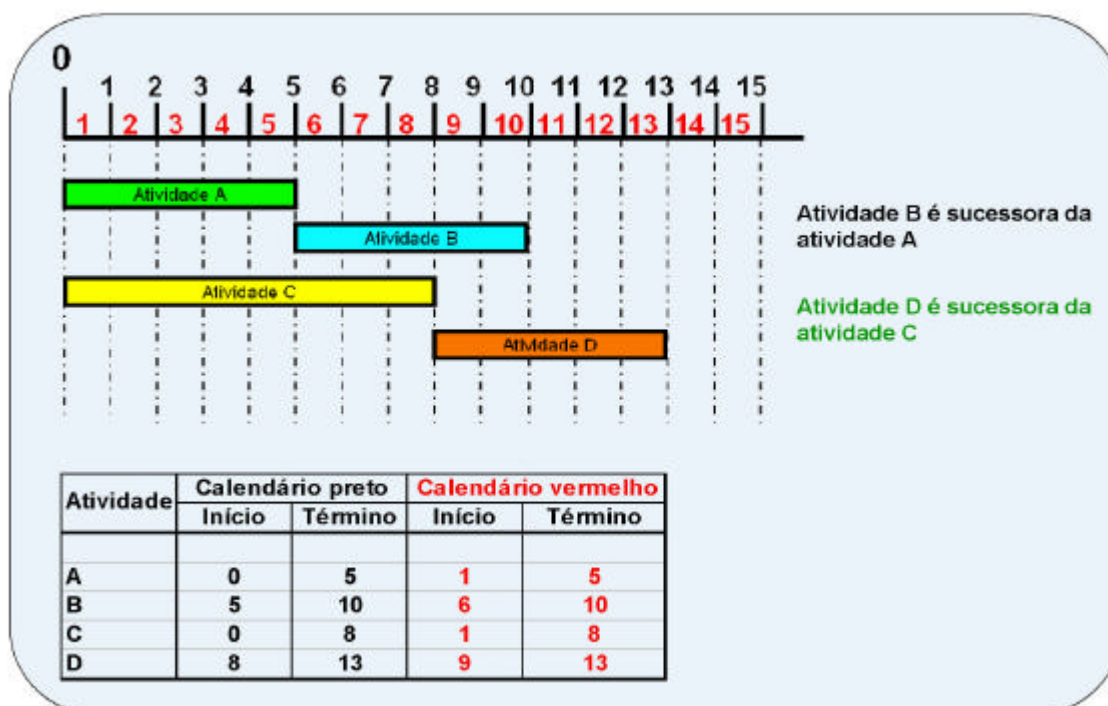


Figura 2.81 - Diferença entre o calendário manual e o usado pelos computadores.

Fonte - do autor.

a) Cálculo considerando o início do projeto na data 1 (um)

Considerando o início do projeto na data um, Burke (1999) explica que o termo cálculo progressivo é usado para definir o processo de cálculo das datas de início (ES_{ij}) e término (EF_{ij}) cedo para todas as atividades. A data de término cedo de uma atividade é calculada adicionando-se a duração da atividade à data de início cedo, usando-se a Form.(2.13) seguinte:

$$EF_{ij} = ES_i + D_{ij} - 1 \quad (2.13)$$

Usando a fórmula acima, para encontrar a data de término cedo (EF_{ij}) da atividade **A** (Figura 2.82):

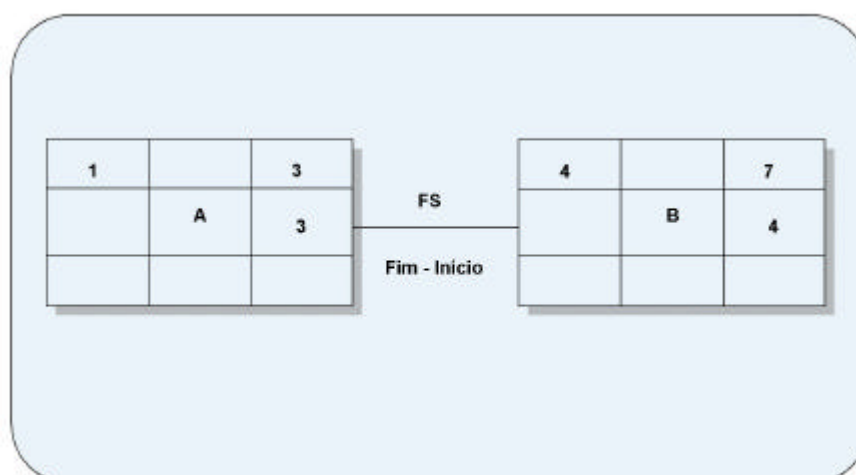


Figura 2.82 - Passo progressivo.

Fonte - Burke (1993).

$$EF_A = ES_A + D_A - 1, \text{ portanto:}$$

$$= 1 + 3 - 1 = 3$$

O cálculo da data de início cedo da atividade **B**, é realizado através da Form.(2.14) abaixo:

$$ES_B = EFA + 1 \quad (2.14)$$

Usando a fórmula acima, observamos que: a atividade **B** somente pode iniciar um dia após o término da atividade **A**, portanto:

$$ES_B = EF_A + 1$$

$$= 3 + 1 = 4$$

Para calcular a data de término cedo (EF_{ij}) de **B**, usa-se a fórmula Form.(2.13), utilizada anteriormente na atividade **A**.

$$EF_B = ES_B + D_B - 1$$

$$= 4 + 4 - 1 = 7$$

Portanto, a data de início cedo de qualquer atividade, é uma medida do tempo necessário para completar todas as atividades precedentes, na ordem lógica destacada no diagrama de rede (BURKE, 1999).

Burke (1999) ainda salienta, que o próximo passo é o cálculo regressivo, para se obter as datas tarde de início (LS_{ij}) e de término (LF_{ij}) de cada atividade. A data de término tarde para a última atividade pode ser atribuída, ou, caso contrário pode-se usar a data do término cedo.

Para calcular a data de início tarde (LS_{ij}) da atividade **B** deve-se usar a seguinte fórmula Form.(2.15):

$$LS_B = LF_B - D_B + 1 \quad (2.15)$$

O cálculo da data de término tarde da atividade **A**, é realizado através da Form.(2.16) abaixo:

$$LF_A = LF_B - 1 \quad (2.16)$$

Segundo Burke (1993), as folgas são calculadas através das fórmulas – Form.(2.17) e (2.18):

$$\text{Folga total: } TF_{ij} = LF_{ij} - Ef_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} \quad (2.17)$$

$$\text{Folga livre: } FL_{ij} = ES_{jk} - EF_{ij} - 1 \quad (2.18)$$

A data de início cedo de qualquer atividade, é uma medida do tempo necessário para completar todas as atividades precedentes, na ordem lógica destacada no diagrama de rede (BURKE, 1999).

Já a data de início tarde de qualquer atividade é uma medida do tempo necessário para concluir todas as atividades sucessoras, na ordem lógica destacada no diagrama de rede.

Observar que em grandes redes, quando diversas atividades levam a uma atividade no cálculo de ida, deve-se utilizar o maior valor do término cedo, para calcular a data

de início cedo da atividade sucessora. No cálculo de volta, quando muitas atividades levam a uma atividade, deve-se utilizar o menor valor de início tarde para calcular o término tarde da atividade precedente (BURKE, 1999).

A Figura 2.83 apresenta um exemplo desses cálculos:

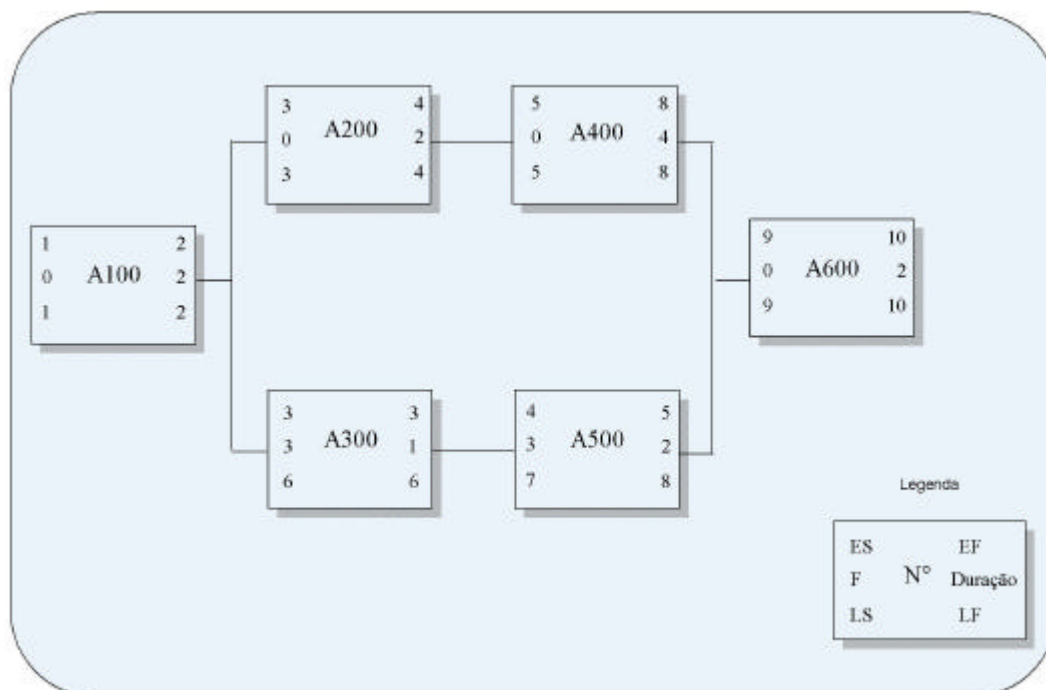


Figura 2.83 - Exemplo de cálculo das datas cedo e tarde.

Fonte – Burke (1999, p. 144)

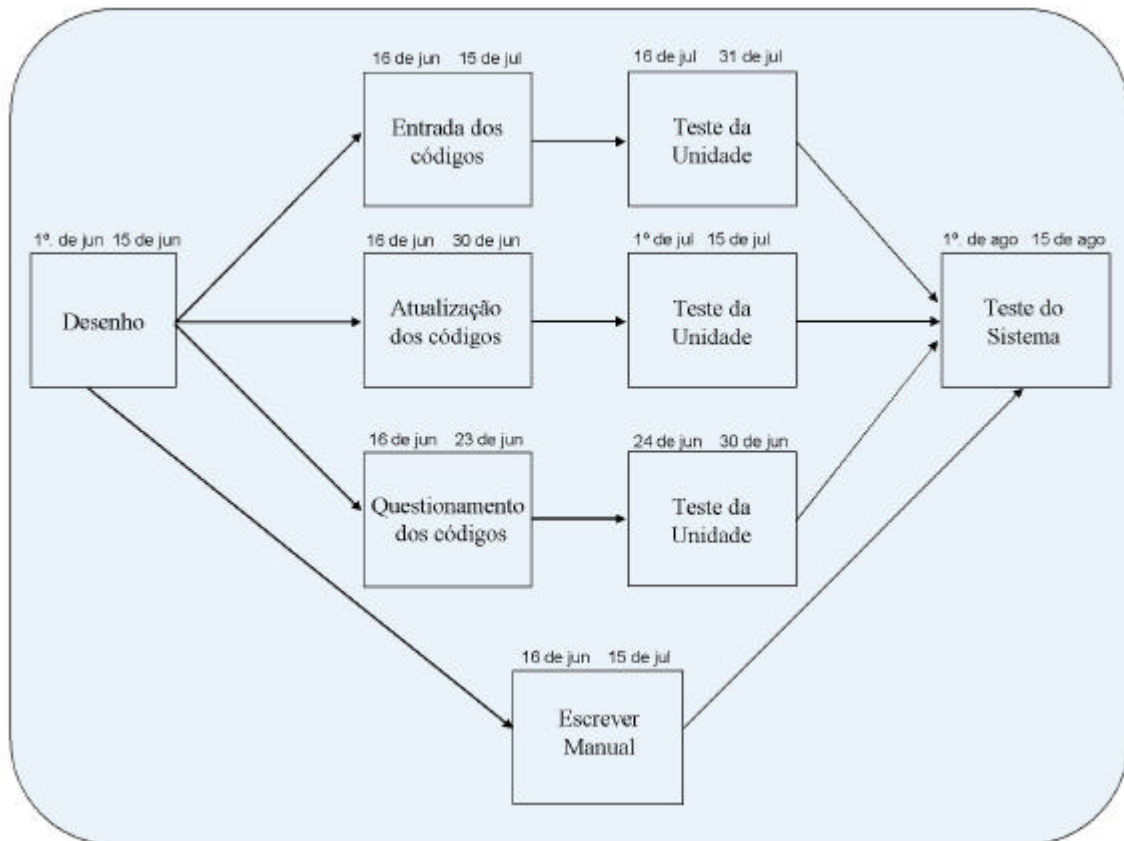


Figura 2.84 – Diagrama de rede com datas.

Fonte – PMBOK (2000, p. 77).

2.2.8 PERT

2.2.8.1 Introdução

O desenvolvimento do PERT começou quando a Marinha decidiu produzir o Sistema de Mísseis Polaris em tempo recorde em 1958. Vários estudos indicaram que havia um grande desafio a ser vencido em relação aos desempenhos de prazos e custos dos projetos conduzidos durante a década de 1950. Os estudos dos principais contratos de desenvolvimento militares indicavam que os custos reais eram, em média, duas a três vezes os custos originalmente estimados, e as durações dos projetos eram, em média, 40 a 50% maiores do que as estimativas iniciais. Estudos similares de projetos comerciais indicavam, em média, excesso em custo e prazo da ordem de 70 e 40%, respectivamente. Enquanto muitas pessoas achavam que as estimativas originais deveriam ser otimistas a fim de se realizar contratos, uma razão importante para estas falhas foi a falta de técnicas adequadas de planejamento e controle no gerenciamento de projetos complexos de grande porte (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

A Marinha norte-Americana formou uma equipe de desenvolvimento, sob a chefia de Almirante Red Raborn, com as participações da divisão de Sistemas da Lockheed Aircraft Corporation, a contratada principal, e de uma consultora em gerenciamento de projetos, a Booz Allen & Hamilton, para desenvolver métodos estatísticos e matemáticos no planejamento, avaliação e controle do programa Polaris (BURKE, 1999; CLELAND; KING, 1983).

Reconheceu-se que algo melhor era necessário, na forma de um sistema integrado de planejamento e controle, para o programa do Sistema de Armamento Polaris. Este projeto de pesquisa foi designado como PERT - *Program Evaluation Research Task*²¹⁹. Por ocasião do primeiro relatório interno do projeto, o PERT se tornou *Project Evaluation and Review Technique*. Esta equipe de pesquisas desenvolveu o

²¹⁹ Malcolm, D. G. , J. H. Roseboom, C. E. Clark, and Fazar, "Applications of a Technique for R and D Program Evaluation," (PERT) Operations Research, Vol. 7, Nº 5, 1959, pp. 646-669.

sistema PERT, levando em consideração técnicas tais como Linha de Balanço, Gráficos de Gantt, *Harmonygraph* e Sistemas de Reportagem de Marcos (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

Segundo Joseph J. Moder em Cleland e King (1988), uma abordagem de alguma forma diferente para o problema, denominada Técnica de Avaliação e Análise de Programas (PERT), foi desenvolvida, entre 1958 e 1959, junto com o sistema de mísseis Polaris, pela Malcolm e outros. O objetivo era o desenvolvimento de um melhor método de planejar, programar e controlar um programa de desenvolvimento, extremamente grande e complicado, no qual muitas das atividades estavam sendo conduzidas até ou além do estado da arte, e conseqüentemente suas durações eram principalmente variáveis aleatórias com variância considerável.

O tempo foi a essência do Programa Polaris; portanto, a equipe de pesquisa se concentrou em planejar e controlar este elemento do programa. A principal realização do procedimento estatístico do PERT é a utilização da teoria de probabilidade para a tomada de decisão gerencial. Sistemas de programação têm sido tradicionalmente baseados na idéia de uma duração fixa para cada atividade. No sistema PERT são obtidas três estimativas de duração para cada atividade – uma duração otimista, uma duração mais provável e uma duração pessimista. Este intervalo de duração fornece uma medição da incerteza associada com o prazo real necessário para realizar a atividade em algum lugar no futuro. Através do procedimento PERT, é possível, baseado nestas estimativas, obter as probabilidades de que um projeto será concluído antes ou na data especificada pela programação (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

O PERT foi primeiramente utilizado para projetos de desenvolvimento e pesquisa (R&D), embora seu uso seja mais comum no lado “desenvolvimento” do R&D do que no seu lado de “pesquisa”. O CPM foi desenvolvido para projetos de construção e tem sido normalmente adotado pela indústria da construção. Os dois métodos são bastante similares e são freqüentemente combinados para apresentação educacional (MEREDITH; MANTEL, 2000).

Cleland e Ireland (2002, p. 200) definem a Técnica de Avaliação e Análise de

Programas - PERT²²⁰ como “uma metodologia semelhante ao CPM, que usa três estimativas para calcular o caminho de tempo mais longo. Em geral, os modelos PERT e CPM são usados indistintamente, com o mesmo fim”²²¹.

Embora PERT e CPM tenham o mesmo propósito geral e utilizem na maioria das vezes a mesma terminologia, as técnicas foram desenvolvidas independentemente. O PERT foi criado no final dos anos 50 especificamente para o projeto de mísseis Polaris, em que muitas atividades associadas com este projeto nunca tinham sido executadas previamente, portanto, o PERT foi desenvolvido para gerenciar atividades incertas. O CPM foi projetado principalmente para projetos industriais, em que as durações das atividades são conhecidas, oferecendo a possibilidade de redução das durações das atividades, por meio da adição de mais recursos, normalmente acarretando um aumento de custos. Portanto, uma característica distinta do CPM era identificar o balanceamento entre tempo e custos, para as diversas atividades do projeto (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2003).

Moder, Phillips e Davis (1983) mencionam que o PERT é apropriado para a programação e controle de projetos de pesquisa e desenvolvimento, compreendendo principalmente atividades cujas durações estão sujeitas a uma chance considerável de variação. É por causa desta variabilidade que em projetos deste tipo o elemento duração é normalmente um parâmetro importante. Enquanto a abordagem determinística do CPM aplica em programas deste tipo, a estimativa singular da média das durações das atividades ignora completamente a incerteza associada. A vantagem da abordagem probabilística do PERT, originalmente desenvolvido por D. G. Malcolm^{222,223} e outros (apud MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983, p. 269), é que ela oferece um método de lidar com esta incerteza na variação, possibilitando sua consideração nos cálculos da programação, e finalmente usando-a como uma base para cálculo da probabilidade de que o projeto, ou seus marcos

²²⁰ Program Evaluation and Review Technique – PERT, no original.

²²¹ Tradução própria.

²²² Malcom, D. G. , J. H. Roseboom, C. E. Clark, and W. Fazar, “Applications of a Technique for R and D Program Evaluation” (PERT), *Operations Research*, Vol VII, N° 5, September-October 1959, pp. 646 – 669.

²²³ PERT, Program Evaluation Research Task, Phase I Summary Report, Special Projects Office, Bureau of Ordnance, Department of the Navy, Washington, July, 1958.

principais, serão concluídos antes ou na data de entrega.

Cleland e King (1983, p. 405) mencionam que a equipe de desenvolvimento sentiu que os dois principais requisitos para a metodologia de avaliação do programa eram:

- ✓ Estimativas de duração detalhadas e bem estimadas para as atividades futuras;
- ✓ Conhecimento preciso da seqüência necessária ou planejada na qual as atividades devem ser realizadas.

Um procedimento para expressar quantitativamente essa incerteza foi solicitado a ser desenvolvido, uma vez que a duração necessária para realização de atividades é freqüentemente incerta. Isto conduziu à técnica de estimativas estatística, que é a principal característica do PERT. O requisito do seqüenciamento foi realizado através da utilização de diagramas de rede.

O PERT, portanto, foi originalmente desenvolvi do como uma técnica para avaliação de planos e programações, mas sua utilidade não é limitada a isto, pois o PERT também pode ser usado como uma técnica de planejamento e programação. A técnica PERT para a estimativa de durações fornece uma forma de considerar algumas das incertezas na estimativa da duração necessária para realizar diversos tipos de atividades.

Após a preparação do diagrama de rede, os planejadores do PERT obtêm três estimativas de duração para cada atividade, uma otimista, uma pessimista e a mais provável. Estas três estimativas são usadas para calcular as durações esperadas necessárias para realizar cada atividade, e uma medição da probabilidade de realização da atividade naquele prazo. A estimativa da duração esperada de cada atividade é usada na análise de rede. As variabilidades nas durações das atividades são acumuladas ao longo dos caminhos do diagrama de rede, da mesma forma que as durações das atividades são acumuladas, fornecendo uma medida da variabilidade de cada evento. A variabilidade associada com um evento pode ser usada para fazer inferências estatísticas, sobre a ocorrência do evento em uma data particular, tal como: "A probabilidade de que o projeto será concluído na sua data de conclusão programada é de 34%"²²⁴.

A técnica do PERT foi desenvolvida para aplicar um tratamento estatístico para uma gama de possíveis durações das atividades. Um modelo probabilístico,

²²⁴ Tradução própria.

considerando três durações para cada atividade foi desenvolvido, usando as durações pessimista, otimista e mais provável (Figura 2.85). Os três tempos foram considerados em uma distribuição normal para calcular o tempo esperado para a atividade (BURKE, 1999).

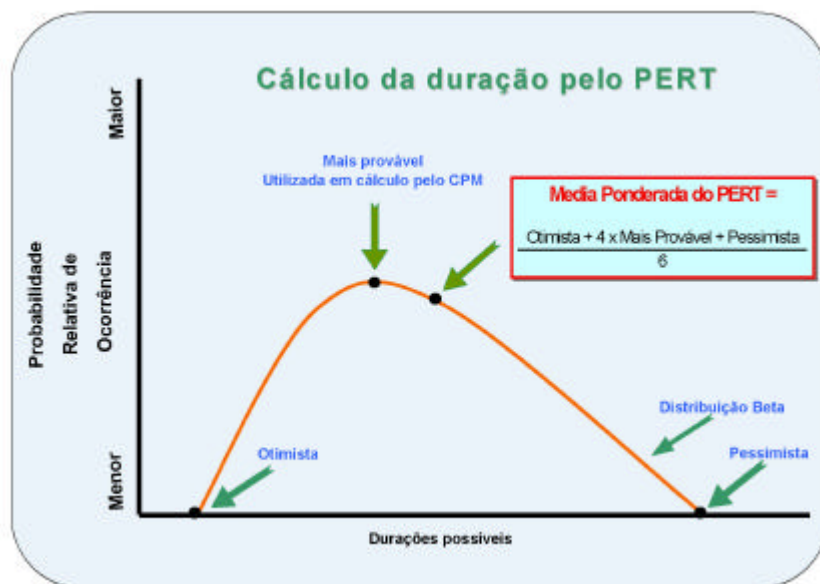


Figura 2.85 – Análise probabilística do PERT.

Fonte: Burke (1999, p. 16).

A abordagem PERT normalmente envolve a obtenção das estimativas de duração das atividades das pessoas que são responsáveis pela realização ou pela supervisão de cada atividade. As pessoas diretamente responsáveis pelas atividades devem ser solicitadas a fazerem as estimativas, pois elas possuem um maior conhecimento em relação às dificuldades inerentes e ao potencial de variabilidade na realização (CLELAND; KING, 1983).

Cleland e King (1983, p. 410) apresentam ramificação do PERT, direcionada a evitar alguns dos problemas induzidos pelo PERT, envolvendo a aplicação da simulação nos diagramas de redes. As simulações são baseadas, assim como o PERT, nas distribuições de probabilidades assumidas nas durações requeridas para cada atividade, e as simulações possibilitam a utilização de uma grande variedade de possíveis distribuições, enquanto o PERT assume uma distribuição específica.

Segundo R. M. Van Slyke and A. R. Klingel²²⁵ (apud CLELAND; KING, 1983, p. 410)

²²⁵ R. M. Van Slyke, "Monte Carlo Methods and the PERT Problem," *Operations Research*, vol. 11, nº

a maioria dos modelos de simulação que utilizam o diagrama de rede assume, como antecipadamente conhecida e fixa, a forma de distribuição das durações das atividades. Seu principal produto é uma distribuição “das durações do projeto”, que é gerada através da simulação de várias situações e combinações possíveis das circunstâncias que podem resultar das distribuições assumidas como insumo. Essa abordagem permite que diversas situações ou circunstâncias sejam simuladas e consideradas, na proporção apropriada, tal que a distribuição gerada (de saída) seja representativa das várias durações do projeto, possíveis de ocorrer.

A abordagem da simulação, no entender de Cleland e King (1983), previne algumas das dificuldades teóricas com a análise PERT, uma vez que ela simplesmente replica diversas realizações do mesmo diagrama de rede, sendo seus cálculos baseados na distribuição empírica dos resultados que são gerados. Portanto, a maioria das premissas freqüentemente criticadas do PERT, tais como as de independência de atividades e a aplicabilidade do Teorema do Limite Central, são evitadas. Entretanto, a distribuição, arbitrariamente assumida como insumo, da duração das atividades permanece um elemento fraco na maioria das análises de simulação.

Esta última abordagem para o tratamento da variabilidade nas durações das atividades foi apresentada em um jornal por R. M. Van Slyke²²⁶ (apud MODER; PHILLIPS, 1964, p. 195), no qual comenta que:

nesta abordagem, o conceito de folga da atividade é substituído pela probabilidade de uma dada atividade pertencer ao verdadeiro caminho crítico. O autor aplicou os métodos de Monte Carlo (amostragem aleatória) para uma pequena rede e viu que é possível para uma atividade que não está no caminho crítico convencional do PERT, ter a maior probabilidade de que qualquer atividade no diagrama rede de estar no verdadeiro caminho crítico. O verdadeiro caminho crítico é aquele encontrado, após a conclusão do projeto, a ser o caminho mais longo através do diagrama de rede. Van Slyke também concluiu que a probabilidade de alcançar uma data programada de término do projeto calculada através do método

5, 1963, pp. 839-860; and A. R. Klingel, Jr., “Bias in PERT Project Completion Time Calculations for Real Network,” *Management Science*, vol. 13, pp. 194-201, 1967.

²²⁶ Van Slyke, R. M. , “Monte Carlo Methods and the PERT Problem”, *Operations Research*, Vol 11, Nº 5, September-October (1963) pp. 839-860.

convencional do PERT, possui uma precisão aceitável, apesar de suas premissas simplificadoras. Esta consideração é particularmente verdadeira se a probabilidade calculada é maior do que 0,5.²²⁷

²²⁷ Tradução própria.

2.2.9 Método da corrente crítica

2.2.9.1 Introdução

Os problemas que todos os projetos têm em comum são as altas probabilidades de desvios no orçamento, atrasos nas datas esperadas e comprometimento do escopo do projeto, existindo a tendência de pôr a culpa na falta de sorte, no tempo, nos fornecedores, no governo, etc.; enfim, existe a tendência de sempre colocar a culpa na incerteza, e que esta é a causa principal para a maioria dos problemas em projetos. As pessoas não ignoram a incerteza e colocam uma grande margem de segurança no seu planejamento, dando suas “estimativas realistas” de acordo com sua pior experiência anterior, e normalmente não informando quanto de proteção colocam em cada atividade (GOLDRATT, 1998).

Leach (2000) destaca que a taxa de falha dos projetos é alarmante. As avaliações mostram que aproximadamente 30% dos projetos são cancelados antes de seus termos, desperdiçando o prazo, dinheiro e o esforço despendido na sua realização. Normalmente, os projetos que conseguem sobreviver não conseguem entregar todo o escopo inicialmente acordado e/ou não cumprem os objetivos do projeto: prazo, custo e qualidade.

- ✓ O escopo estabelece um padrão mínimo para os resultados do projeto;
- ✓ O orçamento estabelece um custo máximo;
- ✓ O cronograma estabelece o prazo máximo para o projeto.

Por meio da análise de diversos projetos, Goldratt (1998) observa que a principal razão dos péssimos desempenhos dos projetos não é decorrente de excessos no orçamento, mas causada, principalmente, pelos atrasos na conclusão do projeto. As empresas, preocupadas em reduzir um pouco do orçamento, escolhendo, por exemplo, fornecedores mais baratos em detrimento dos mais confiáveis, acabam prejudicando o desempenho total do projeto. Isto é exemplificado através de um projeto, em que uma redução de 5% nas aquisições de máquinas, correspondendo a provavelmente menos que 3% de todo o investimento, fizeram um projeto com um

tempo de retorno²²⁸ de três anos, passar para um de 5 anos. Essas análises conduziram a conclusão de que “as empresas estão tão imersas na mentalidade de economizar dinheiro que elas esquecem que o objetivo fundamental de um projeto não é economizar dinheiro, mas fazer dinheiro”²²⁹.

Leach (2000, p. 10) ainda enfatiza que “os projetos de software também estão propensos à falhas, e menciona que estudos recentes indicam que aproximadamente 30% dos projetos são cancelados antes de serem concluídos, e que somente 15% dos remanescentes podem ser considerados como projetos bem-sucedidos”.

Conforme Leach (2000, p. 12) as evidências demonstram que a teoria atual utilizada no gerenciamento de projetos não produz os resultados desejados e que o Avraham Y. Goldratt Institute fez a seguinte pergunta aos estudantes de Gerenciamento de Projetos: “Porque é tão difícil alcançar as três condições necessárias ao sucesso do projeto?” As repostas mais comuns apresentadas foram:

- ✓ Tempo ruim;
- ✓ Dificuldades imprevisíveis dos fornecedores de equipamentos;
- ✓ Tempo maior que o esperado para atender os requisitos do projeto;
- ✓ Cronograma irrealista;
- ✓ Fornecedores e contratados não confiáveis (mas mais baratos);
- ✓ Dificuldades na comparação da disponibilidade dos operadores com as necessidades do projeto;
- ✓ Emergências.

A lista acima possui dois aspectos em comum: independentemente da causa o problema está fora do controle do gerente de projeto e a causa sempre é um evento imprevisto. Segundo Leach (2000, p. 13), duas premissas suportam muitas das avaliações cobertas pela lista:

1. O trabalho do projeto é determinístico: as avaliações tratam a realidade como se fosse possível a obtenção de planos e estimativas corretas ou precisas. Portanto, ele assume que a variação no resultado final deve ser

²²⁸ Payback no original.

²²⁹ O grifo é nosso.

causada por uma falha na definição ou na operação;

2. O sistema atual de gerenciamento de projetos é eficiente: esta premissa conduz a soluções que identificam as partes particulares do sistema atual que não funcionam bem causando uma falha circunstancial [...].²³⁰

No entender de Leach (2000, p. 15), as pessoas normalmente atribuem os fracassos dos projetos a uma grande quantidade de causas:

- ✓ O cliente, por não estabelecer os requisitos;
- ✓ A alta administração, por não apoiar suficientemente o projeto;
- ✓ A gerência funcional, por não fornecer os recursos necessários ao projeto;
- ✓ O departamento comercial, por estabelecer requisitos impossíveis, de prazo e custo;
- ✓ Os fornecedores, por não entregarem o que era necessário, na data e no local estabelecido;
- ✓ O sistema, por fornecer pouquíssimos detalhes, inexistência de um plano de gerenciamento do projeto ou um controle de mudanças ineficiente;
- ✓ À equipe do projeto, pela falta de motivação e habilidade ou pela quantidade insuficiente de membros.

Leach (2000) credita esse fracasso ao modelo de gerenciamento apresentado pelo PMI®, afirmando que o PMBOK®, nos Capítulos 1 a 3, faz referência a um sistema de gerenciamento de projetos, através do qual a maioria dos softwares de gerenciamento de projetos, existentes no mercado, utiliza o método do caminho crítico (CPM) para definir o cronograma do projeto. Menciona que o PMBOK® faz referências a outros métodos, salientando que o CPM, por uma larga margem, é o método mais utilizado. Salienta ainda que o PMBOK® também descreve métodos para tratar com as incertezas em projetos considerando os riscos do projeto, e a técnica do valor agregado²³¹, como um método para medição do desempenho e controle do projeto. Esse texto do PMBOK® menciona que a maioria dos projetos de grande porte utiliza o gerenciamento de riscos e o *earned value*, especialmente os projetos desenvolvidos para o Governo Americano. O autor comenta que a maioria

²³⁰ Tradução própria.

²³¹ *Earned value technique* - (EVT), no original.

dos softwares e a maioria das aplicações que ele tem visto aplicam o CPM utilizando os cronogramas pelas “datas cedo”.

Leach (2000, p. 10) comenta que:

Diversos tipos de projeto em diversas indústrias e em diversos países experimentam altas taxas de fracasso, e que a única ameaça comum é o sistema de gerenciamento de projetos. Todos utilizam o método do caminho crítico, conforme teoria definida pelo PMBOK®, e todos eles podem não utilizar a mesma forma e que podem não usá-la bem, mas o fato é que todos a utilizam.²³²

2.2.9.2 A corrente crítica

A corrente crítica é uma metodologia de gerenciamento de projetos, que busca alcançar dois dos principais desafios em gerenciamento de projetos: ter cada projeto concluído no menor tempo e conduzir mais projetos, por meio da organização, sem a adição de recursos. A corrente crítica está baseada na Teoria das Restrições²³³ proposta por Goldratt (KERZNER, 2006).

O PMI® (2004, p. 147) define que:

A corrente crítica é uma técnica de análise de rede da programação, que modifica a programação do projeto para levar em consideração a limitação de recursos. A corrente crítica combina abordagens determinísticas e probabilísticas. O método da corrente crítica adiciona pulmões²³⁴, na programação, que não são atividades de trabalho, portanto não fazem parte do escopo do projeto, para manter o foco nas durações das atividades planejadas. Uma vez que os pulmões são determinados, as atividades planejadas são programadas de acordo com suas datas mais tarde, de início e término. Conseqüentemente, em vez de gerenciar a folga total dos caminhos do diagrama de rede, o método da corrente crítica se concentra no gerenciamento das durações dos pulmões e nos recursos designados às

²³² Tradução própria.

²³³ Theory of Constraints – TOC, no original.

²³⁴ *Buffers*, no original.

atividades planejadas do projeto.

O modelo de gerenciamento de projetos utilizado pela maioria das empresas considera que, após a definição do escopo do projeto e sua decomposição em pacotes de trabalhos, identificamos as atividades que serão executadas para gerar os produtos a serem entregues e o produto final do projeto. Neste modelo, após as estimativas de duração das atividades, deve-se elaborar o diagrama de rede, calcular as datas cedo e tarde, de início e término e identificar o caminho crítico, que é definido como sendo o caminho que determina a duração do projeto. Qualquer atraso nesse caminho atrasará a conclusão do projeto, sendo de fundamental importância que o gerente de projeto mantenha o foco nesse caminho. Também são notórios os problemas decorrentes da perda do foco, devido à execução das atividades nas suas datas cedo, em que o gerente de projetos vai lidar com muitas atividades simultâneas, e dos problemas decorrentes da execução das atividades de acordo com suas datas mais tarde, onde o gerente de projetos, além da perda de foco devido à execução de muitas atividades simultâneas, ele tem que considerar os riscos assumidos em função da eliminação da folga total, tornando todas as atividades críticas (GOLDRATT, 1998).

Outro aspecto observado por Goldratt (1998) foi a perda de foco no caminho crítico decorrente do sistema de medição do progresso físico, pois na ocorrência de problemas com as atividades críticas, em função das metas de progresso físico, passa-se a gerar progresso em atividades de outros caminhos não críticos, através das quais se tem com maior facilidade gerar o progresso físico necessário para o cumprimento das metas estabelecidas. O verdadeiro problema somente virá à tona quando todas as atividades dos caminhos não críticos estiverem concluídas, restando o trabalho a ser realizado nas atividades problemáticas, pertencentes ao caminho crítico do projeto, que certamente comprometerão o prazo final do projeto.

Goldratt (1998) e Lewis (1995) utilizam-se da seguinte frase para caracterizar a situação supracitada: “Um relatório de progresso dirá a você que 90% do projeto está concluído em um ano, e que os 10% restantes levarão outro ano”, evidenciando que as medições do progresso físico deveriam induzir as pessoas a fazerem o que é bom para o projeto como um todo, direcionando os gerentes para os pontos que necessitam da sua atenção, mas, na realidade, o que ocorre é exatamente o contrário, os gerentes são conduzidos à direção oposta.

Leach (2000) afirma que todos sabem que as atividades do projeto possuem uma razoável quantidade de incerteza, e que existe uma substancial evidência indicando que as pessoas tendem a colocar uma excessiva segurança em sua convicção da precisão das estimativas.

Embora sejam considerados normais que estes mecanismos de proteção, ou contingências sejam colocados nas atividades, as pessoas não gostam de evidenciar, e não percebem quanta proteção ou contingência embutem em cada atividade ou etapa do projeto, mas normalmente acreditam que a probabilidade de concluírem a atividade no tempo estimado é maior do que 80%. Além dessa proteção, foi constatado que a chefia da equipe acrescenta, como segurança, aproximadamente 30% à estimativa, e esse fato é repetido nos diversos níveis gerenciais envolvidos na elaboração da estimativa do projeto GOLDRATT (1998).

Goldratt (1998), ainda, salienta que geralmente a alta administração não fica satisfeita com a estimativa da data de conclusão do projeto, e acaba solicitando datas mais cedo. Portanto, para isto, é exigida uma redução na duração do projeto, por exemplo, de 20%. Como todos estão acostumados com esse procedimento, eles, num primeiro momento, já inflacionam as estimativas finais em 25%.

Leach (2000) argumenta que, através da utilização do CPM, uma condição para se ter sucesso em um projeto é que ele seja executado de acordo com o planejado. Para executar um projeto conforme planejado, todas as atividades do caminho crítico devem ser realizadas conforme programadas. Para ter todas as atividades realizadas conforme programadas, torna-se necessário incluir a contingência em cada atividade, em função da incerteza existente na execução da atividade. Portanto, para identificar o caminho crítico do projeto, torna-se necessário estimar todas as atividades, incluindo as respectivas contingências e interligá-las por meio de um diagrama de rede. A fim de facilitar o entendimento, define-se contingência como sendo a diferença entre uma estimativa de 50% de probabilidade e uma estimativa de 90% de probabilidade, conforme apresentado na Figura 2.86.

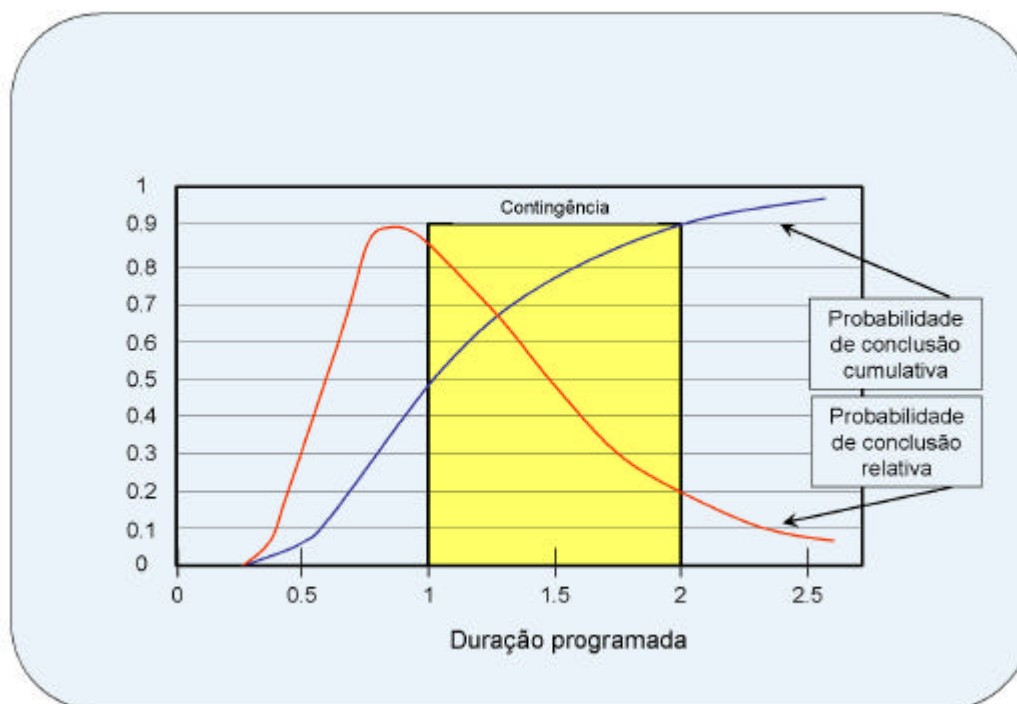


Figura 2.86 – Contingência.

Fonte - Leach (2000, p. 79).

Segundo Goldratt (1998) existem três mecanismos diferentes para embutir proteção nas estimativas de duração do projeto:

1. As estimativas de duração são baseadas em uma experiência pessimista. As pessoas fornecem as suas estimativas realistas de acordo com a sua pior experiência anterior;
2. Quanto maior o número de níveis gerenciais, maior a duração das estimativas, porque cada nível adiciona sua própria segurança;
3. As pessoas que estimam as durações também protegem suas estimativas de cortes.

Segundo Goldratt (1998), uma das explicações para a situação acima é que não há nenhuma recompensa para se acabar uma atividade mais cedo, mas sim uma grande penalidade. Se uma atividade é concluída mais cedo, vai haver uma forte pressão da gerência para cortar os tempos estimados. Uma outra razão é que a atividade sucessora à atividade que foi concluída mais cedo normalmente começará na data inicialmente planejada, pois sua equipe, mesmo que tenha sido informada da antecipação, provavelmente estará executando outra atividade do projeto ou até

de outro projeto. Goldratt (1998, p. 128) conclui que “um atraso em uma etapa é passado, por completo para a etapa seguinte. Um avanço feito numa etapa é geralmente desperdiçado”. Portanto, a maior parte da segurança que foi embutida no projeto não ajuda em nada.

Leach (2000, p. 82) alerta que as causas potências para excessos nas durações ou custos das atividades incluem:

- ✓ As pessoas trabalham diligenciando as datas de eventos, mas nunca objetivando uma antecipação na conclusão do trabalho;
- ✓ As estimativas são muito menos prováveis do que acreditamos, deixando, portanto, pouca possibilidade de variações positivas;
- ✓ O trabalho acaba se expandindo para preencher todo tempo e custo disponível;
- ✓ A convicção de que a próxima atividade pode não estar pronta para ser iniciada;
- ✓ Na maioria das organizações existem penalidades significantes, para a conclusão das atividades com atraso, mas não existem premiações ao se concluí-las mais cedo.²³⁵

2.2.9.2.1 *Síndrome do estudante*

Leach (2000) salienta que a maioria das pessoas possui a tendência de esperar até que as tarefas se tornem extremamente urgentes para, então, nelas trabalharem. A Figura 2.87 apresenta o padrão típico da maioria das pessoas, evidenciando que elas normalmente executam menos de um terço do trabalho de uma atividade, durante dois terços da sua duração, e os dois terços restante são realizados durante o último terço, aumentando com isto a probabilidade de ocorrência de problemas na conclusão da atividade. Goldratt (1998, p. 131) argumenta que “outro motivo para o atraso de uma atividade é devido à adição da proteção ou contingência, pois em função desta proteção as pessoas acabam deixando para iniciar as atividades no

²³⁵ Tradução própria.

último minuto, acarretando normalmente atrasos inevitáveis, com conseqüente desperdício da segurança”.

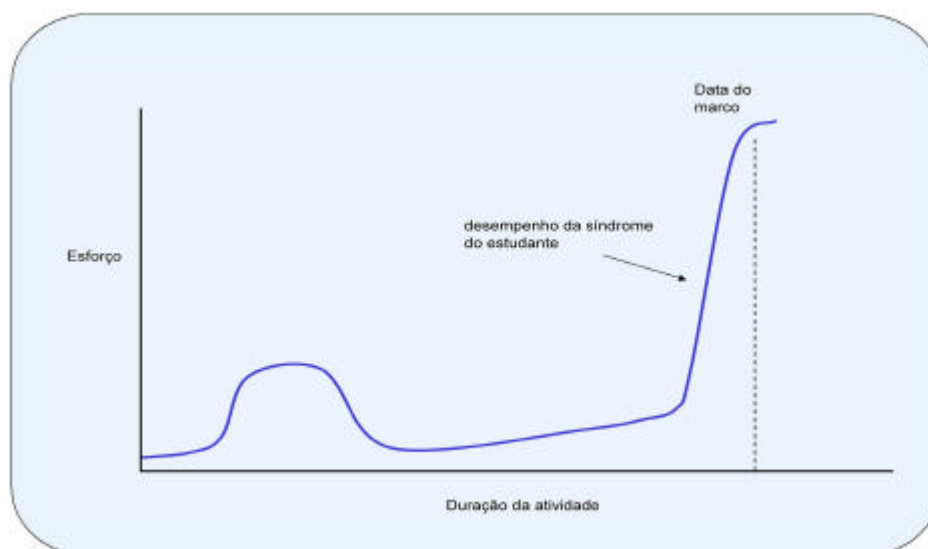


Figura 2.87– Curva de desempenho da síndrome do estudante.

Fonte - Leach (2000, p. 85).

2.2.9.2.2 *Multitarefa*

O fenômeno da multitarefa, segundo Goldratt (1998) e Leach (2000), é o maior responsável pelo aumento da duração do projeto. Tentar fazer diversas tarefas ao mesmo tempo aumenta significativamente a duração das atividades. Exemplificando, a Figura 2.88 apresenta uma situação em que uma pessoa tem de realizar três atividades: **A**, **B** e **C**. Essas atividades podem fazer parte de um projeto ou de diversos projetos. Cada atividade tem a duração de 10 dias úteis. Caso a pessoa trabalhe em série a duração de cada atividade será de 10 dias. Pulando de uma atividade para outra, a pessoa trabalhará 5 dias em uma atividade antes de mudar para a outra, por exemplo, **A, B, C, A, B, C**, fazendo com que a duração de cada atividade seja duplicada.

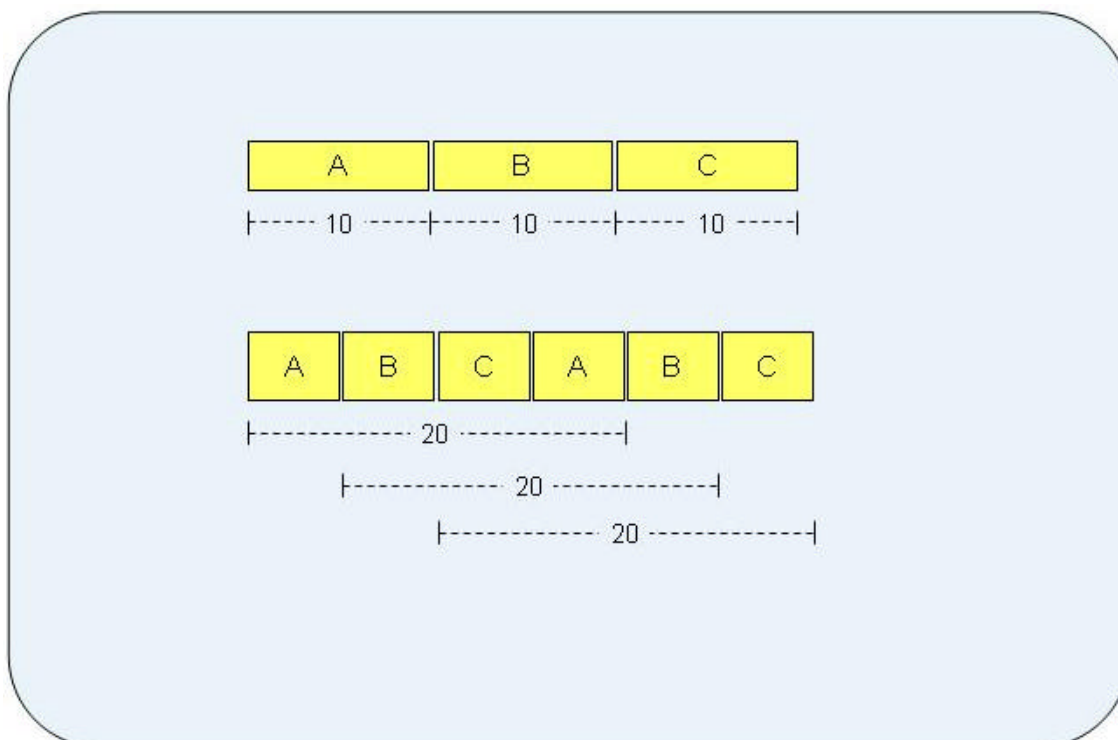


Figura 2.88 – Fenômeno da multitarefa.

Fonte - Goldratt (1998, p. 133).

Como solução aos problemas causados pela Síndrome do Estudante e Multitarefa Goldratt (1998) e Leach (2000) sugerem que a programação seja realizada pelas datas tardes, pois planejando pelas datas tardes eliminamos todas as folgas existentes no cronograma, fazendo com que a equipe do projeto se concentre mais nas atividades e o efeito da síndrome do estudante seja mínimo em função dos prazos serem mais apertados. A equipe do projeto deve estar focada em realizar uma tarefa de cada vez, e eliminar os marcos intermediários, direcionando todos os esforços ao cumprimento da data de término do projeto.

2.2.9.2.3 Lei de Parkinson

A lei de Parkinson declara que o trabalho se expande de forma a preencher todo o tempo disponível, fazendo com que mesmo se a atividade seja concluída antecipadamente, todo o prazo remanescente será usado para a conclusão da mesma.

2.2.9.3 Focalização

Em função destas observações, Goldratt (1998) utiliza os conceitos da Teoria das Restrições²³⁶ e desenvolve uma solução para planejar e gerenciar projetos, que foi nomeada “corrente crítica”, através dos cinco passos de focalização da TOC²³⁷, conforme apresentado na Figura 2.89.

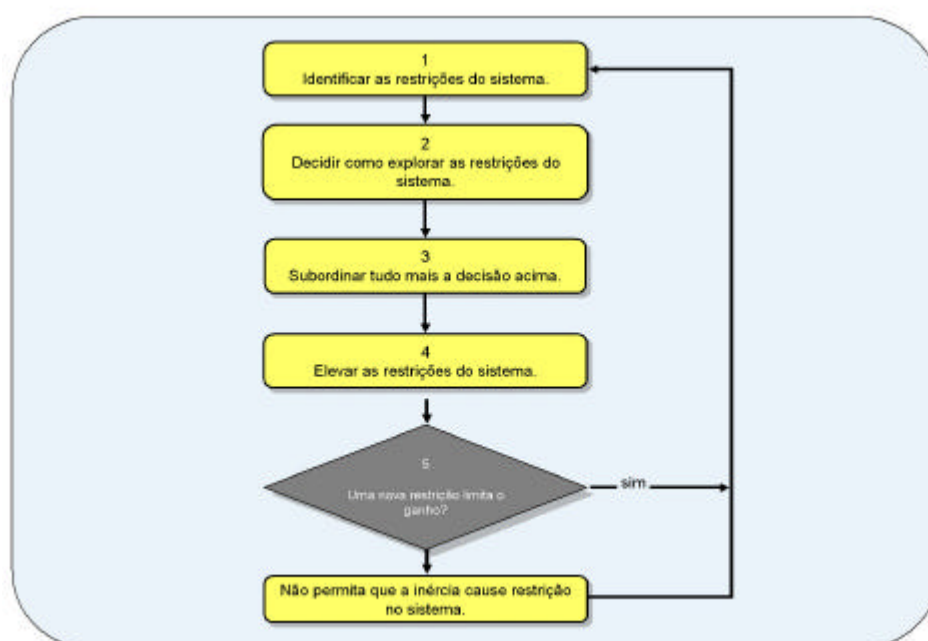


Figura 2.89 – Os cinco passos de focalização.

Fonte - Leach (2000, p. 64).

Passo 1: Identificar a restrição do sistema

Segundo Leach (2000), a restrição do sistema é como o elo mais fraco de uma corrente. Independentemente do que se faz para melhorar os demais elos da cadeia,

²³⁶ *Theory of Constraints* – TOC, no original.

²³⁷ A teoria das restrições – TOC é uma dedução direta das cinco etapas de focalização:

1. Identificar a restrição do sistema – achar o elo mais fraco – identificar o gargalo;
2. Decidir como explorar a restrição do sistema;
3. Subordinar tudo mais à restrição acima;
4. Elevar a restrição do sistema;
5. Evitar a inércia e voltar ao passo 1.

esta somente se tornará mais forte quando for melhorada a resistência do seu elo mais fraco. Em gerenciamento de projetos, o elo mais fraco pode estar em:

- ✓ Nos processos de gerenciamento de projeto;
- ✓ Nas políticas da organização;
- ✓ Em alguma cadeia de suprimento;
- ✓ Nos procedimentos de trabalho;
- ✓ No sistema de medição;
- ✓ Na comunicação.

Passo 2: Decidir como explorar a restrição do sistema

Explorar a restrição do sistema é pegar o elo mais fraco da cadeia. É preciso decidir como eliminar o conflito principal, assegurando que as partes necessárias do sistema foram alteradas, para que o efeito natural resultante das mudanças alcance os efeitos desejados. Neste passo é decidido o que mudar.

Passo 3: Subordinar tudo mais à decisão tomada no passo 2

O passo 3 é a chave para enfocar o seu esforço. Enquanto é realizada a subordinação, é possível que se encontrem diversas premissas que parecem inibir a execução da coisa certa. O passo 3 é a primeira parte da decisão de como provocar a mudança.

Passo 4: Elevar a restrição do sistema

O passo 4 é a implementação de como provocar a mudança. É normalmente a parte mais difícil de ser realizada, não em função do trabalho físico, mas em função das mudanças provocadas na maneira de as pessoas verem as coisas, pois naturalmente estas defendem a maneira que normalmente as realizam.

Passo 5: Se uma restrição é quebrada no passo 4, voltar para o passo 1

Conforme se continua a elevar a restrição, eventualmente pode-se revelar uma outra restrição. Isto não é um problema, pois isto fornece uma estratégia natural para seguir melhorando um sistema. O importante é sempre focar na restrição atual.

Baseado na teoria das restrições, Leach (2000, p. 75) afirma que:

A decisão mais importante a se tomar quando se pretende melhorar alguma coisa é decidir o que mudar. Tudo mais segue desta decisão. Caso seja decidido mudar alguma coisa que não é a restrição do sistema, muito provavelmente o sistema não será afetado, podendo até ficar pior, criando-se uma nova restrição, mais restritiva do que a anterior. Certamente um sistema não se tornará melhor através da melhoria de uma não-restrição.

O objetivo de um sistema de gerenciamento de projetos é o de entregar resultados do projeto que satisfaçam a todos os *stakeholders*, o que significa entregar o escopo prometido antes ou no prazo prometido e abaixo ou no custo estimado. A Figura 2.90 mostra um sistema de gerenciamento de projeto que torna claro o objetivo do sistema, identifica as entradas e saídas, possibilita as medições e ajuda a controlar o sistema a fim de atingir os objetivos.

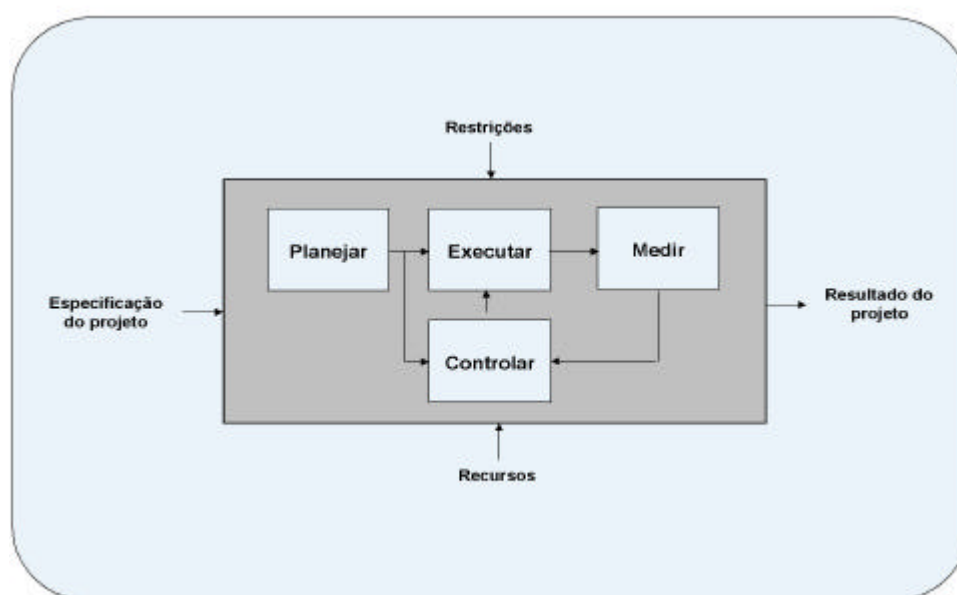


Figura 2.90 - Processos de um sistema de gerenciamento de projetos.

Fonte - Leach (2000, p. 76).

Leach (2000) evidencia alguns efeitos indesejáveis em um sistema de gerenciamento:

- ✓ Os projetos normalmente excedem o cronograma;
- ✓ Os projetos normalmente excedem o orçamento;
- ✓ Os projetos freqüentemente têm que comprometer o escopo, a fim de entregar no prazo e dentro do orçamento;
- ✓ Os projetos sofrem muitas mudanças;
- ✓ Em organizações que trabalham com multiprojetos, normalmente os projetos disputam os recursos;
- ✓ As durações dos projetos se tornam maiores;
- ✓ Muitos projetos são cancelados antes de seus términos;
- ✓ O trabalho do projeto gera alta tensão em muitos participantes.

O método da corrente crítica surge pelo ataque à premissa de que adicionar contingência a cada atividade é a única forma de gerenciar a incerteza. A solução da corrente crítica vem do reconhecimento de que a variação no desempenho de uma atividade e dos eventos dependentes é a origem do comportamento do sistema atual. Esta variação no desempenho é observada quando o recurso da atividade seguinte, a atividade sucessora, não está disponível para iniciar o trabalho quando a atividade predecessora é concluída antes do prazo, e, conseqüentemente, o projeto perde, para sempre, o tempo ganho anteriormente (LEACH, 2000).

A solução encontrada por Goldratt (apud LEACH, 2000) seguiu a metodologia da TOC, e o primeiro passo foi identificar a restrição do projeto, focando o prazo de conclusão do projeto, que pela análise do diagrama de rede o conduziu ao caminho mais longo do projeto – o caminho crítico.

Explorando a restrição, Goldratt (1998) chegou à conclusão de que “não se pode desperdiçar o tempo alocado ao caminho crítico, pois qualquer atraso acarretará atraso no projeto – segundo passo da teoria das restrições”. Para a proteção da data de conclusão do caminho crítico, Goldratt (1998), propõe a colocação de toda a segurança no final do caminho crítico, reduzindo a duração estimada de cada

atividade e liberando tempo suficiente para a criação de um “pulmão do projeto”²³⁸.

A Figura 2.91 mostra a solução inicialmente encontrada por Goldratt (1998), evidenciando o caminho crítico original e o mesmo com o pulmão do projeto, considerando a duração de cada atividade, reduzida a um terço²³⁹, e a solução em que a duração de cada atividade, foi reduzida para 50% da duração original, com o pulmão do projeto sendo calculado tendo em vista a metade do valor cortado.

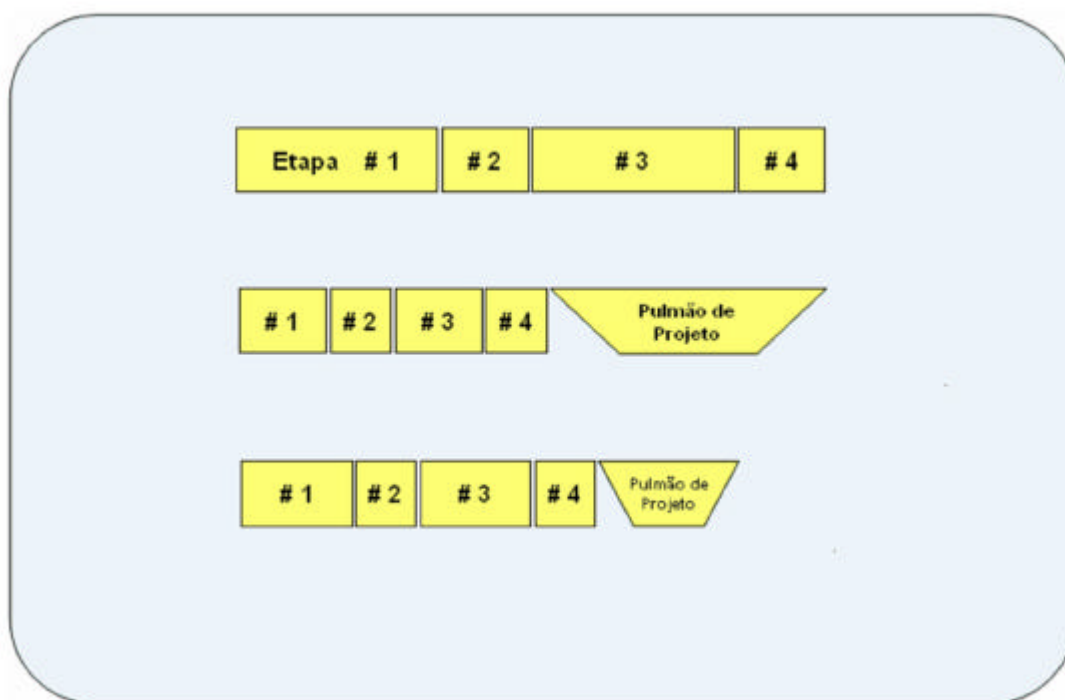


Figura 2.91 – Pulmão do projeto.

Fonte - Goldratt (1998, p. 165).

Leach (2000) comenta que a concentração da contingência em um pulmão traz duas vantagens significantes:

- ✓ Um plano mais curto, pois é um fato matemático que a variância de uma série de distribuições independentes é a soma de cada elemento da série. A variância é o quadrado do desvio-padrão, e este é proporcional à quantidade de variação de uma atividade. Em outras

²³⁸ Project buffer, no original. O grifo é nosso.

²³⁹ Decorrente da segurança de 200% colocada em cada atividade.

palavras, a incerteza em uma série de atividades é a raiz quadrada da soma dos quadrados dos desvios individuais. Portanto, quando a reserva para a incerteza é colocada em cada atividade, esta reserva será somada no caminho, por outro lado, quando retiramos essas reservas de cada atividade e as colocamos no final do caminho crítico, elas são somadas como a raiz quadrada da soma de quadrados, originando um valor muito menor [...]. A Figura 2.92 ilustra o funcionamento dos pulmões;

- ✓ Segundo o teorema do limite central a distribuição de amostras de uma série de distribuições independentes se aproxima de uma distribuição normal. A distribuição normal é uma distribuição simétrica, não possuindo a cauda longa à direita, que as distribuições das atividades individuais podem ter. Isto significa que a concentração da contingência ao final de um caminho reduz a probabilidade que ele será excedido por um grande valor.

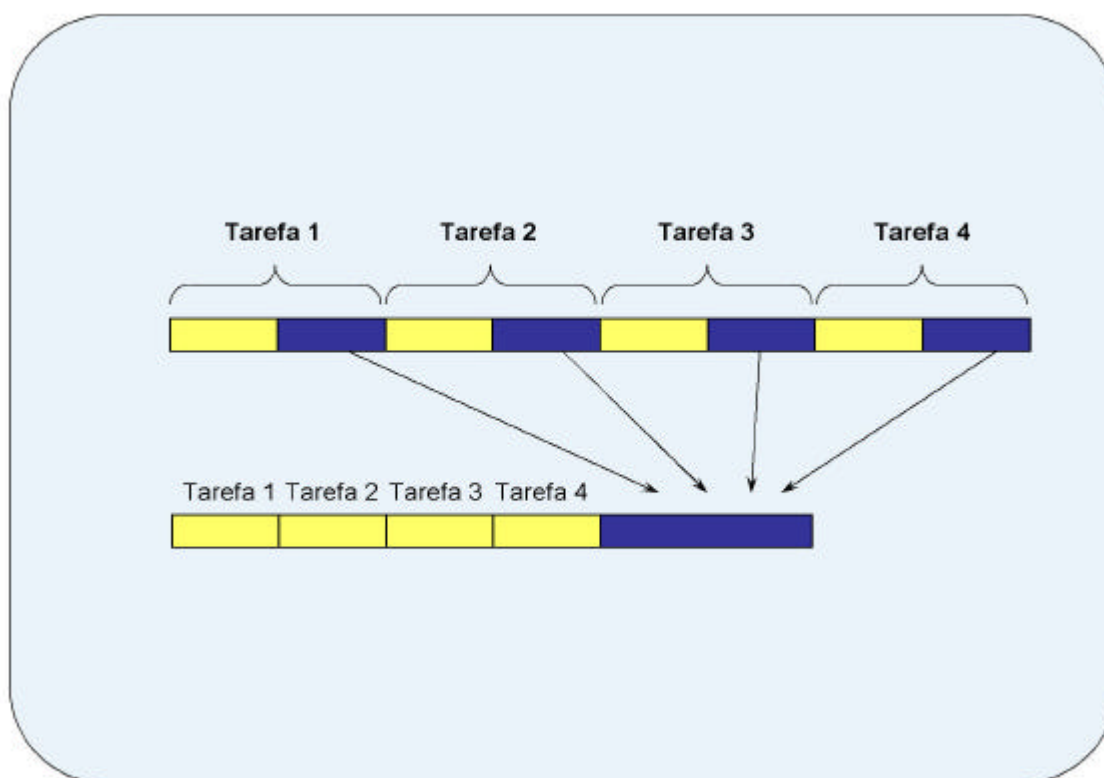


Figura 2.92 – A concentração da contingência ao término do caminho demanda um prazo total menor.

Fonte - Leach (2000, p. 92).

Leach (2000, p. 92) afirma que “uma parte principal da direção da solução proposta por Goldratt é a utilização, na elaboração do plano, da média da duração das atividades e a adição de um pulmão, ao final do plano, para a contingência global do projeto”.

Ainda conforme a teoria das restrições deve-se subordinar tudo mais à restrição – terceiro passo da teoria das restrições. Goldratt (1998) explica a necessidade de proteção do caminho crítico, a restrição do projeto, de problemas que poderão ocorrer em caminhos não-críticos criando o “pulmão de convergência²⁴⁰”. Esse pulmão é criado nos pontos de junção de outro caminho com o caminho crítico, conforme Figura 2.93, com a função de proteger o caminho crítico de atrasos ocorridos nesses caminhos não-críticos. Quando os problemas ocorridos nos caminhos não-críticos causarem um atraso maior que o pulmão de convergência, a data de conclusão do projeto ainda estará protegida pelo pulmão do projeto. Em cada caminho não-crítico, reduz-se metade da duração estimada para cada atividade e metade dessa duração cortada será usada como um “pulmão de convergência”.

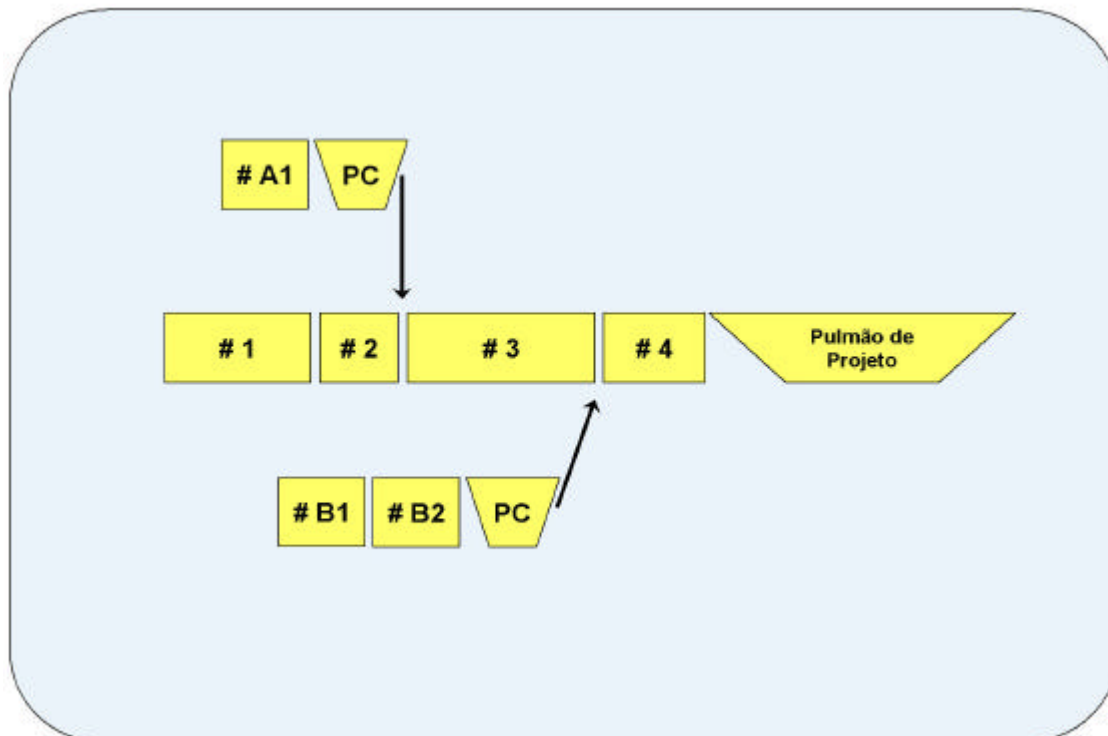


Figura 2.93 – Pulmão de convergência.

Fonte - Goldratt (1998, p. 167).

²⁴⁰ *Feeding buffer*, no original.

Leach (2000) propõe que seja utilizado em cada atividade 50% de sua duração estimada, e para cálculo dos pulmões seja aplicado o método da raiz quadrada da soma dos quadrados, que é do que o desvio-padrão do caminho considerado. Esta mesma solução é aplicada aos pulmões de convergência, cuja função é a de proteger a corrente crítica de atrasos que acontecem nos caminhos convergentes.

O modelo proposto por Goldratt (1988) foi testado em diversos projetos sem apresentar problemas, até que foi identificado que o caminho crítico de um dos projetos sofria alterações freqüentemente, por causa da indisponibilidade de recursos nos caminhos não-críticos, impossibilitando à execução de uma atividade de um caminho não-crítico, pois o recurso estava sendo utilizado em outro caminho não-crítico que também estava atrasado (Figura 2.94). Como solução estabeleceram-se dependências entre as atividades realizadas pelo mesmo recurso, pois este recurso possui uma capacidade limitada, não podendo, conseqüentemente, executar as atividades em paralelo, havendo portando a necessidade de seqüenciá-las, em vez de executá-las paralelamente.

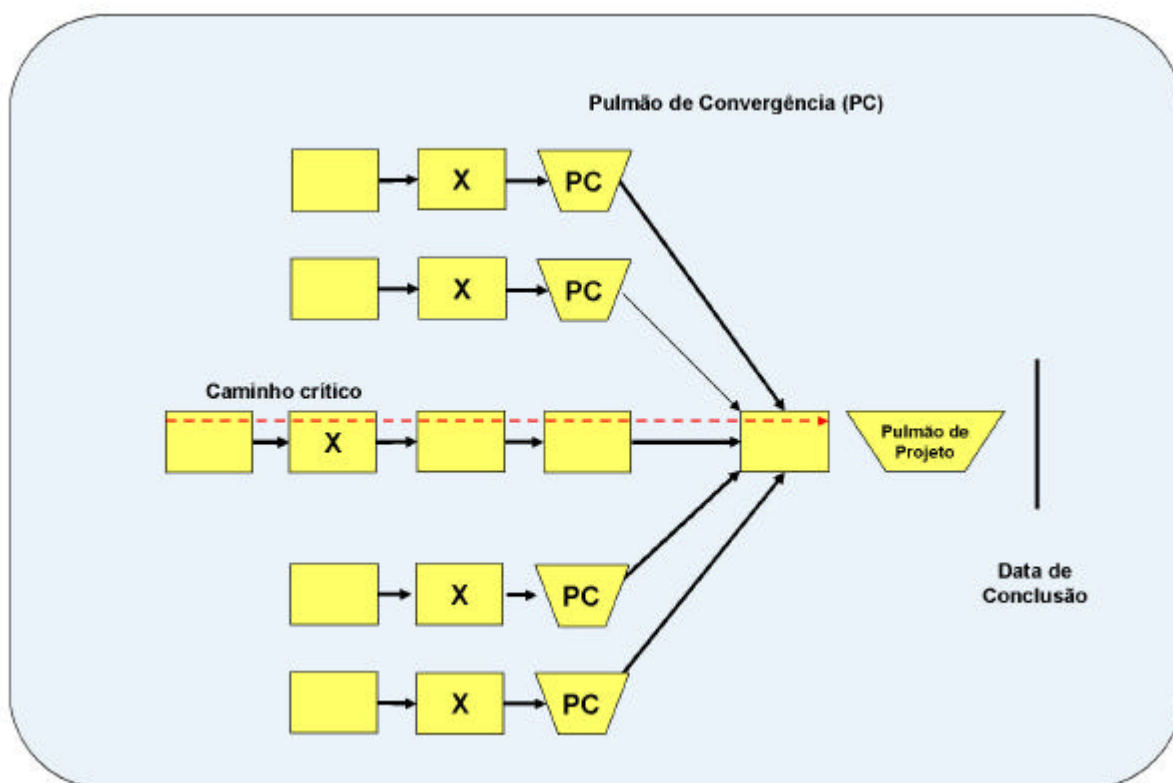


Figura 2.94 - Restrição de recursos.

Fonte - Goldratt (1998, p. 224).

Conforme Leach (2000, p. 92), “a eliminação das contingências das estimativas das atividades individuais e controlá-las no nível do projeto (caminho ou corrente) resolvem diretamente os dois primeiros conflitos, que conduzem ao conflito principal, não solucionando o problema das multitarefas²⁴¹”.

As metodologias atuais de gerenciamento de projeto iniciam o cálculo através do diagrama de rede, com o método do caminho crítico, interligando as atividades do projeto através de uma rede lógica, calculando o prazo mais longo, sem considerar a limitação de recursos, para somente então considerar a limitação dos recursos disponíveis para o projeto. A alocação de recursos é realizada por meio de vários algoritmos, normalmente, primeiro alocando recursos às atividades do caminho crítico, e posteriormente nos caminhos com durações próximas ao caminho crítico, considerando primeiro as atividades que possuem as menores folgas totais. Nem sempre esta solução conduz a uma programação otimizada. As pessoas sugerem diversas heurísticas de nivelamento, e os softwares fornecem um grande número de configurações. Leach alega que a única maneira de otimizar estas opções é através de tentativa e erro²⁴², concluindo que a corrente crítica resolve o dilema (LEACH, 2000).

Goldratt (1998) destaca que, baseado na teoria das restrições, o que deve ser levado em consideração é a restrição do projeto, que é a corrente mais comprida de atividades dependentes. Esta corrente pode ser decorrente do caminho mais longo, o **caminho crítico**, ou também pode ser resultado de um recurso, a **corrente crítica**. A seqüência de programação do recurso, na maioria dos casos, não faz diferença substancial em função das incertezas embutidas no problema, não existindo, portanto, uma forma clara de se decidir à seqüência.

O parâmetro razoável para a incerteza do projeto é o pulmão do projeto, pois é nele que são “amortecidos” os efeitos acumulados de todas as incertezas, mas também deve ser considerada a contenção de recursos, pois elas podem ser muito grandes em relação ao pulmão de convergência, fazendo com que a corrente crítica seja bem diferente do caminho crítico. Ainda baseado na teoria das restrições, como a restrição do projeto passou a ser a corrente crítica, torna-se necessário mudar os

²⁴¹ Tradução própria.

²⁴² O grifo é nosso.

pulmões de convergência, cuja função é proteger a restrição do projeto, conforme apresentado na Figura 2.95.

Goldratt (1998) enfatiza que as dependências entre atividades podem ser resultantes de um caminho decorrente de uma lógica física e/ou discricionária, ou resultado de um recurso comum. Este caminho decorrente da dependência dos recursos é chamado de **corrente crítica** (Figura 2.95).

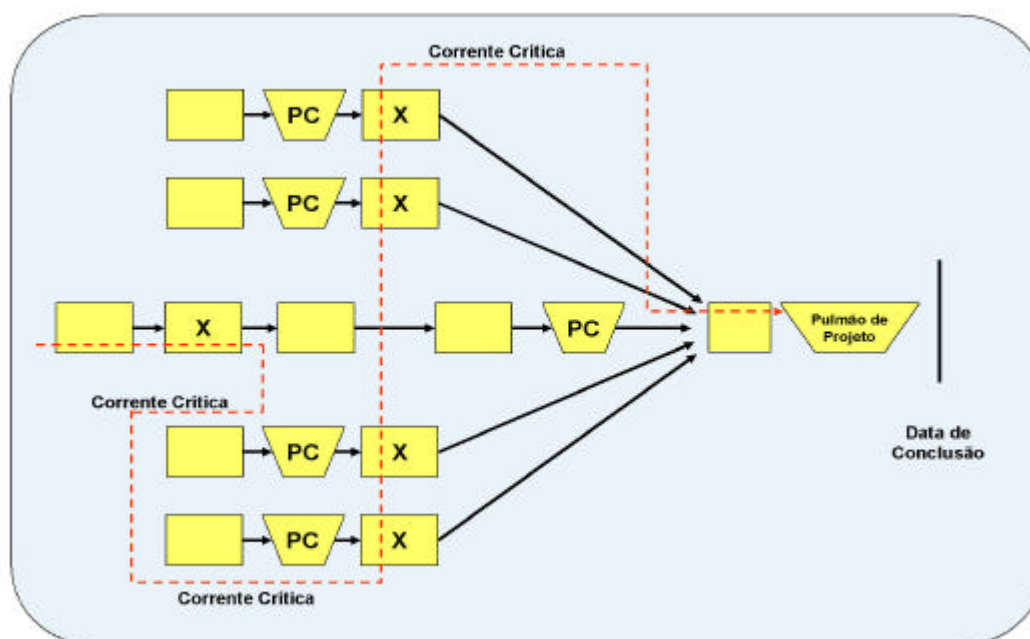


Figura 2.95 – Corrente crítica.

Fonte - Goldratt (1998, p. 229).

Portanto, a corrente crítica é definida como a mais longa das seqüência de atividades considerando as dependências entre atividades e as dependências de recursos.

2.2.9.4 Principais características da corrente crítica

Leach (2000) apresenta na Figura 2.96 as principais características do método da corrente crítica, que satisfazem os requisitos funcionais de um sistema de gerenciamento de projetos.

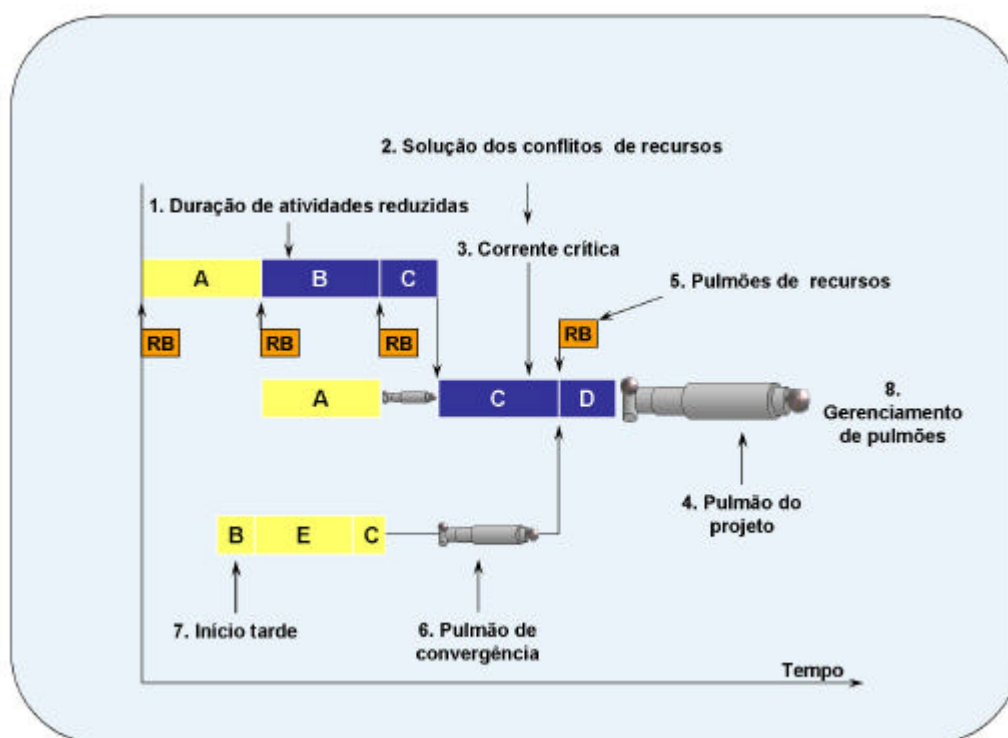


Figura 2.96 – Principais características da corrente crítica.

Fonte - Leach (2000, p. 105).

Segundo Leach (2000, p. 104), as principais características do método da corrente crítica são:

- ✓ Definir a corrente crítica como sendo o caminho mais longo do projeto, considerando tanto a lógica das atividades quanto a restrição de recursos;
- ✓ Remover a contenção de recursos do plano do projeto antes de selecionar a corrente crítica;
- ✓ Desenvolver o plano com estimativas de duração das atividades – 50-50, (retirando 50% da duração de cada atividade, sendo 25% deste valor deverá ser alocado aos pulmões), agregando as incertezas em pulmões²⁴³, localizados no final da corrente das atividades;
- ✓ Proteger os caminhos que convergem ao caminho crítico com os pulmões de convergência²⁴⁴;

²⁴³ *Project buffer*, no original. Representado como amortecedor.

²⁴⁴ *Feeding buffers*, no original

- ✓ Adicionar os pulmões de recursos²⁴⁵ para assegurar que os recursos da corrente crítica estarão disponíveis quando necessário;
- ✓ Utilizar os pulmões do projeto e de convergência como medidas para controlar o desempenho do projeto.

Para a utilização eficiente do CCPM, segundo Leach (2000, p. 105) tornam-se necessárias quatro mudanças de comportamento:

- ✓ A alta administração precisa encorajar a utilização de estimativas 50-50, mas é de primordial importância que não haja pressão sobre as pessoas que vão executá-las;
- ✓ A alta administração precisa possibilitar às pessoas focalizarem uma atividade por vez;
- ✓ Os recursos precisam focalizar uma atividade por vez e liberar os resultados, o mais cedo possível, assim que a atividade estiver concluída;
- ✓ Todos precisam usar o plano e os relatórios dos pulmões, a fim de decidir qual trabalho deve ser realizado em seguida.

O PMI® indica os seguintes passos para a aplicação do método:

1. Construir o diagrama de rede usando, para as durações das atividades, estimativas não-conservadoras;
2. Calcular o caminho crítico;
3. Entrar com a disponibilidade de recursos e gerar uma programação com limitação de recursos²⁴⁶;
4. Recalcular o caminho crítico, resultando em uma programação que normalmente terá um caminho crítico alterado em relação à programação inicial;
5. Determinar os pulmões do projeto;
6. Inserir os pulmões no diagrama de rede;
7. Gerar uma programação considerando as datas mais tarde, possíveis, de início e término;

²⁴⁵ *Resource buffers*, no original

²⁴⁶ *Resource-limited schedule* no original.

8. Gerenciar as durações dos pulmões e os recursos designados às atividades.

2.2.9.5 Dimensionamento e gerenciamento dos pulmões

2.2.9.5.1 *Dimensionamento dos pulmões*

A seguir serão apresentados alguns critérios para dimensionamento do pulmão do projeto e dos pulmões de convergências.

Salienta-se que os diversos autores pesquisados não apresentam nenhuma sustentação teórica ou prática para as arbitragens que estabelecem no dimensionamento dos pulmões.

O modelo apresentado por Goldratt (1998) propõe que a duração de cada atividade seja reduzida pela metade (50%). O pulmão do projeto é calculado considerando 100% da proteção removida das atividades do caminho crítico. GOLDRATT apresenta uma segunda alternativa em que o pulmão do projeto é calculado considerando 50% da proteção removida das atividades do caminho crítico. Os pulmões de convergência são calculados considerando 50% da proteção removida em cada caminho não-crítico que se junta (converge) ao caminho crítico.

Leach (2000, p. 167) comenta que o método proposto pelo Goldratt normalmente gera grandes pulmões, sugerindo a aplicação do método do desvio-padrão, em que os pulmões (do projeto e de convergência) são calculados através da raiz quadrada da soma dos quadrados dos desvios de cada atividade que compõe o caminho considerado. Simplificando o modelo, LEACH estabelece que o desvio-padrão de cada atividade seja igual à diferença entre a duração original da atividade e a estimativa reduzida (50% da duração original). Como restrição, ele estabelece que a duração do pulmão de convergência deve ser igual ou maior que a duração da maior atividade do caminho considerado.

Kerzner (2006, p. 919) recomenda que, “ao se usar a corrente crítica, deve-se iniciar com a melhor programação possível, realizada na forma tradicional, para então

reduzir a duração das atividades pela metade, e considerar a metade deste valor, portanto 25% da duração original, como uma proteção a ser colocada estrategicamente no projeto, como um pulmão do projeto, e também, como pulmões de convergência”.

Kerzner (2006, p. 920) sugere que “o pulmão do projeto e os pulmões de convergência sejam calculados como uma porcentagem, 30 a 50%, da duração da corrente crítica, para pulmão do projeto. Para os pulmões de convergência deve ser aplicado o mesmo percentual nos caminhos que convergem para a corrente crítica”.

2.2.9.5.2 Gerenciamento dos pulmões

Segundo Leach (2000), o CCPM utiliza os pulmões, isto é tempo, para medir o desempenho da corrente de atividades. Conforme foi salientado anteriormente, o evento de término do pulmão do projeto é uma data fixada, isto é, a data de conclusão do projeto. Para o propósito de gerenciamento dos pulmões, devemos também fixar o término dos pulmões de convergência. Com isto pode-se determinar a penetração do pulmão de projeto, verificando-se para cada atividade da corrente (atividade concluída, em andamento e planejada), sua duração real e/ou, quando ela será concluída. Utilizando-se o diagrama de rede, através do passo para frente²⁴⁷, pode-se, em função das estimativas de durações das atividades, calcular as datas de término das atividades e conseqüentemente do caminho, e determinar quanto da duração do pulmão (a penetração do pulmão), deverá ser usada, a fim de que o projeto seja concluído na data pré-estabelecida.

O dimensionamento do tamanho dos pulmões está baseado no comprimento da corrente de atividades, utilizando-se a incerteza nas durações das atividades da corrente crítica, para calcular o pulmão do projeto. Da mesma forma, as incertezas nas durações das atividades das correntes de convergência determinam as dimensões de cada um dos pulmões da corrente crítica de convergência CCFB²⁴⁸, possibilitando, em função da dimensão estimada do pulmão e de sua penetração, o

²⁴⁷ Forward pass, no original.

²⁴⁸ CCFB: critical chain feeding buffer, no original.

estabelecimento de ações. Segundo Leach (2000, p.118), foram estabelecidos três níveis de decisões, que são medidos em dias, para efeito do dimensionamento dos pulmões:

- ✓ Dentro do primeiro terço do pulmão > Sem ação;
- ✓ Penetração no terço intermediário do pulmão > Avaliação do problema e planejamento da ação;
- ✓ Penetração no terço final > Implemente a ação.

Essas medições são aplicadas tanto para o pulmão do projeto como para os pulmões de convergência. A Figura 2.97 apresenta um exemplo do uso dos pulmões. Os Xs correspondem a três quantidades potenciais de penetração nos pulmões, conforme critério apresentado acima.

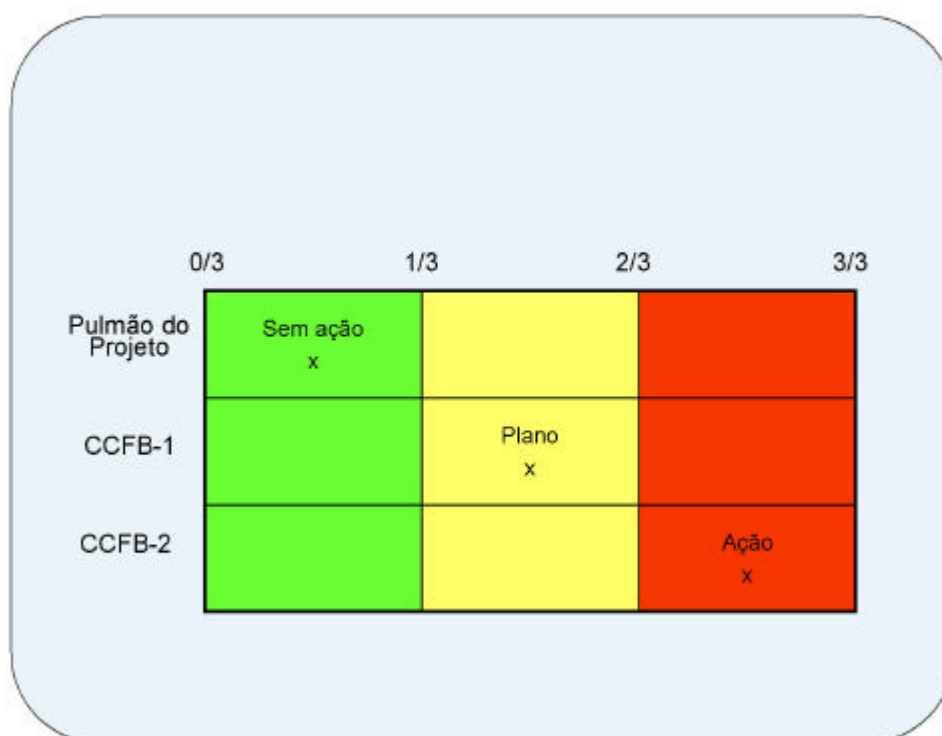


Figura 2.97 – Penetração nos pulmões.

Fonte - Leach (2000. p. 119).

A equipe do projeto deve monitorar, em intervalos apropriados compatíveis com o ciclo de vida do projeto, o pulmão do projeto e cada pulmão de convergência. As medições periódicas podem ser colocadas, conforme mostrado na Figura 2.98, em um gráfico com funcionalidades similares ao gráfico de controle, podendo ser usado com regras similares, como, por exemplo, qualquer penetração na zona vermelha

requer ação imediata ou quatro pontos sucessivos de tendências, em uma mesma direção, requer ação imediata.

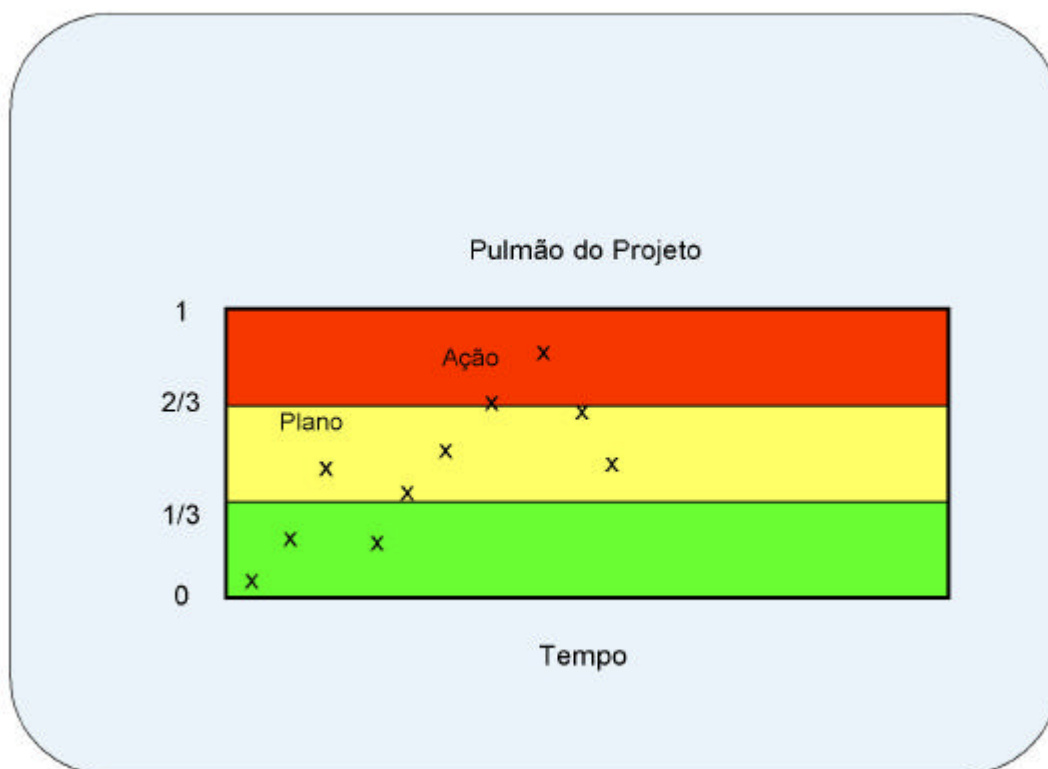


Figura 2.98 – Gráfico de controle evidenciando as tendências de penetração dos pulmões.

Fonte - Leach (2000, p. 120).

2.2.9.5.3 Softwares para a corrente crítica

Existem diversos softwares disponíveis para serem utilizados com a corrente crítica, e diversos em fase de desenvolvimento. Atualmente os softwares mais utilizados são o ProChain[®], um add-on no Microsoft Project e o Concerto[®].

Conforme já mencionado anteriormente, Leach (2000) salienta que os softwares utilizados com a metodologia do caminho crítico também podem ser utilizados para a corrente crítica.

2.3 GERENCIAMENTO DE RISCO EM PROJETOS

2.3.1 Método de Monte Carlo

Na iminência de decidir sobre investir ou não em um empreendimento, os analistas, executivos, ou mesmo os acionistas de uma empresa, devem se concentrar não apenas em estimar os retornos do investimento, mas se deparam também com a necessidade de avaliar os riscos aos quais o empreendimento está exposto, sejam eles oriundos de fontes internas ou externas, e como tais riscos podem afetar os retornos estimados. Neste contexto, diversos métodos foram desenvolvidos para analisar e estabelecer expectativas de comportamento de um dado empreendimento em face de condições de mitigar os riscos. O gerenciamento de risco pressupõe o controle de determinadas variáveis que podem desencadear situações de riscos, entre eles, se destaca a simulação de Monte Carlo.

A rigor, a simulação de Monte Carlo consiste em um experimento de amostragem, cujo objetivo principal está em estimar o comportamento de uma variável de resultado, que depende de outras variáveis aleatórias. Brealey; Myers²⁴⁹ (apud Ligo, 2003) consideram a simulação de Monte Carlo como uma extrapolação da lógica da análise de cenários. A simulação de Monte Carlo consiste em combinar valores das variáveis principais, de forma automática e aleatória, geralmente com o auxílio de modelagens de operações e de ferramentas de software que, por conseguinte, geram uma grande quantidade de cenários, automaticamente.

Neste processo, ao invés de estimar cenários, o analista do projeto arbitra o comportamento estocástico de cada fonte de incerteza. A partir daí, o software se encarrega de gerar amostras das variáveis, com base em suas distribuições, e calcula o resultado do modelo baseado nestas amostras. Este processo de amostragem aleatória e cálculo do resultado é repetido automaticamente por centenas ou milhares de vezes, de modo a simular o comportamento da variabilidade do resultado do projeto, com base nas distribuições de probabilidades

²⁴⁹ BREALEY, Richard A. e MYERS, Stewart C., *Principles of Corporate Finance*, 6th Edition, Irwin McGraw-Hill, 2000.

das variáveis – onde, na verdade, estão implícitas as incertezas do projeto (BREALEY; MYERS²⁵⁰ apud LIGO, 2003).

2.3.1.1 Histórico da Simulação de Monte Carlo

De acordo com Vose²⁵¹, Evans e Olson²⁵² (apud Ligo, 2003) e Schuyler (2001), o termo “simulação de Monte Carlo” tem sua origem no projeto norte-americano da bomba atômica, conduzido durante a 2ª Guerra Mundial. Este termo era o codinome das simulações computacionais da fissão nuclear. Tal nome foi escolhido devido à semelhança do experimento com os jogos de azar, existentes principalmente nos famosos cassinos de Mônaco.

O nome, e o desenvolvimento sistemático dos métodos de Monte Carlo, datam aproximadamente de 1944, porém há registros anteriores a esta data, de técnicas semelhantes (LIGO, 2003).

A simulação de Monte Carlo, como conhecida atualmente, tem suas origens no trabalho do matemático polonês Stanislaw Ulam. Ulam emigrou para os EUA nos anos 30 e construiu sua carreira em Harvard, no projeto da bomba atômica de Los Alamos, e na Universidade de Southern California. Em parceria com o famoso matemático John von Neumann, Ulam desenvolveu um método para simular processos matematicamente, com várias repetições (iterações), alterando aleatoriamente as variáveis do modelo em cada repetição, para observar a faixa de resultados possíveis (GEER²⁵³ apud LIGO, 2003).

Na pesquisa aplicada ao projeto da bomba atômica na 2ª Guerra Mundial, Ulam e von Neumann utilizaram a simulação para analisar problemas estatísticos, inerentes

²⁵⁰ BREALEY, Richard A. e MYERS, Stewart C., *Principles of Corporate Finance*, 6th Edition, Irwin McGraw-Hill, 2000.

²⁵¹ VOSE, David. *Quantitative risk analysis: a guide to Monte Carlo simulation modelling*. Chichester: John Wiley, 1996.

²⁵² EVANS, James e OLSON, David. *Introduction to Simulation and Risk Analysis*. Prentice Hall, 1998.

²⁵³ GEER, Carolyn T. *Factoring Uncertainty into Retirement Planning: The Monte Carlo Method*. Fortune, January 1999.

à fissão nuclear. No entanto, o desenvolvimento sistemático de suas idéias só veio a se consolidar no trabalho de Harris e Herman Kahn em 1948 (PLLANA²⁵⁴ apud LIGO, 2003).

Segundo Vose (2005), um dos exemplos mais antigos do uso do método de Monte Carlo foi no famoso problema da agulha de Buffon onde as agulhas eram fisicamente arremessadas aleatoriamente em um campo demarcado para estimar o valor de π . No começo do século 20 o método de Monte Carlo foi também usado para determinar a equação Boltzmann e em 1908 o famoso estudioso de estatística (W.S. Gossett) usou o método de Monte Carlo para estimar o coeficiente de correlação na sua distribuição t .

2.3.1.2 Modelos e simulação

Segundo Anderson; Sweeney; Williams (2003), a simulação é uma das abordagens mais amplamente usadas para a tomada de decisão. É um método para aprender sobre o possível comportamento de um sistema real experimentando com um modelo que representa o sistema.

Genericamente, pode-se admitir que um modelo seja desenvolvido (ou estruturado) a partir de um cenário básico ou referencial, o que permite a formulação de um conjunto de equações que representem o comportamento do sistema (ou negócio) sob estudo ao longo de um determinado ciclo de vida ou de operações.

Este conjunto de equações, que representam o comportamento do sistema, é que se denomina modelo. Para simular seu comportamento o cenário básico é composto por um conjunto de variáveis de entrada e de saída e parâmetros.

Entende-se por parâmetros aqueles aspectos de balizam o comportamento do modelo. Por exemplo, em um modelo de um negócio, a Taxa de Atratividade ou o Custo de Oportunidade são parâmetros que balizam o comportamento do modelo.

Já as variáveis representam o relacionamento do modelo com o mundo exterior. As

²⁵⁴ PLLANA, Sabri. *History of Monte Carlo Method*. Disponível em: <<http://stud4.tuwien.ac.at/~e9527412/>>. Acesso em: 03 de junho de 2003.

variáveis de entrada representam os dados que alimentam o modelo. Por exemplo, em um modelo de um negócio, a velocidade e volume de vendas são variáveis de entrada, enquanto que seu resultado financeiro (mensal ou anual) e sua taxa de retorno são variáveis de saída que representam o possível desempenho do modelo face ao comportamento das variáveis de entrada e aos seus parâmetros gerais.

Na condução de uma simulação, cabe ao analista arbitrar valores para os parâmetros do cenário bem como para as variáveis de entrada para as quais foi estabelecido um comportamento determinístico. Já para as variáveis cujo comportamento foi assumido como sendo probabilístico, cabe ao analista estabelecer os padrões de comportamento ou seja as curvas de distribuição de probabilidades. Para as variáveis de comportamento estocástico há que se estabelecer os intervalos de variação admitidos como limites de ocorrência de valores aleatórios. Raras são as simulações para as quais não há necessidade de se arbitrar este intervalo de ocorrência.

Um processo estocástico representa uma generalização da noção de um experimento aleatório, que simultaneamente generaliza a noção de uma variável aleatória com o que é referenciado como uma função aleatória.

Nos modelos de simulação de Monte Carlo, são realizadas premissas quanto à incerteza das entradas principais. Essas incertezas são caracterizadas especificando distribuições de probabilidades para as entradas do modelo, sendo que a escolha da distribuição apropriada pode ser feita através da análise empírica ou dados históricos. Quando tais dados não são disponíveis, o modelador deve escolher uma distribuição apropriada (uniforme, normal, triangular, exponencial, log normal, etc.), arbitrando seus parâmetros (EVANS; OLSON, 2002).

Na distribuição uniforme todos os valores, situados entre um mínimo e um máximo, ocorrem com a mesma probabilidade. Já na distribuição triangular é estabelecida uma distribuição onde são conhecidos três valores (mínimo, máximo e mais provável), onde os valores próximos aos valores fixados como mínimo e máximo, possuem uma menor probabilidade de ocorrência do que os situados em torno do valor mais provável (Crystal Ball, 2000).

Conduzindo uma série de experimentos, usando uma variedade de valores para as variáveis de entrada, o analista aprende quanto à expectativa de comportamento

que pode ser esperada para o quais valores das entradas controláveis afetam ou alteram o resultado do modelo da simulação. Após analisar os revisar os resultados da simulação, o analista deverá estar em condições de estabelecer padrões de comportamento quanto ao negócio, empreendimento ou sistema sob análise e auxiliar no processo de tomada de decisão quanto a tomar o risco de um determinado negócio, as diretrizes para o gerenciamento da implantação ou operação de um dado empreendimento ou sistema.

Segundo Schuyller (2001) a simulação depende de dois elementos essenciais: um modelo que realiza a projeção dos resultados do projeto e seus valores e uma técnica que repetitivamente gera cenários, em resposta à alimentação de amostragens aleatórias ou estocásticas de distribuições probabilísticas.

A simulação tem sido aplicada de forma bem sucedida em uma variedade de aplicações. Os seguintes exemplos são típicos:

- ✓ Desenvolvimento de um novo produto;
- ✓ Agendamento de vôos;
- ✓ Inventário diplomático;
- ✓ Fluxo do tráfego;
- ✓ Análises de negócios;
- ✓ Planejamento de empreendimentos;
- ✓ Filas de espera.

A simulação não é uma técnica de otimização. É um método que pode ser usado para descrever expectativas quanto a como um sistema irá operar, dadas certas arbitragens para suas entradas. Os modelos na área do gerenciamento tomam muitas formas diferentes. Alguns modelos são prescritivos, o que quer dizer, eles determinam uma política. Os modelos de programação lineares são prescritivos porque a solução para um programa linear sugere o melhor rumo da ação que uma pessoa que faz decisões deveria tomar. Outros modelos são descritivos; eles simplesmente descrevem os relacionamentos e fornecem informação para avaliação. Os modelos de fila, que fornecem medidas do desempenho do sistema tal como o número médio e o tempo de espera médio, são um exemplo dos modelos descritivos (EVANS; OLSON, 2002).

Os modelos podem também ser deterministas ou probabilísticos. Em um modelo determinista, todos os dados são conhecidos, ou supostos serem conhecidos, com certeza. Já para modelos probabilísticos, o comportamento de suas variáveis de entrada é arbitrado através da seleção de curvas de distribuição probabilística que melhor representem seu comportamento (EVANS; OLSON, 2002).

Finalmente, segundo Evans e Olson (2002), os modelos podem ser discretos ou contínuos. Na programação matemática, esta dicotomia se refere aos tipos de variáveis no modelo. Por exemplo, os modelos de programação linear são contínuos; os modelos de programação inteira são discretos. Ele pode também se referir como as variáveis do modelo mudam ao longo do tempo.

2.3.1.3 Geração numérica aleatória

Segundo Evans e Olson (2002), a habilidade de gerar um curso de números aleatórios independentes é crucial para o sucesso dos estudos de simulação. Algumas das tentativas recentes para gerar números aleatórios incluíram o uso de um contador Geiger para contar o número de raios em uma curta duração de tempo ou para confiar no relógio interno do computador para gerar uma seqüência aleatória. Os métodos em uso hoje se concentram em algoritmos matemáticos simples que geram um novo número aleatório a partir do anterior. Embora um algoritmo matemático seja determinista (significando que é possível prever o próximo número no curso se o algoritmo é conhecido), a seqüência de números aleatória parece ser aleatória. Isto significa que eles possuem três propriedades importantes:

- ✓ Todos os números são uniformemente distribuídos entre 0 e 1, sendo portanto equiprováveis, significando que há a mesma probabilidade de que qualquer número ocorra em qualquer ponto da seqüência;
- ✓ Os números no curso não possuem correlação serial. Os números devem ser independentes, significando que uma vez que um número tenha sido escolhido, isto não afeta a probabilidade de ser escolhido novamente ou a de outro número a ser selecionado;
- ✓ O curso do número aleatório possui um ciclo longo (que quer dizer, o

comprimento do curso do número aleatório antes de algum número repete por si mesmo).

Muitos algoritmos para geração de números aleatórios foram projetados. Uma das primeiras abordagens que foi desenvolvida foi denominada de técnica do quadrado médio. Este método toma um número, chamado de número aleatório semente – porque ele inicia o curso de números aleatórios – o eleva ao quadrado, e então toma o grupo de dígitos médios como o próximo número aleatório. Por exemplo, suponha que seja usado o número 7143 como a semente. O quadrado de qualquer número de 4 dígitos irá resultar em um número de no máximo 8 dígitos, surgindo a necessidade de sempre adicionar zeros para criar um número de 8 dígitos. Além disso, os dígitos posicionados nos 3º, 4º, 5º e 6º caracteres desse número de 8 dígitos, representam o grupo médio de 4 dígitos. A seqüência de números aleatórios que seriam gerados está mostrada em negrito abaixo:

$$7143^2 = 51\mathbf{0224}49$$

$$0224^2 = 00\mathbf{0501}76$$

$$0501^2 = 00\mathbf{2510}01$$

$$2510^2 = 06\mathbf{3001}00$$

$$3001^2 = 09\mathbf{0060}01$$

A técnica de quadrado médio foi um dos primeiros métodos numéricos para gerar números aleatórios reprodutíveis nos computadores iniciais. O número aleatório semente determina a seqüência de todos os números aleatórios subseqüentes no curso, eliminando a necessidade de registrá-los. Mas esta abordagem também possui uma limitação, pois continuando a seqüência iniciada acima obtem-se:

$$0060^2 = 00\mathbf{0036}00$$

$$0036^2 = 00\mathbf{0012}96$$

$$0012^2 = 00\mathbf{0001}44$$

$$0001^2 = 00\mathbf{0000}01$$

$$0000^2 = 00\mathbf{00000}$$

Depois disto, o resto do curso de números aleatórios é tristemente previsível. Quando o curso converge para um valor constante (freqüentemente 0) ou para um pequeno ciclo de valores, o curso é basicamente inútil como um gerador de números aleatórios.

3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

3.1 PANORAMA DAS EMPRESAS DE ENGENHARIA BRASILEIRA

Hoje ninguém ignora que o estágio de desenvolvimento de um país se mede pelo nível de investimentos em pesquisa e domínio de tecnologias avançadas, essenciais para o intercâmbio e cooperação técnica recíproca com outros países, permitindo o equilíbrio na competição mundializada. Nada obstante a interdependência dos países no que respeita às diferentes tecnologias em franco e acelerado desenvolvimento, a minimização da dependência tecnológica de uma nação é um fator obrigatório da preservação de sua independência política e econômica, devendo, portanto constituir-se em objetivo nacional permanente.

A engenharia consultiva tem um valor muito elevado, sobretudo nos contratos regidos pela modalidade EPC, pois o melhor preço nem sempre será o menor, se este corresponder a fornecimentos de bens e serviços de qualidade insuficiente para a garantia de bom desempenho e segurança do empreendimento. Portanto, a engenharia consultiva é de vital importância nos processos de aquisição de bens e serviços de qualidade assegurada pelo menor preço, assumindo os processos de procura, compra, inspeções, testes de qualidade, logística, transporte, recebimento e armazenamento.

De acordo com Vian (2006, p. 2), “a engenharia consultiva é um setor estratégico de alta importância [...], entretanto, as empresas consultoras constituem um setor de elevado capital intelectual, mas economicamente frágil e extremamente vulnerável financeiramente às flutuações de mercado [...]”.

Vale a pena ressaltar que na década de 1980, a chamada “Década Perdida”, por causa de reduzidos investimentos em projetos no Brasil, as atividades da engenharia consultiva foram reduzidas. Grandes firmas de consultoria e empreiteiras foram obrigadas a encerrarem suas atividades, abdicando da colaboração de engenheiros com 10, 20 até 30 anos de experiência (DÓRIA, 2006).

De maneira similar, Vian (2006) comenta que os anos 80-90 foram fortemente recessivos, acarretando o desmantelamento das equipes técnicas, reduziram-se os postos de trabalho e, conseqüentemente, ocorreram reduções de salários.

Vian (2006, p. 2) diz que:

A Engenharia Consultiva, ou Consultoria de Engenharia, é um dos suportes do patrimônio tecnológico da nação, ao lado das Universidades e Centros de Pesquisas. Os três atores formam o tripé que, se bem articulado, será capaz de conduzir um processo integrado de retomada do desenvolvimento tecnológico, com base para o desenvolvimento econômico e social do país. É um setor estratégico por lhe caber planejar, realizar estudos, definir soluções viáveis e especificar tecnologias mais adequadas, para os investimentos públicos e privados, especialmente na implantação da infraestrutura básica do país.

Como conseqüência da reativação, em curso, dos investimentos públicos e privados na ampliação dessa infra-estrutura do país, as empresas de consultoria votaram a crescer, estando fortemente envolvidas no processo de atualização e reaparelhamento tecnológico da Engenharia Brasileira. Este novo cenário brasileiro proporcionou a implantação do Projeto Turbogenerador e a realização desta dissertação.

3.2 A EMPRESA ANALISADA

A **EMPRESA A** é uma empresa nacional que atua na prestação de serviços de consultoria há aproximadamente 50 anos.

Inicialmente, voltada para as áreas de energia e saneamento, a **EMPRESA A** expandiu suas atividades para a prestação de serviços nos ramos da engenharia e da economia, de serviços de gerenciamento, consultoria e projetos em empreendimentos de infra-estrutura, incluindo gestão ambiental, bem como a representação comercial e a realização de operações mercantis, tendo inclusive adquirido o controle acionário de outras tradicionais empresas de engenharia, ampliando consideravelmente sua área de atuação e capacitação.

Nessas quatro décadas de suas trajetórias, essas empresas participaram, juntas ou isoladamente, dos estudos e desenvolvimento de vários dos principais projetos de infra-estrutura e de produção de energia no Brasil. A natureza multidisciplinar dos

serviços realizados, assim como a satisfação dos clientes com os resultados alcançados, atestam a experiência e a capacidade técnica e gerencial dos profissionais envolvidos, e em seu quadro permanente possui técnicos de experiência comprovada, alguns com 20 a 30 anos de trabalho na própria empresa. E ainda dispõe de consultores que trabalham em organismos internacionais (BIRD, BID, OMS) e consolidam o prestígio conquistado no mercado brasileiro de consultoria.

A vocação pela qualidade total é traduzida no trabalho realizado no dia-a-dia, atendendo às normas, preceitos e procedimentos qualitativos preestabelecidos, visando obter soluções confiáveis e garantidas pela tradição do grupo empresarial a que pertence, culminando com a obtenção do Certificado do Sistema de Qualidade em conformidade com a norma NBR ISO 9001 - versão 2000.

O conhecimento adquirido nos inúmeros serviços prestados e o acervo acumulado pelas empresas incorporadas capacitam a **EMPRESA A** à realização de trabalhos envolvendo as seguintes áreas de atuação:

- ✓ Industrial
- ✓ Energia
- ✓ Gerenciamento
- ✓ Recursos Hídricos
- ✓ Saneamento
- ✓ Meio Ambiente
- ✓ Transportes

A **EMPRESA A** atua desde os estudos de viabilidade até a efetiva operação dos projetos, utilizando sempre as melhores práticas de engenharia com comprometimento de cronogramas e orçamentos, tendo como objetivo garantir a qualidade e o sucesso do Projeto.

A equipe de trabalho da **EMPRESA A** é formada por engenheiros e técnicos com ampla e diversificada experiência nacional e internacional, tendo adquirido uma bagagem muito extensa de conhecimentos, habilidades multidisciplinares refletidas nos estudos e desenvolvimentos já executados para os mais importantes projetos de rodovias, ferrovias, hidrovias, metrô, complexos hidrelétricos, plantas de geração de energia, bem como projetos de meio ambiente, química, petroquímica e refinarias de petróleo.

A **EMPRESA A** também participa, por intermédio de seus profissionais no Gerenciamento de Empreendimentos de Obras Industriais, bem como no desenvolvimento de soluções específicas de engenharia, resultantes do investimento em desenvolvimento profissional e capacitação tecnológica de seus funcionários.

A **EMPRESA A** conta com aproximadamente 550 profissionais distribuídos nas Áreas de Processo, Mecânica, Tubulação, Elétrica, Civil, Instrumentação e Automação, Planejamento e Controle, Controle de Documentação e Administração.

Mantendo suas características demonstradas ao longo de sua existência, a **EMPRESA A** atua no desenvolvimento de Engenharia Básica, FEED e Engenharia de Detalhamento de Projetos em diversos segmentos de Projetos Industriais.

Acreditando no desenvolvimento do país, resolveu ampliar sua área de atuação, e assim formou uma divisão especializada voltada para a Consultoria e Engenharia em diversos setores como Mineração e Metalurgia, Óleo e Gás, Petroquímico e Químico.

Desta forma, a **EMPRESA A** atua no mercado da Engenharia Brasileira, nos setores de:

- ✓ Energia térmica;
- ✓ Mineração;
- ✓ Papel e celulose;
- ✓ Petróleo e gás;
- ✓ Petroquímica;
- ✓ Portuário;
- ✓ Química;
- ✓ Tratamento de efluentes industriais;
- ✓ Meio ambiente.

3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO

O projeto Turbogenerador trata-se de uma planta de geração de energia elétrica, com capacidade de 70 MW, constituída por uma turbina, um conjunto turbogenerador, um condensador de vapor, unidades hidráulicas e bombas de condensado. A Figura 3.1 caracteriza a configuração do projeto.

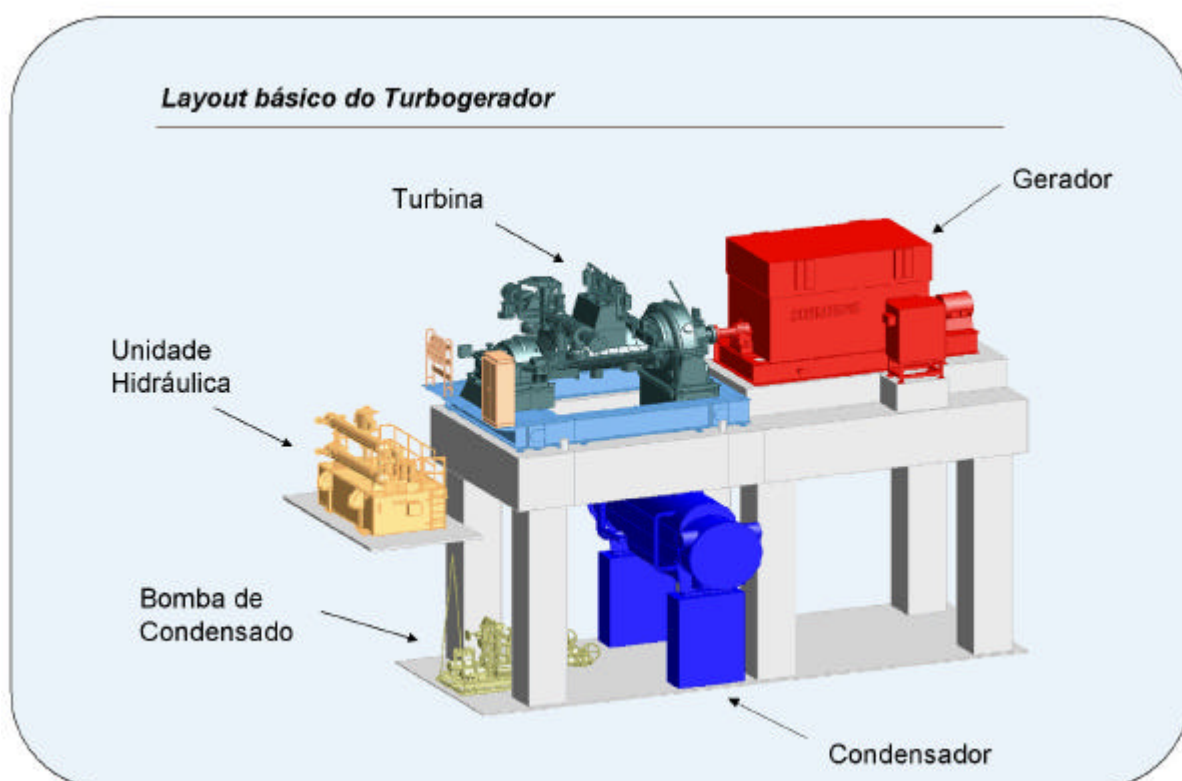


Figura 3.1 – Configuração do turbogenerador

Baseado neste caso real será realizada uma revisão conceitual de métodos de programação orientada a prazos e sua aplicação para uma análise comparativa.

3.4 CONTRATO DE ENGENHARIA, SUPRIMENTO E CONSTRUÇÃO

3.4.1 A modalidade EPC

De acordo com Vian (2006), a execução de empreendimentos públicos e privados tem sido tradicionalmente contratada diretamente pelo proprietário, segundo uma seqüência lógica de fases do ciclo de vida (estudos preliminares, viabilidade técnica, econômica e financeira, projeto básico, projeto executivo, suprimento de equipamentos e materiais, construção civil, montagem eletromecânica, etc.) a cargo de diferentes empresas ou organizações. Nessa modalidade tradicional, o proprietário é obrigado a manter um quadro próprio de profissionais para a análise dos elementos para decisão e preparo das contratações, seleção dos fornecedores de bens e serviços, administração de contratos, fiscalização, gerenciamento.

Mais recentemente, na década passada, tornou-se comum a contratação de empresa de consultoria de engenharia para o gerenciamento integral da implantação do empreendimento, ficando a cargo do proprietário o poder de decisão, baseado nas informações fornecidas pela gerenciadora. O grande “problema” nesta forma de contratação é o desempenho da gerenciadora (VIAN, 2006).

Atualmente são freqüentes contratações nas modalidades EPC (*engineering, procurement, construction*) e “turn-key”, em que, a partir de estudos e projetos conceituais, o proprietário contrata uma única organização capaz de complementar o projeto básico, desenvolver os projetos executivos ou detalhados, fornecer equipamentos e materiais, executar as obras e montagens, comissionar e testar as diversas unidades, preparar pessoal para a operação e manutenção (VIAN, 2006).

Nesta modalidade, o patrocinador do projeto costuma contratar um empreiteiro para construir as instalações do projeto. Esse empreiteiro, no jargão mais recente do setor, é chamado de **Epcista**.

Segundo Pinto (2006), os EPCs, contratos de construção de obras de grande porte, guardam, à luz do direito, pontos em comum com os contratos de empreitada global,

sendo que algumas das cláusulas-padrão dos EPCs encontram tratamento legal nas disposições dos contratos de empreitada contidas no Código Civil vigente.

As organizações capazes de atender a essa modalidade contratual normalmente se organizam em consórcios formados por empresas de engenharia (estudos, projetos, gerenciamento), de construções, fornecedores de equipamentos e outros bens e serviços (VIAN, 2006).

Vian (2006, p. 1) alerta que:

O contrato com o proprietário do empreendimento, como em todo contrato, tratará de conciliar interesses divergentes para que resultem em interesses convergentes, com o que todos ganhem. Uma das partes persegue o menor preço, com a maior qualidade e menor prazo de execução, além de esperar que as metas sejam superadas sem aumento de custos. A outra parte pretende a imposição do maior preço admissível nas condições do mercado e prazos confortáveis, dispondo-se a cumprir tão-somente as estritas obrigações quanto à qualidade e prazos, somente superando as condições inicialmente propostas mediante remuneração adicional adequada.

A vantagem dessa modalidade de contratação, para o proprietário, é restringir o gerenciamento da implantação do empreendimento com uma única interface. Porém, alerta Vian (2006, p.2) que as principais desvantagens ou riscos são:

- ✓ Menor controle do proprietário sobre a obra, com menor possibilidade de incluir alterações;
- ✓ O contratado não tem interesse em buscar soluções inovadoras vantajosas para o proprietário, já que pode representar aumento de custos sem correspondente compensação financeira;
- ✓ Possibilidade de utilização de equipamentos e materiais que atendem às especificações, mas possuem uma origem não tradicional;
- ✓ Descumprimento de cláusulas contratuais, tais como atraso de obras, podem não ser compensados pelas penalidades aplicáveis;
- ✓ As garantias financeiras na operação de financiamento são exclusivas do proprietário, que assume a total responsabilidade pelo negócio.

Esses contratos possuem uma grande importância, pois essas operações são, em quase sua totalidade, financiadas por estruturas de “*project finance*”. De acordo com essas estruturas de financiamento, os financiadores olharão sobretudo para a estabilidade e consistência do fluxo de caixa da empresa financiada. Em outras palavras, não se estará fundamentado no valor dos ativos, mas na capacidade atrelada a esses ativos de gerar receitas decorrentes da operação e manutenção do projeto. Portanto, nessa modalidade, quaisquer riscos inerentes ou relativos ao projeto assumem uma importância maior, na medida em que sua materialização fatalmente afetará a estabilidade e consistência do fluxo de caixa (PINTO, 2006).

Pinto (2006) alerta que, considerando que as operações de “*project finance*” podem ser sintetizadas como tendo como elemento dominante o exercício de identificação, avaliação e mitigação de riscos, não há como ignorar a importância desempenhada em face do patrocinador do projeto e de terceiros pelo contrato de empreitada. Esta situação torna-se mais complexa, pois embora na prática se busque sempre um contrato de empreitada global, na realidade a relação se completa de forma mista, valendo dizer que o dono da obra chama a si a responsabilidade pelo fornecimento de determinados equipamentos e materiais, enquanto o empreiteiro se encarrega do fornecimento de outros, além da prestação da mão-de-obra.

Outro aspecto importante nesta modalidade contratual é que as partes regulam minuciosamente as ordens de mudanças, não permitindo que surjam dúvidas ou dificuldades quanto à aprovação ou não de uma alteração de escopo. A necessidade de garantias é outra consideração de relevante, pois normalmente, de acordo com a nova legislação, é estabelecida em cinco anos, pois se deve lembrar que o empreiteiro foi escolhido dentre profissionais habilitados para construir uma obra de grande porte e se obrigou a entregá-la em perfeitas condições de operação e isenta de quaisquer vícios e defeitos (PINTO, 2006).

A seguir serão apresentadas as principais características do contrato do projeto exemplo, em que temos duas empresas organizadas em regime de consórcio, sendo uma delas um fornecedor de equipamentos, envolvendo fornecimento nacional e internacional, e uma empresa de engenharia que pertence a uma empreiteira. Conforme será apresentado, este contrato possui cláusulas de multas decorrentes de atraso nos prazos de fornecimento, e também decorrentes do não atendimento das especificações do projeto. Em razão desses fatos, cumpre salientar a extrema importância do gerenciamento escopo, prazos, riscos e qualidade.

3.4.2 Exemplos de cláusulas contratuais

Para exemplificar as características apresentadas acima, referentes aos contratos EPC, serão apresentadas, a seguir, algumas cláusulas do contrato existentes entre as empresas envolvidas no Projeto Turbogenerador:

- ✓ As **Empresas A e B** deverão entregar ao Cliente uma Carta de Fiança Bancária e Seguro Garantia em garantia de cumprimento ao contrato, com vigência até a data de “Aceitação Final¹ – FA”, cuja soma representa o valor correspondente a 10% (dez por cento) do preço líquido global, na participação de cada uma das Consorciadas consignadas no instrumento de constituição de Consórcio;
- ✓ Antes de assinar o Contrato, e a fim de obter uma compreensão e conhecimento da natureza e escopo do Fornecimento Contratual, e sobre as condições gerais e aparentes, predominantes e existentes, efetuou visita de campo no Local, recebeu dados meteorológicos fornecidos pelo Cliente, examinou e estudou, de forma diligente, as especificações técnicas, os desenhos e documentos relacionados ao fornecimento contratual;
- ✓ Tem habilidade e capacidade necessárias para executar e entregar o Fornecimento Contratual, realizando integralmente escopo dos trabalhos e fornecimentos de bens e serviços determinados neste contrato de maneira profissional, usando pessoal competente e qualificado, e utilizando princípios modernos de engenharia, de acordo com as práticas internacionalmente conhecidas e aceitas;
- ✓ Tem capacidade financeira para atender o cronograma financeiro, de acordo com a sua própria capacidade financeira e as linhas de crédito existentes ou outras linhas de empréstimo ou forma de capitalização, ou uma combinação destas, para cumprir com todas as obrigações previstas neste Fornecimento Contratual;
- ✓ Conhecem as condições gerais do “Local” onde o “Projeto” será implementado, bem como as condições gerais da região, e as normas públicas e/ou as particulares emitidas pelo Cliente nos Anexos N1 e N2, que integram expressamente o presente contrato, e não poderá alegar o desconhecimento das referidas normas como base para qualquer reivindicação a este contrato;

¹ Final Acceptance – FA, no original.

- ✓ O Fornecimento Contratual, quando entregue e instalado no local deverá estar em conformidade com as Especificações Técnicas, e o Fornecedor reconhece que o Fornecimento contratual não será considerado como em conformidade com as Especificações Técnicas se a Data de Aceitação Provisória² (PA) e/ou a Data de Aceitação de Planta Industrial³ (IPA) não puderem ser alcançadas como resultado de falhas ou defeitos, ocultos ou aparentes, atribuíveis à culpa do Fornecedor, no Fornecimento Contratual;
- ✓ O Fornecedor garante o Fornecimento Contratual, objeto do presente Contrato, contra projeto inadequado, defeitos de fabricação ou de materiais utilizados, ou pela qualidade de mão-de-obra ou defeitos não aparentes, pelo prazo de 24 (vinte e quatro) meses, a partir da Data ECA⁴, ou 36 (trinta e seis) meses da data de entrega do Turbogenerador, assim entendido como a entrada física no local, o que ocorrer primeiro;
- ✓ Para defeitos ocultos, comprovadamente tipificados juridicamente como defeitos ocultos, a garantia mecânica máxima será de 60 (sessenta) meses, a partir da Data do ECA, [...];
- ✓ O Fornecedor será responsável pelo pagamento de todas as franquias quando da ocorrência de sinistros verificados na obra e relacionados aos riscos de Fornecimento Contratual, independentemente de o seguro ter sido feito pelo Cliente ou pelo Fornecedor;
- ✓ Ocorrendo atraso na Data do ECA, conforme programado no Cronograma de Entrega, por culpa exclusiva do Fornecedor, este estará sujeito a pagar ao Cliente uma multa de um valor igual a 0,3% do Preço Global, por semana de atraso, observado o limite previsto;
- ✓ Ocorrendo atraso na Data do PA, conforme programado no Cronograma de Entrega, por culpa exclusiva do Fornecedor, este estará sujeito a pagar ao Cliente multa de um valor igual a 0,5% do Preço Global, por semana completa de atraso, observado o limite previsto;
- ✓ O somatório do valor total das multas por atraso supra-referidas não poderá exceder o percentual de 5% do Preço Global [...];
- ✓ As penalidades pelo não cumprimento de Performance garantida encontram-se definidas no [...].

² Provisional Acceptance – PA.

³ Industrial Plant Acceptance – IPA.

⁴ Erection Completion Acceptance – ECA.

3.4.3 O escopo geral do projeto

Foi contratado o **Consórcio AB** para fornecimento de um Sistema de Turbogeração de Energia Elétrica em regime EPC, incluindo:

- ✓ Turbogenerador a vapor de 70MW;
- ✓ Equipamentos auxiliares;
- ✓ Gerenciamento do EPC;
- ✓ Planejamento físico e controle de custos;
- ✓ Tecnologia;
- ✓ Engenharia básica;
- ✓ Engenharia de detalhamento;
- ✓ Suprimento (*procurement*) nacional e internacional;
- ✓ Fornecimento de materiais de instalação, instrumentos e válvulas de controle;
- ✓ Fornecimento de sobressalentes;
- ✓ Transporte;
- ✓ Gerenciamento da montagem;
- ✓ Montagem eletromecânica;
- ✓ Treinamento;
- ✓ Comissionamento;
- ✓ Pré-operação e partida;
- ✓ Testes de *performance* e aceitação (em conjunto com o Cliente).

Exclusões do escopo:

- ✓ Escavações;
- ✓ Interligações com a planta existente ou com novos equipamentos que não estejam no escopo de fornecimento do **Consórcio AB**;
- ✓ Válvulas by-pass;

- ✓ Coletores de vapor;
- ✓ Estudos elétricos;
- ✓ Reforços estruturais do prédio;
- ✓ Projeto de demolição, remoção e obras civis;
- ✓ Licenças municipais e ambientais;
- ✓ Sistema de detecção, alarme, proteção e combate contra incêndio;
- ✓ Fornecimento ou recolocação de ponte rolante.

O **Consórcio AB** apresenta a seguinte estrutura:

- Escopo específico da **Empresa A:**

- ✓ Engenharia de detalhamento;
- ✓ Fornecimento de materiais (tubulação, suportes, elétrico, estruturas metálicas, instrumentação, etc.);
- ✓ Infra-estrutura;
- ✓ Gerenciamento do projeto.

- Escopo específico da **Empresa B:**

- ✓ Tecnologia e engenharia básica;
- ✓ Gerador síncrono;
- ✓ Turbina de vapor e acessórios;
- ✓ Painéis elétricos;
- ✓ Sistema de controle;
- ✓ Supervisão de montagem;
- ✓ Comissionamento;
- ✓ Componentes para o sistema de óleo de controle e lubrificação;
- ✓ Peças de reserva.

Esta dissertação será desenvolvida baseada, principalmente, no escopo de trabalho da **Empresa A**, objetivando trabalhar em uma base de dados menor a fim de facilitar o carregamento de dados e a análise dos resultados obtidos na comparação das ferramentas de gerenciamento de prazo abordadas nesta dissertação. Optou-se por um maior detalhamento no escopo da **Empresa A**, enquanto o da **Empresa B** foi mantido em um nível menor de detalhe.

O escopo de trabalho da **Empresa A** está apresentado em forma de um memorial descritivo no ANEXO A (Quadro 8.1), e graficamente através da Estrutura Analítica do Projeto – EAP, mostrada no ANEXO A (Quadro 8.2).

3.5 METODOLOGIA APLICADA À ANÁLISE DAS TÉCNICAS EM USO EM EMPREENDIMENTOS EPC

3.5.1 Dados básicos para desenvolvimento da análise das técnicas

Este trabalho tem como ponto de partida o planejamento operacional do Projeto do Turbogenerador, realizado pela **Empresa A**.

Uma vez autorizado o início dos trabalhos referentes ao Projeto do Turbogenerador, as equipes de gerenciamento, planejamento e técnicas da **Empresa A** iniciaram seus trabalhos de acordo com as diretrizes, bases e premissas estabelecidas no contrato e pela alta administração da empresa.

De acordo com os procedimentos de gerenciamento e planejamento de projetos da **Empresa A**, iniciou-se o planejamento do projeto, de acordo com o Ciclo de Vida de Planejamento, que estabelece o desenvolvimento das seguintes fases:

✓ **Diretrizes, bases, premissas e restrições:**

Esta fase do ciclo de vida do planejamento objetiva a integração das diversas atividades, sistemas e produtos na execução do projeto. Para possibilitar um rápido início nos trabalhos foram reunidos os principais

envolvidos no projeto, a fim de se obter um melhor entendimento das necessidades do projeto e o nivelamento do conhecimento das informações existentes (considerando a documentação da proposta e do contrato).

Durante esta fase também foi realizada, com a participação das equipes do consórcio (**Empresas A e B**), uma reunião para transferência de informações das equipes que participaram na elaboração da proposta técnica e comercial para a equipe de gerenciamento do empreendimento.

✓ **Planejamento estratégico:**

Nesta fase foram estabelecidas as grandes decisões relativas à estratégia de condução do empreendimento, objetivando o atendimento das cláusulas contratuais e as respostas aos riscos identificados ainda na fase de proposta.

O Cronograma Contratual é o documento mais importante desta fase, pois através dele foram estabelecidos os principais eventos (*milestones*) para execução dos serviços. Esse cronograma apresenta de forma sintetizada as principais atividades do empreendimento, estabelecendo seu “ritmo”, a fim de se alcançar os resultados esperados, minimizando os riscos envolvidos.

✓ **Planejamento básico:**

Nesta fase, a **Empresa A** desenvolveu os seguintes produtos:

- O gerente de projeto auxiliado pelo engenheiro de planejamento, coordenador de suprimento, gerente de obra e pelos supervisores das diversas especialidades da engenharia (processo, mecânica, civil, tubulação, elétrica, instrumentação e SMS) desenvolveram o escopo de trabalho apresentado no ANEXO A (Quadro 8.1), e a estrutura analítica do projeto apresentada, no ANEXO A (Quadro 8.2);
- Durante a fase de elaboração da proposta, foram elaboradas pelos supervisores de cada especialidade (processo, civil, mecânica, tubulação, elétrica, instrumentação e SMS) as estimativas de

homens-hora e quantidades de serviços, conforme apresentado no ANEXO A (Tabela 8.1). Complementando estas estimativas foram informadas as premissas e restrições. Estas estimativas receberam aprovação da Gerência de cada especialidade, sendo então submetidas à análise da Gerência de Planejamento e Controle, que verificou sua compatibilidade com o escopo, a decomposição conforme a EAP, confrontando os índices obtidos (Hh por desenho equivalente, Hh por equipamento mecânico, Hh pela quantidade de linhas de tubulação, Hh por volume de concreto, Hh por tonelada de estruturas metálicas) com as métricas existentes, obtidas através do encerramento de projetos, baseadas em lições aprendidas e dados históricos. Após a análise e aprovação pela Gerência de Planejamento e Controle, estas estimativas foram submetidas à aprovação da Gerência de Projeto;

- Uma vez convertida em contrato, essas estimativas foram re-analisadas e revisadas pela equipe de engenharia, visando sua adequação ao escopo de trabalho efetivamente contratado. O mesmo procedimento foi adotado com a estrutura analítica do projeto. Uma vez consolidadas e aprovadas pela Gerência de Planejamento e Controle, estas estimativas de homens-hora e quantidades de serviços, referentes às fases de engenharia, suprimento e montagem eletromecânica, foram consideradas como referência (*baseline*). Para efeito desta dissertação, somente serão apresentadas e analisadas as estimativas de homens-hora, por categoria profissional, engenheiro, projetista e cadistas, e para a análise de recursos somente será analisado o recurso engenheiro;
- Baseado nas informações supracitadas e no cronograma contratual, foi elaborado o Cronograma Básico do Empreendimento, utilizando-se os métodos do caminho crítico – CPM e o do diagrama de precedências. Esta rede foi representada em escala de tempo, num nível gerencial (master), visando o estabelecimento dos principais eventos contratuais, a definição de um plano de suprimento para os principais “pacotes” de equipamentos e serviços, e de um fluxo de

caixa preliminar. Este cronograma foi elaborado pelo Engenheiro de Planejamento, com a participação do Gerente de Projetos e dos supervisores de cada especialidade;

- Este planejamento foi elaborado para estruturar o trabalho a ser realizado de acordo com o ciclo de vida do projeto, contemplando as suas diversas fases (engenharia básica, engenharia detalhada, suprimento, montagem eletromecânica, comissionamento e partida) e seus pontos-chaves de decisão, ou portões de estágio: aprovação do projeto conceitual, aprovação da engenharia básica, aprovação da engenharia de detalhamento, início da montagem eletromecânica, início do comissionamento, partida e operação. Nesses portões de estágio ou *milestones* serão tomadas as decisões de prosseguir para o próximo portão baseado nos objetivos originais, ou prosseguir para o próximo portão baseado em objetivos revisados, revisar ou até mesmo abortar o projeto.

✓ **Planejamento Operacional:**

Nesta fase foi elaborado o planejamento no nível executivo, definindo os objetivos, metas, estratégias, atribuições de responsabilidade. O planejamento operacional seguiu as mesmas estruturas já definidas para o projeto, ou seja:

- **Ciclo de vida e suas respectivas fases:** engenharia básica, engenharia detalhada, suprimento, montagem eletromecânica, comissionamento e partida;
- **Estrutura analítica do projeto:** com seus diversos níveis de desmembramentos, onde o projeto ou empreendimento foi colocado no primeiro nível. O segundo nível é representado pelas fases do ciclo de vida. O terceiro nível apresenta as especialidades, na fase de engenharia (processo, mecânica, tubulação, elétrica instrumentação, civil e SMS), os principais agrupamentos ou famílias de equipamentos/materiais, na fase de suprimento e as especialidades (equipamentos mecânicos, tubulação, elétrica, instrumentação, pintura) na fase de montagem eletromecânica. O

quarto nível apresenta as atividades típicas (ou pacotes de engenharia) de cada especialidade de engenharia, os pacotes de suprimento, na fase de suprimento e os sistemas e/ou especialidades na fase de montagem eletromecânica. O quinto nível apresenta as atividades típicas de suprimento (cotação, contratação, fabricação, inspeção e diligenciamento, transporte e entrega na obra), na fase de suprimento, e os principais subsistemas ou pacotes de serviços para a montagem eletromecânica. A Estrutura Analítica do Projeto Turbogenerador é apresentada no ANEXO A (Quadro 8.2);

- **Diagrama de rede:** foi empregado o método do diagrama de precedências, utilizando-se dos seguintes tipos de ligações: término-início, término-término, início-início e início-término. Esse diagrama foi esboçado pelo Engenheiro de Planejamento do Projeto e posteriormente discutido com os diversos envolvidos no empreendimento (gerentes de projetos das **Empresas A e B**, supervisores das especialidades de engenharia, supervisores de suprimento) e com a empresa subcontratada para realização dos serviços de montagem eletromecânica. O diagrama de precedências, mostrado no ANEXO A (Quadro 8.3), foi desenvolvido por meio do MS Project 2003, e para sua representação gráfica foi utilizado o software PERT Chart Expert⁵;
- **Estimativas de duração das atividades:** baseados no escopo de trabalho, na estrutura analítica do projeto, nas estimativas de Hh e quantidades de serviços, na disponibilidade e produtividade dos recursos e nos dados históricos de cada atividade (métricas), os supervisores de especialidades estimaram a quantidade de dias de trabalho necessária para realizar cada atividade do projeto. Inicialmente foi apresentada uma única estimativa de duração para cada atividade, considerando a duração mais provável de realização da atividade em condições normais de trabalho, conforme modelo apresentado pelo PMBOK (2000) – Figura 2.85. Foi solicitado que

⁵ Pert Chart Expert é um software desenvolvido pela Critical Tools, Inc..

cada supervisor, ao estimar uma atividade, considerasse a duração que deveria acontecer com mais frequência, caso esta atividade seja realizada repetidamente. Estas estimativas estão apresentadas no ANEXO A (Quadro 8.4);

- **Desenvolvimento da programação:** tendo como base o diagrama de rede e as estimativas de durações das atividades, a **Empresa A**, utilizando o MSProject, gerou o cronograma do projeto, apresentando-o de acordo com as datas cedo, sem considerar a análise de recursos (planejamento, carregamento e nivelamento de recursos). No ANEXO A (Quadro 8.4) é apresentado um relatório com todas as informações básicas da programação (atividades, durações, atividades predecessoras e sucessoras) referentes à aplicação do Método do Caminho Crítico, no Projeto Turbogenerador.

O resultado da aplicação do Método do Caminho Crítico é mostrado no ANEXO A (Quadro 8.5), em que é apresentado o cronograma operacional do projeto, contendo para cada atividade sua duração, as datas cedo de início e término, as datas tardes de início e término, as folgas livre e total e o caminho crítico do projeto.

3.5.2 Análise e tratamento dos dados recebidos da Empresa A

3.5.2.1 Análise dos aspectos gerenciais

Após o recebimento da documentação básica de planejamento do Projeto do Turbogenerador foram tomadas as seguintes ações gerais:

- ✓ Análise dos documentos recebidos: contrato principal, plano do projeto, manual de planejamento, critério de medição de progresso físico, bases, premissas e restrições, cronograma contratual, escopo, estrutura analítica do projeto, cronograma master, planilhas de estimativas de homens-hora e quantidades de serviço, lista de

documentos, lista de pacotes de suprimento, plano de contratação dos serviços, diagrama de rede e o cronograma operacional do projeto;

- ✓ Reuniões com o gerente de projeto e com o engenheiro de planejamento para assegurar o entendimento da documentação recebida;
- ✓ Reuniões com os supervisores de projeto para explicar as técnicas que serão utilizadas durante a execução do projeto em questão. Nestas reuniões foi constatada a necessidade de treinamento básico em gerenciamento de projetos, focado nos procedimentos de gerenciamento de projetos e de engenharia desenvolvidos pela **Empresa A**;
- ✓ Foi autorizada pela **Empresa A** a preparação de treinamento para todos os seus engenheiros e projetistas. O Eng^o Ciro Di Dio, funcionário da **Empresa A**, foi o responsável pela preparação e execução deste treinamento, que foi intitulado: Práticas de Engenharia de Projeto: conceitos básicos para a execução de empreendimentos de engenharia – fundamentos;
- ✓ Também foi autorizado treinamento específico para os engenheiros e supervisores sobre Estimativas de homens-hora: sua evolução desde a proposta até o encerramento dos projetos. Este treinamento foi preparado e executado pelo autor desta dissertação;
- ✓ Para a equipe de planejamento, foi preparado e executado pelo autor desta dissertação treinamento específico em técnicas de planejamento de projetos, focando basicamente: a gestão do escopo, através da declaração de escopo, da EAP e do sistema de controle de mudanças; e a gestão de prazos, destacando as técnicas de estimativas de duração, diagramas de rede, planejamento de recursos, desenvolvimento do cronograma e nivelamento de recursos.

3.5.2.2 Análise dos aspectos técnicos comuns a todas as técnicas

Pelo fato de o software⁶ de gerenciamento de prazos possibilitar a análise dos pulmões do projeto, por meio de seu comando “*expected finish*”, que permite estabelecer uma data esperada de término para a atividade, sendo que a data de início desta é a data subsequente à maior data de término de suas predecessoras, possibilitando o cálculo no método da corrente crítica, como um artifício, da penetração nos pulmões. Portanto, o planejamento inicialmente recebido da **Empresa A** através do software⁷ MSPProject[®] precisou ser convertido para o Primavera[®] Enterprise (P3e).

Além dessas verificações, também foram executados os passos abaixo:

- ✓ Objetivando o atendimento da Regra 5, estabelecida por Moder, Phillips e Davis, (apresentada no item 2.2.4.5 desta dissertação), que recomenda que o diagrama de rede seja fechado, o mesmo foi verificado para a certificação de que existe somente um evento ou atividade inicial, e somente um evento ou atividade de término. Este procedimento objetivou a certificação de que o diagrama de rede estava fechado, não existindo portanto atividades “soltas” no diagrama de rede;
- ✓ Verificou-se se a existência de ligações redundantes ou desnecessárias;
- ✓ Objetivando a utilização da simulação de Monte Carlo, foram retiradas da programação as restrições de datas das atividades: não iniciar mais cedo que, não terminar mais tarde que, não iniciar mais tarde que, não terminar mais cedo que, início e término mandatórios. Este procedimento foi adotado antes de se fazer a exportação dos dados para o Primavera Enterprise (P3e).

⁶ Para o gerenciamento de prazos e para a corrente crítica foi utilizado o Primavera[®] Enterprise (P3e), desenvolvido pela Primavera Systems, Inc..

⁷ Microsoft[®] Office Professional 2003 – SP2, desenvolvido pela Microsoft Corporation.

3.5.3 Método do caminho crítico

3.5.3.1 Procedimento adotado

Considerando que no planejamento apresentado pela **Empresa A** não foram alocados os recursos necessários para a execução das atividades, e que este processo e o de nivelamento de recursos, são fundamentais para a obtenção de uma programação realista, pois nesta situação o método do caminho crítico produz um cronograma preliminar, que somente vai ser considerado definitivo após o nivelamento de recursos, quando houver a certeza de que a necessidade de recursos está compatível com a disponibilidade dos mesmos.

Moder; Phillips; Davis (1983, p. 191) comentam que “os procedimentos básicos do método do caminho crítico consideram que a disponibilidade de recursos é ilimitada [...], conseqüentemente os cronogramas produzidos podem não ser realistas ao se considerar as restrições de recursos”.

Para evidenciar a importância da alocação de recursos, foram utilizadas as estimativas de homens-hora apresentadas no planejamento da fase de engenharia do Projeto do Turbogenerador, por meio destas planilhas, foi elaborada a alocação e nivelamento do recurso “engenheiro”, conforme procedimento abaixo:

- ✓ Foi realizado o carregamento de recursos no banco de dados do Primavera Enterprise (P3e), tendo como base as quantidades de homens-hora estimadas, para cada atividade da fase de engenharia, para o recurso engenheiro;
- ✓ Uma vez realizada a alocação de recursos, foi criado através do P3e uma programação operacional de referência⁸, idêntica à elaborada através do MSProject, mostrada no ANEXO A (Quadro 8.5), apresentando para cada atividade a descrição, duração, datas de referência cedo e tarde de início e término, para futura comparação com a programação, considerando o nivelamento de recursos;

⁸ Baseline ou target, no original.

- ✓ Em função da programação acima (sem a restrição de recursos), foi gerado o histograma do recurso engenheiro, conforme apresentado no Gráfico 3.1;
- ✓ Embora não tenha sido usado inicialmente, o nivelamento de recursos é um processo essencial na elaboração da programação, através do CPM, pois assegura a disponibilidade de recursos para execução das atividades;

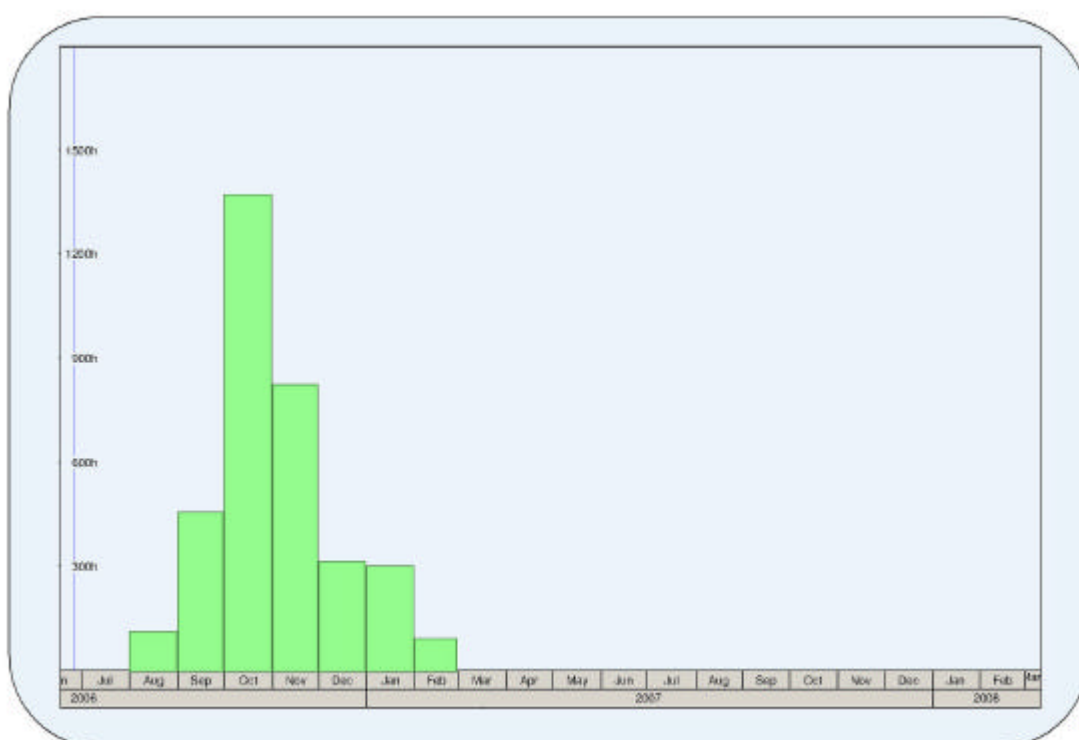


Gráfico 3.1 – Histograma do recurso engenheiro sem o nivelamento de recursos.

- ✓ Usando o Primavera Enterprise (P3e), foi realizado o nivelamento do recurso engenheiro, cujo histograma é apresentado no Gráfico 3.2;

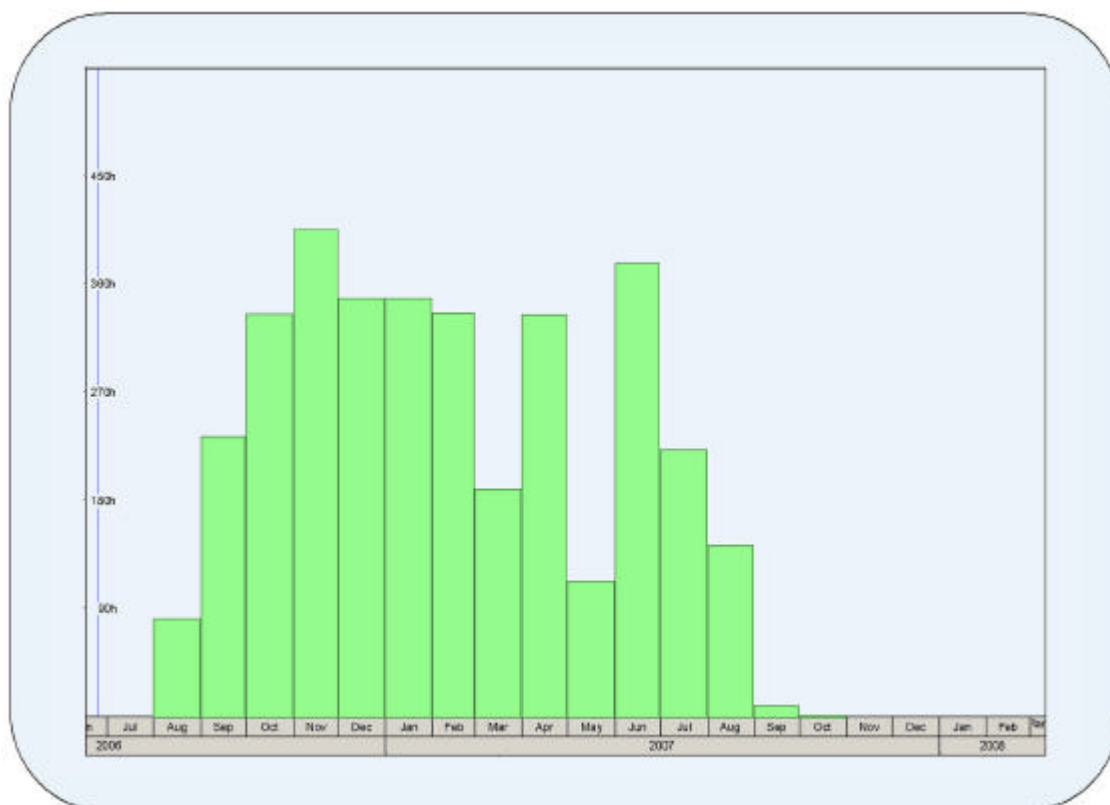


Gráfico 3.2 – Histograma do recurso engenheiro com o nivelamento de recursos.

- ✓ No APÊNDICE A (Quadro 7.1) é mostrada a comparação entre a programação operacional apresentando para cada atividade, as datas cedo, de início e término, obtidas antes do nivelamento de recursos, considerando que os recursos são ilimitados, com as datas cedo, de início e término, obtidas após o nivelamento de recursos.

3.5.3.2 Análise dos resultados

Analisando o cronograma operacional de referência, que apresenta uma programação elaborada sem a consideração da alocação e nivelamento de recursos, pode-se observar que a fase de engenharia está programada para ser realizada entre jul/06 e fev/07, conforme o APÊNDICE A (Quadro 7.1). Após o carregamento de recursos, verifica-se, através do histograma de recursos apresentado no Gráfico 3.1, que a distribuição, no tempo, do recurso engenheiro está concentrada nos meses de set/06, out/06 e nov/06, e os homens-hora do

recurso engenheiro apresentam a seguinte distribuição: 457, 1.371 e 824 homens-hora, respectivamente. Observa-se uma diminuição sensível no nível de utilização do recurso a partir de dez e jan/06, que apresentam 313 e 301 homens-hora respectivamente.

Por meio do histograma apresentado no Gráfico 3.2, pode-se observar que o nivelamento de recursos possibilitou uma melhor distribuição dos homens-hora ao longo do tempo.

A fase de engenharia foi reprogramada para ser executada entre jun/06 e out/07, utilizando a disponibilidade de folga das atividades, alterando, portanto, a duração da fase de engenharia, mantendo-se entretanto a data de término do projeto. O pico de utilização do recurso está programado para acontecer em nov/06, um mês após o pico apresentado na situação anterior, e este pico foi reduzido para 405 Hh. Considerando que na situação anterior, sem o nivelamento, este pico era de 1.371 Hh, obteve-se uma variação percentual de -70,5%, e uma melhor distribuição do recurso.

Embora a situação encontrada após o nivelamento apresente alguns problemas, como as diminuições apresentadas nas quantidades de homens-hora previstas para mar/07 e mai/07, o nivelamento de recursos, em função das folgas apresentadas na fase de engenharia, determinou uma situação mais realista e otimizada. O histograma sem o nivelamento é extremamente difícil de ser gerenciado, por causa da concentração de um grande número de atividades em um curto período de tempo (out/06 e nov/06).

A utilização isolada do método do caminho crítico, através do processo de nivelamento de recursos, também pode desenvolver programações bastante satisfatórias e competentes da distribuição de recursos ao longo do tempo.

3.5.4 Consideração das incertezas nas estimativas (Simulação de Monte Carlo)

3.5.4.1 Procedimento adotado

Este estudo foi iniciado a partir do banco de dados gerado no estudo anterior, isto é, com a base de dados corrigida, conforme explicado no item 3.5.2.2, em que foram alocados os recursos necessários para a execução das atividades da fase de engenharia do Projeto TurboGerador.

Para balizar as considerações quanto as incertezas nas estimativas de durações das atividades, decidiu-se pela elaboração de uma estimativa de três pontos, considerando para cada atividade suas durações otimista, mais provável e pessimista. Estas durações serviram como balizas para os tratamentos estatísticos posteriores.

Novamente, foi realizada uma reunião com os supervisores de cada especialidade do projeto, objetivando o alinhamento de conceitos em relação a essas três estimativas de duração. Uma vez entendido o conceito, foi solicitado que cada supervisor preparasse as suas estimativas, considerando como a estimativa mais provável a fornecida para o método do caminho crítico.

Após o recebimento dessas estimativas, foi constatado que a maioria dos supervisores apresentaram valores extremamente altos para as estimativas pessimistas, por exemplo, acréscimos em atividades do caminho crítico, da ordem de 50% a 150%, em relação à estimativa mais provável. Tornou-se, então, necessário uma nova reunião para esclarecimento dos conceitos, objetivando a obtenção de estimativas mais realistas.

Estabeleceu-se o seguinte processo para a aplicação da simulação de Monte Carlo:

- ✓ Conforme já mencionado para a execução da simulação, foi utilizada a base de dados criada no Primavera Enterprise (P3e);
- ✓ Desta base de dados foram exportados para o Excel⁹ os seguintes campos: nº da atividade (ID), descrição da atividade e a duração original;
- ✓ Para cada atividade, relacionada no Excel, foram introduzidas as estimativas otimista, mais provável e pessimista. Conforme observado anteriormente, a estimativa mais provável foi considerada como a estimativa determinística utilizada no projeto;

⁹ Microsoft® Excel 2002 – SP3.

- ✓ A verificação do comportamento do modelo de rede lógica face ao tratamento de incertezas na duração de atividades foi desdobrada em duas análises distintas: a primeira usando a distribuição uniforme, objetivando que os valores aleatórios ocorram com a mesma probabilidade. A segunda assumindo-se que a distribuição da probabilidade de ocorrência de duração de cada atividade teria uma distribuição triangular;
- ✓ Para a aplicação distribuição uniforme foram arbitrados limites (inferior e superior) para a ocorrência de valores de simulação associados à duração de cada atividade da rede lógica. Estes limites foram associados aos valores de duração otimista (limite inferior) e pessimista (limite superior) obtidos nos processos de consulta aos supervisores de cada especialidade de engenharia envolvidos no projeto. Dentro destes intervalos admitiu-se que as durações de cada atividade tivessem um comportamento aleatório conforme a Metodologia de Monte Carlo. Conforme recomendando por Goodpasture (2004, p. 199) foram conduzidas 100 simulações (independentes) completas sendo que para cada uma delas foram geradas cargas de dados compostas pelas durações de todas as atividades da rede lógica. Estas cargas e dados foram obtidas pelo estabelecimento de valores aleatórios (independentes) para a duração de cada atividade.
- ✓ Utilizou-se a função ALEATÓRIO¹⁰ (), em que para cada atividade do projeto é gerado um número aleatório maior ou igual a 0 (zero) e menor do que 1 (um) distribuído uniformemente;
- ✓ Tendo por base a distribuição escolhida, foi calculada a duração aleatória de cada atividade;
- ✓ Uma vez calculada a duração do projeto para o cenário gerado aleatoriamente, o passo seguinte foi o nivelamento dos recursos, mantendo-se a data calculada e registrada, em uma tabela, a distribuição do recurso engenheiro.

¹⁰ Função ALEATÓRIO apresentada no Excel.

A seguir serão apresentados os procedimentos utilizados para as duas distribuições escolhidas:

3.5.4.1.1 Primeiro caso: Distribuição uniforme ou linear

A duração a ser utilizada em cada iteração da simulação de Monte Carlo foi calculada por meio da fórmula Form.(3.1) abaixo, que relaciona as durações otimista e pessimista (dois pontos):

Sendo:

o – duração otimista

p – duração pessimista

r – número aleatório

Da – duração aleatória

$$Da = \frac{(r-0).(p-o)}{(1-0)} + o = r.(p-o) + o \quad (3.1)$$

- ✓ A planilha de cálculo das durações aleatórias, considerando a distribuição uniforme, está apresentada no APÊNDICE B – (Tabela 7.1). Foram criados, através da planilha supracitada, 100 cenários, para posterior tratamento estatístico;
- ✓ Após o cálculo das durações aleatórias de cada atividade de um cenário, essas durações foram exportadas para o P3e, a fim de se calcular o diagrama de rede do cenário em questão, e com isto calcular a duração do projeto e a distribuição do recurso engenheiro, para o cenário selecionado aleatoriamente;
- ✓ Após a exportação dos dados do cenário para o P3e, calculando-se a duração do projeto, registrando-a em uma planilha do Excel. Os

registros referentes aos 100 (cem) cenários estão apresentados no APÊNDICE B (Tabela 7.2);

- ✓ Uma vez calculada a duração de cada cenário, foi realizado o nivelamento do recurso engenheiro, através do P3e, mantendo-se a data de término calculada anteriormente. Os registros referentes aos 100 cenários estão apresentados, mês a mês, no APÊNDICE B (Tabela 7.3);
- ✓ O próximo passo foi dar um tratamento estatístico aos dados levantados. Para os valores referentes às durações encontradas, foram calculadas a média e o desvio-padrão (amostra). A seguir foi calculada a probabilidade de alcance dos valores em estudo (confiabilidade), com o auxílio da distribuição Qui-Quadrado, que correlaciona o seu valor calculado (χ^2) com uma probabilidade e o valor de Z_p da distribuição normal, por meio da fórmula Form. (3.2) abaixo:

$$\chi^2 = \frac{1}{2} (Z_p + \sqrt{2k-1})^2 \quad (3.2)$$

sendo:

χ^2 = valor de Qui-Quadrado

Z_p = valor correspondente na distribuição normal-padrão

k = número de graus de liberdade = $n - 1$

n = tamanho da amostra

$$Z_p = \frac{X - m}{s}$$

em que:

X = valor em estudo (duração)

m = valores encontrados em cada iteração

μ = média

$$\mu = \frac{\sum x}{n}$$

s = desvio-padrão da amostra

$$s = \sqrt{\frac{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Os valores da distribuição Qui-Quadrado são tabelados e dependem do grau de liberdade da amostra (n – 1).

3.5.4.1.2 Segundo caso: Distribuição triangular

Para cada atividade do projeto, é calculada uma duração aleatória que está compreendida entre os valores otimista, mais provável e pessimista, relacionados através de uma distribuição triangular (3 pontos). Neste caso, a duração a ser utilizada em cada iteração do ensaio probabilístico é calculada por meio da fórmula Form.(3.3) abaixo, que relaciona essas durações:

$$Da = SE(m = \alpha, m, SE) r \leq \frac{(m-o)}{(p-o)}; \sqrt{r \cdot (p-o) \cdot (m-o) + \alpha \cdot p - \sqrt{\frac{r-(m-o)}{(p-o)} \cdot (p-o) \cdot (m-p) + (m-p)^2}}$$

(3.3)

Sendo:

o = duração otimista

m = duração mais provável

p = duração pessimista

r = número aleatório

Da = duração aleatória

Esta fórmula foi elaborada com o auxílio da função “SE” do Microsoft Excel:

- ✓ A planilha de cálculo das durações aleatórias, considerando a distribuição triangular, está apresentada no APÊNDICE B – (Tabela 7.4). De maneira similar à distribuição uniforme, foram criados, através da planilha supracitada, 100 cenários, para posterior tratamento estatístico;
- ✓ Após o cálculo das durações aleatórias de cada atividade de um cenário, estas durações foram exportadas para o P3e, a fim de se calcular o diagrama de rede do cenário em questão, e com isto calcular a duração do projeto e a distribuição do recurso engenheiro, para o cenário selecionado aleatoriamente;
- ✓ Após a exportação dos dados do cenário para o P3e, calculou-se a duração do projeto, registrando-a em uma planilha do Excel. Os registros referentes aos 100 (cem) cenários estão apresentados no APÊNDICE B (Tabela 7.5);
- ✓ Após o cálculo da duração de cada cenário, foi realizado o nivelamento do recurso engenheiro, através do P3e, mantendo-se a data de término calculada anteriormente. Os registros referentes aos 100 (cem) cenários estão apresentados no APÊNDICE B (Tabela 7.6);
- ✓ O tratamento estatístico é o mesmo dado à distribuição uniforme.

3.5.4.2 Análise dos resultados

3.5.4.2.1 Primeiro caso: Distribuição uniforme ou linear

Para este caso, em que foi usada a distribuição uniforme para determinar as durações aleatórias de cada atividade, aplicando-se o tratamento estatístico supracitado, calculou-se a média, o desvio-padrão e as probabilidades de se alcançar uma determinada data de término do projeto, para os 100 cenários gerados. A Tabela 3.1 apresenta os resultados obtidos para a amostra selecionada.

MÉDIA	02/04/08	647
DESVIO PADRÃO	13	13
NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA = 90%	19/04/08	664

$k = n^\circ \text{ de graus de liberdade} = n-1 = 100-1 = 99$

Probabilidade	χ^2	Zp	Duração	Data de Início	Data de Término
0,50%	66,5101	-2,50	615	26/06/06	01/03/08
1,00%	69,2299	-2,27	618	26/06/06	04/03/08
2,50%	73,3611	-1,92	622	26/06/06	09/03/08
5,00%	77,0463	-1,62	626	26/06/06	13/03/08
10,00%	81,4493	-1,27	631	26/06/06	17/03/08
25,00%	89,1812	-0,68	638	26/06/06	25/03/08
50,00%	98,3341	-0,01	647	26/06/06	02/04/08
75,00%	108,0930	0,67	656	26/06/06	11/04/08
90,00%	117,4070	1,29	664	26/06/06	19/04/08
95,00%	123,2250	1,66	668	26/06/06	24/04/08
97,50%	128,4220	1,99	673	26/06/06	28/04/08
99,00%	134,6420	2,37	678	26/06/06	03/05/08
99,50%	138,9870	2,64	681	26/06/06	07/05/08

Tabela 3.1 – Distribuição das probabilidades de conclusão do projeto (distribuição uniforme).

Pode-se observar que a média encontrada para a amostra foi de 647 dias, correspondendo a 02/04/08. O desvio-padrão calculado foi de 13 dias. Para um nível de confiança de 90%, a previsão de conclusão do projeto é 19/04/08.

O Gráfico 3.3 apresenta a distribuição acumulada da probabilidade de conclusão do projeto. Pode-se observar, por meio do gráfico, que a data calculada pelo CPM determinístico (28/02/08), onde para cada atividade foi utilizada a duração mais provável, possui uma probabilidade menor do que 0,5%, em função das dispersões apresentadas nas estimativas de durações (2 pontos), apresentadas pelos especialistas.

Calculando-se este valor obtemos:

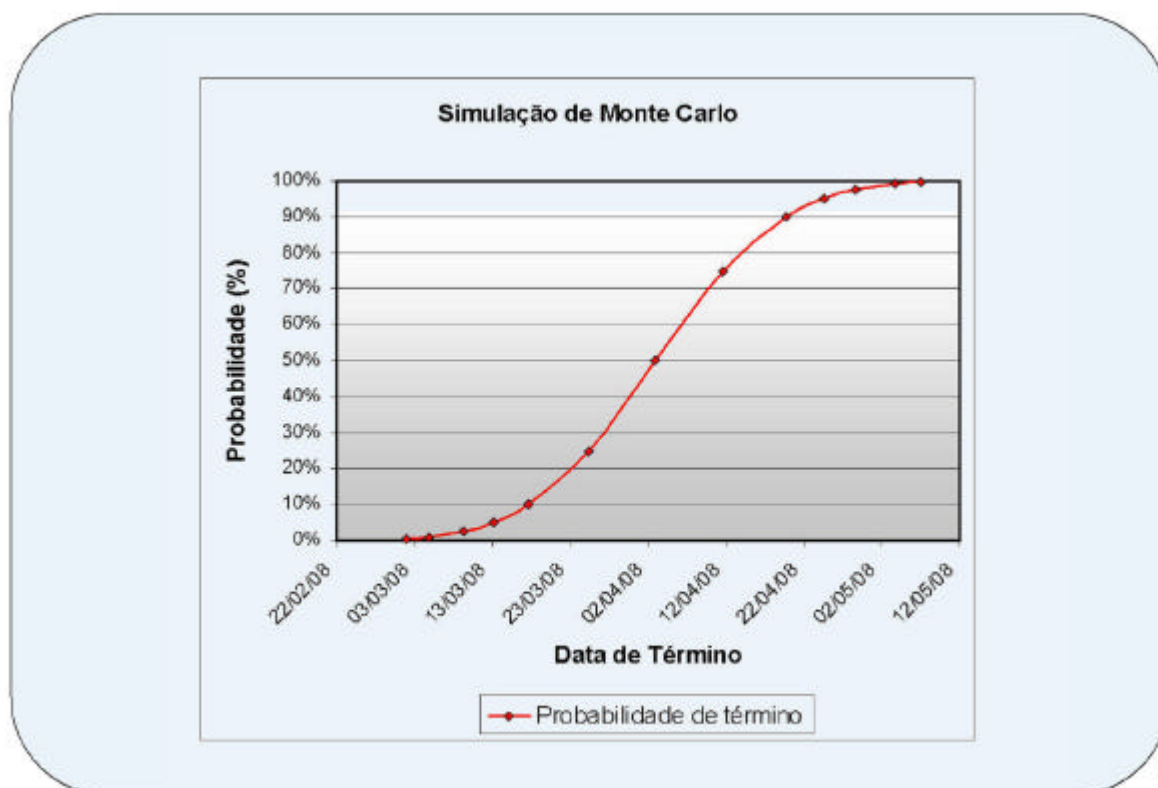


Gráfico 3.3 – Distribuição acumulada da probabilidade de conclusão do projeto (distribuição uniforme).

Conforme explicado anteriormente, para cada cenário da simulação, após da determinação da data prevista de conclusão do projeto, foi realizado o nivelamento de recursos, através do Primavera Enterprise (P3e). No APÊNDICE B (Tabela 7.3), para cada mês é apresentada a distribuição dos homens-hora do recurso engenheiro, os valores máximos, mínimos e médios. Esta tabela também apresenta, mês a mês, a distribuição acumulada da probabilidade de consumo de Hh do recurso engenheiro. Analisando a Tabela 7.3, pode-se verificar que o pico do projeto ocorre nos meses de out, nov e dez/06, apresentando 387, 598 e 464 homens-hora, respectivamente, como valores médios e 669, 924 e 858 homens-hora, respectivamente, para um nível de confiança de 90%. Estes períodos, em razão da grande concentração de atividades e também das incertezas associadas a elas, apresentaram uma dispersão relativamente alta referente aos dados de entrada, como pode ser observado no cálculo do desvio-padrão.

Baseado na tabela acima levantou-se para o recurso engenheiro a curva de distribuição acumulada da probabilidade de consumo de homens-hora. A título de exemplo, é apresentada no Gráfico 3.4 (extraído do APÊNDICE B - Gráfico 7.1) a distribuição referente ao mês de nov/06. Como pode ser observado, para um nível de confiança de 50%, existe uma tendência a se consumir 595 Hh de engenheiro. Para um nível de confiança de 90%, este número passa a ser 924 Hh.

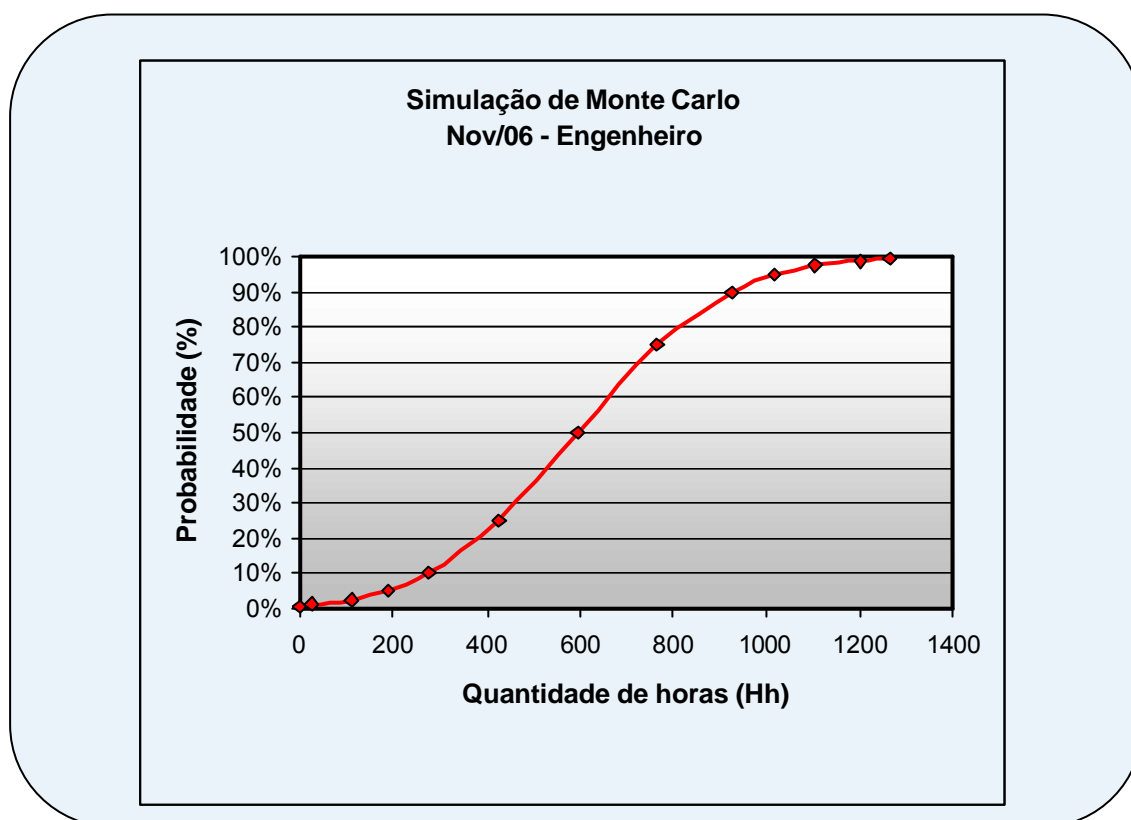


Gráfico 3.4 - Distribuição acumulada da probabilidade de consumo de Hh do recurso engenheiro, no mês de nov/06 (distribuição uniforme).

No APÊNDICE B (Gráfico 7.1), utilizando-se a distribuição uniforme, para cada mês, é apresentada a distribuição acumulada de probabilidades de utilização do recurso engenheiro. Através da análise destes gráficos pode-se observar que o pico de utilização do recurso ocorre nos meses de out, nov e dez/06, (conforme já verificado através da Tabela 7.3), apresentando para o nível de confiança de 99,5%, 965, 1.266 e 1.271 homens-hora, respectivamente.

O Gráfico 3.5 apresenta a distribuição da probabilidade de alocação do recurso engenheiro, apresentando os valores referentes à média e à variação de mais ou

menos um desvio-padrão. Pode-se observar neste gráfico que os valores médios apresentados nestas simulações estão próximos aos verificados no Gráfico 3.2, no qual é apresentado o histograma de recursos, após o nivelamento, utilizando-se o método do CPM. O grande benefício desta modelagem é possibilitar uma análise probabilística da distribuição de recursos em um dado período, fornecendo dados para a tomada de decisão em um ambiente de incerteza.

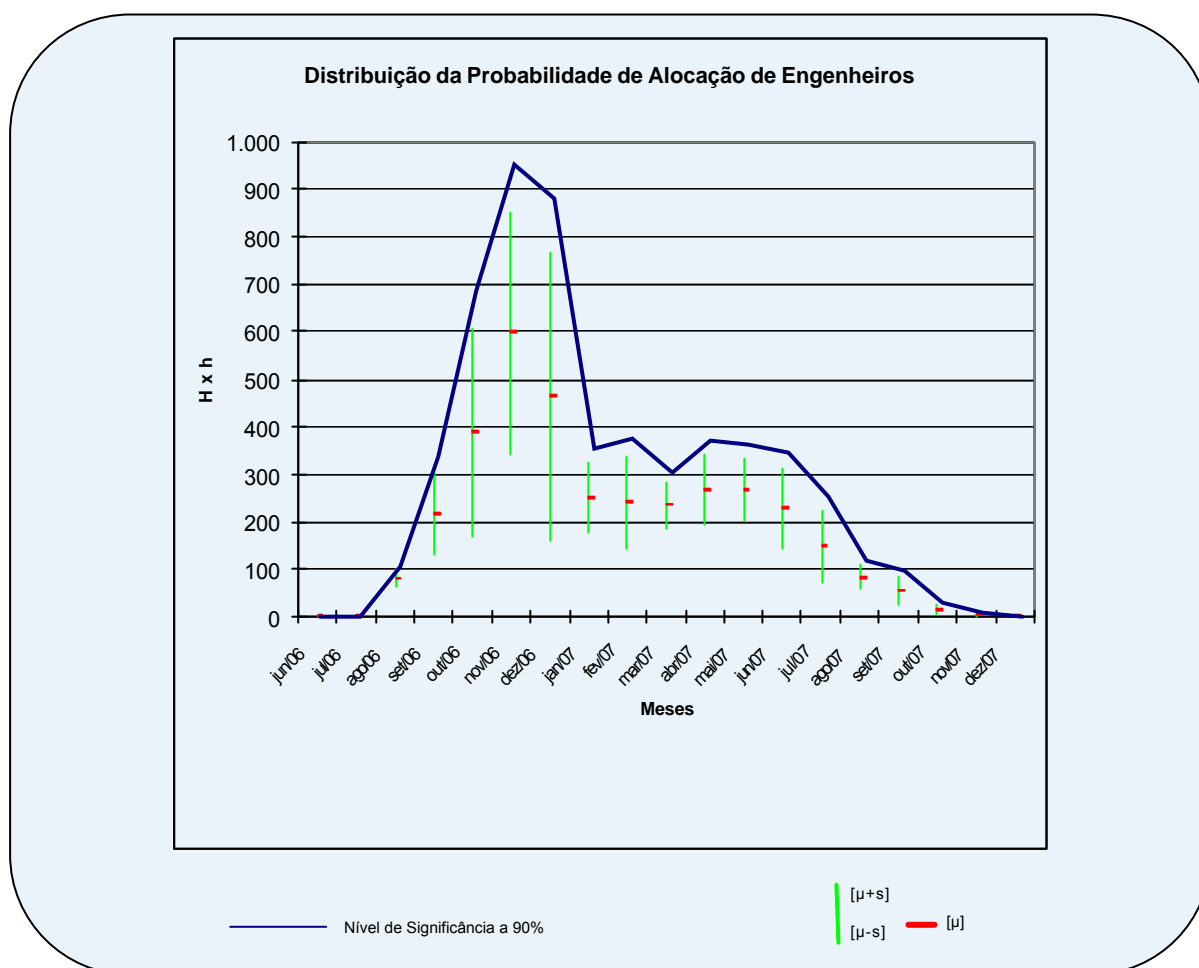


Gráfico 3.5 - Distribuição da probabilidade da alocação de engenheiros (distribuição uniforme).

3.5.4.2.2 Segundo Caso: Distribuição triangular

Neste caso, foi usada a distribuição triangular para determinar as durações probabilísticas de cada atividade, aplicando-se a fórmula Form.(3.3), apresentada no

item 3.5.4.1.2, referente à distribuição triangular. De maneira similar à distribuição uniforme, calculou-se a média, o desvio-padrão e as probabilidades de se alcançar uma determinada data de término do projeto, para os 100 cenários gerados. A Tabela 3.2 apresenta os resultados obtidos para a amostra selecionada.

MÉDIA	20/03/08	634			
DESVIO PADRÃO	9	9			
NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA = 90%	01/04/08	646			

k = nº de graus de liberdade = n-1 = 100-1 = 99

Probabilidade	χ^2	Zp	Duração	Data de Início	Data de Término
0,50%	66,5101	-2,50	611	26/06/06	26/02/08
1,00%	69,2299	-2,27	613	26/06/06	29/02/08
2,50%	73,3611	-1,92	616	26/06/06	03/03/08
5,00%	77,0463	-1,62	619	26/06/06	05/03/08
10,00%	81,4493	-1,27	622	26/06/06	09/03/08
25,00%	89,1812	-0,68	628	26/06/06	14/03/08
50,00%	98,3341	-0,01	634	26/06/06	20/03/08
75,00%	108,0930	0,67	640	26/06/06	27/03/08
90,00%	117,4070	1,29	646	26/06/06	01/04/08
95,00%	123,2250	1,66	649	26/06/06	05/04/08
97,50%	128,4220	1,99	652	26/06/06	08/04/08
99,00%	134,6420	2,37	656	26/06/06	11/04/08
99,50%	138,9870	2,64	658	26/06/06	14/04/08

Tabela 3.2 – Distribuição das probabilidades de conclusão do projeto (distribuição triangular).

A média encontrada para a amostra foi de 634 dias, correspondendo a 20/03/08. O desvio-padrão calculado foi de 9 dias. Para um nível de confiança de 90%, a previsão de conclusão do projeto é 01/04/08.

Observar que os valores obtidos com a distribuição triangular são menores que os obtidos através da distribuição uniforme, porque, no caso da distribuição triangular, tem-se uma probabilidade maior em torno da média, reduzindo a dispersão da amostra. A Tabela 3.3 apresenta a comparação destes valores.

	Distribuição Uniforme	Distribuição Triangular
Média	647 dias (02/04/08)	634 dias (20/03/08)
Desvio Padrão	13 dias	9 dias
Significância 90%	664 dias (19/04/08)	646 dias (01/04/08)
Probabilidade de conclusão em 28/02/08	0,4 %	0,9 %

Tabela 3.3 – Quadro comparativo das distribuições uniforme e triangular.

O Gráfico 3.6 apresenta a distribuição acumulada da probabilidade de conclusão do projeto. Pode-se observar, no gráfico, que a data calculada pelo CPM determinístico (28/02/08), onde para cada atividade foi utilizada a duração mais provável, possui uma probabilidade menor do que 0,5%. Observar que, em função da concentração de pontos em torno da média e o trecho linear deste gráfico possui maior inclinação do que o da distribuição uniforme.

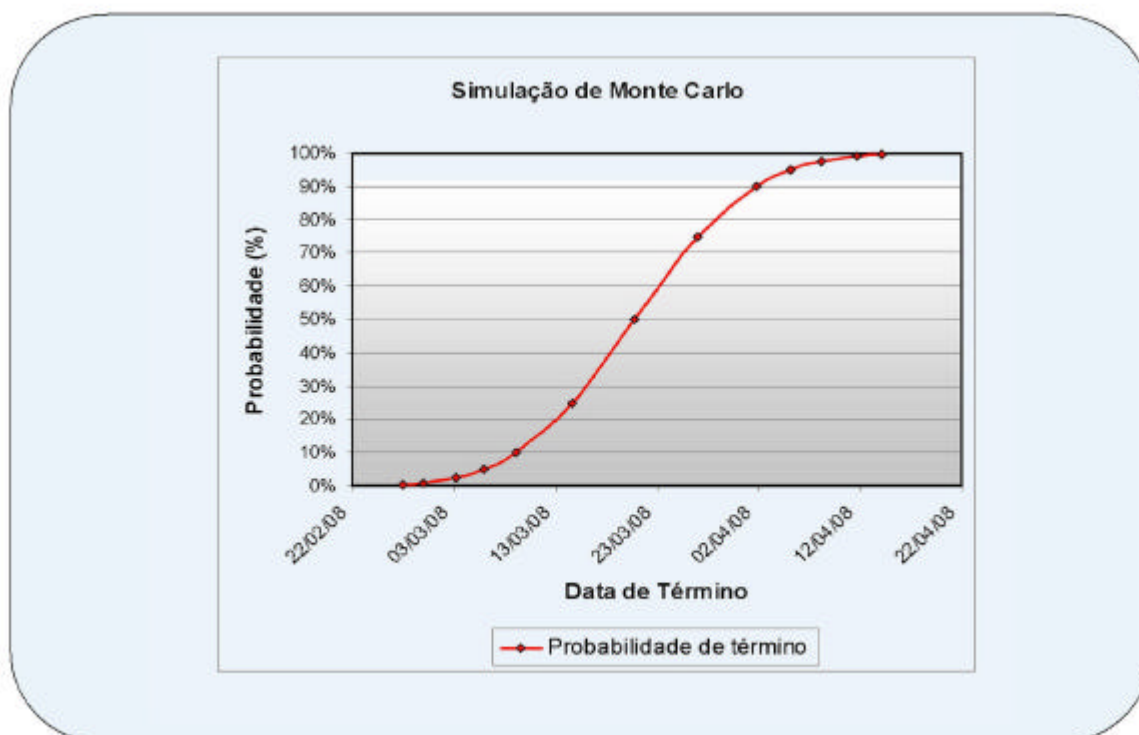


Gráfico 3.6 – Distribuição acumulada da probabilidade de conclusão do projeto (distribuição triangular).

Nesta distribuição, a probabilidade de conclusão em 28/02/08 (data calculada pelo CPM) é de 0,9%, significando que é estatisticamente impossível a conclusão deste projeto na data estabelecida.

No APÊNDICE B (Tabela 7.6), para cada mês, é apresentada a distribuição dos homens-hora do recurso engenheiro, os valores máximos, mínimos e médios. Esta tabela também apresenta, mês a mês, a distribuição acumulada da probabilidade de consumo de Hh do recurso engenheiro. Analisando a Tabela 7.6, pode-se verificar que o pico do projeto ocorre nos meses de out, nov e dez/06, apresentando 402, 636 e 446 homens-hora, respectivamente, como valores médios e 659, 943 e 853 homens-hora, respectivamente, para um nível de confiança de 90%. Pode-se observar, como esperado, que o pico médio calculado na distribuição triangular (636 Hh) é maior do que na uniforme (598 Hh).

Os períodos de pico (out a dez/06), em função da grande concentração de atividades e também das incertezas associadas a elas, apresentaram uma dispersão relativamente alta referente aos dados de entrada, como pode ser observado através do cálculo do desvio-padrão.

Baseado na tabela acima foi levantado para o recurso engenheiro a curva de distribuição acumulada da probabilidade de consumo de homens-hora. A título de exemplo, é apresentada no Gráfico 3.7 a distribuição referente ao mês de nov/06. Conforme pode ser observado, para um nível de confiança de 50%, existe uma tendência a se consumir 633 Hh de engenheiro. Para um nível de confiança de 90%, este número passa a ser 943 Hh.

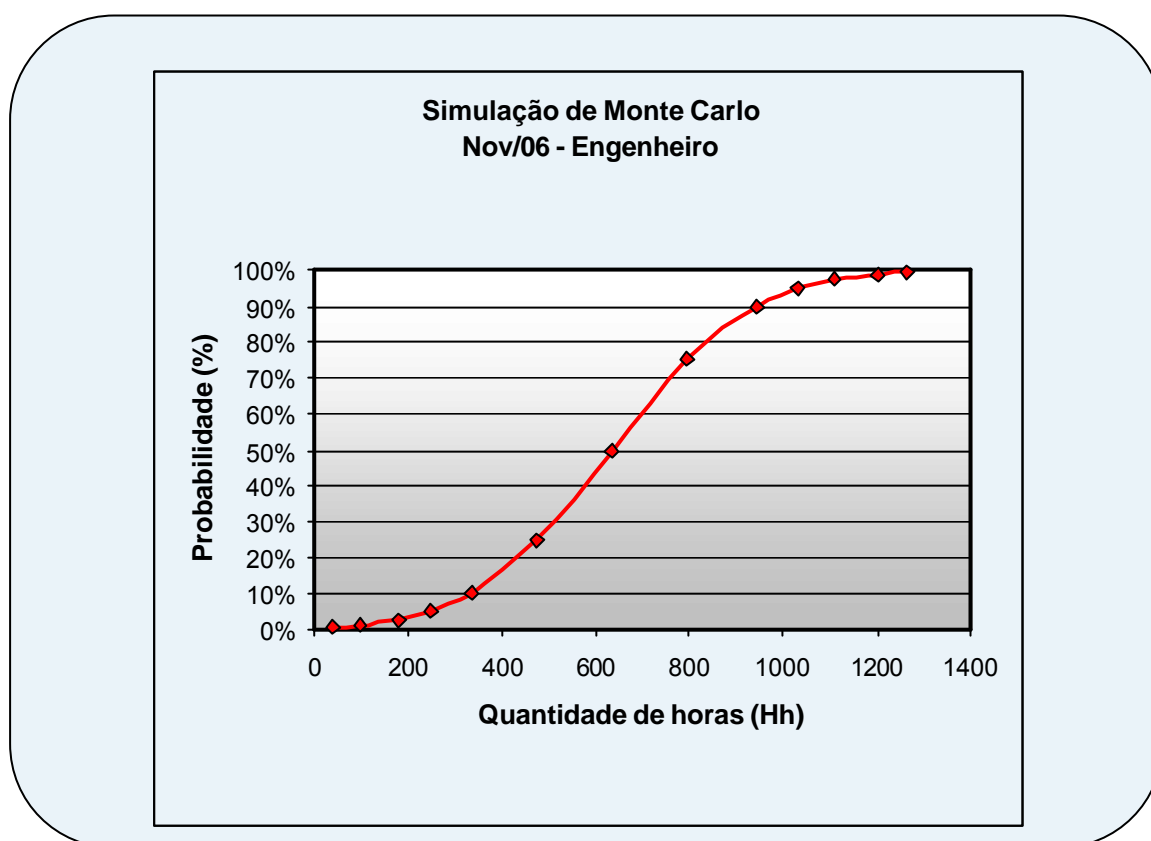


Gráfico 3.7 – Distribuição acumulada da probabilidade de consumo de Hh do recurso engenheiro, no mês de nov/06 (distribuição triangular).

No APÊNDICE B (Gráfico 7.2), utilizando-se a distribuição triangular, para cada mês, é apresentada a distribuição acumulada de probabilidades de utilização do recurso engenheiro. Através da análise destes gráficos pode-se observar que o pico de utilização do recurso ocorre nos meses de out, nov e dez/06, (conforme já verificado através da Tabela 7.3), apresentando para o nível de confiança de 99,5%, 929, 1.264 e 1.279 homens-hora, respectivamente. Observar que estes valores estão

bem próximos aos mostrados no Gráfico 7.1, para o mesmo nível de confiança (965, 1.266 e 1.271 Hh, respectivamente).

O Gráfico 3.8 mostra a distribuição da probabilidade de alocação do recurso engenheiro, apresentando os valores referentes à média e a variação de mais ou menos um desvio-padrão. Pode-se observar neste gráfico que os valores apresentados nestas simulações estão bem próximos aos mostrados no Gráfico 3.5, no qual se pode verificar a probabilidade de alocação do recurso engenheiro por meio da distribuição uniforme.

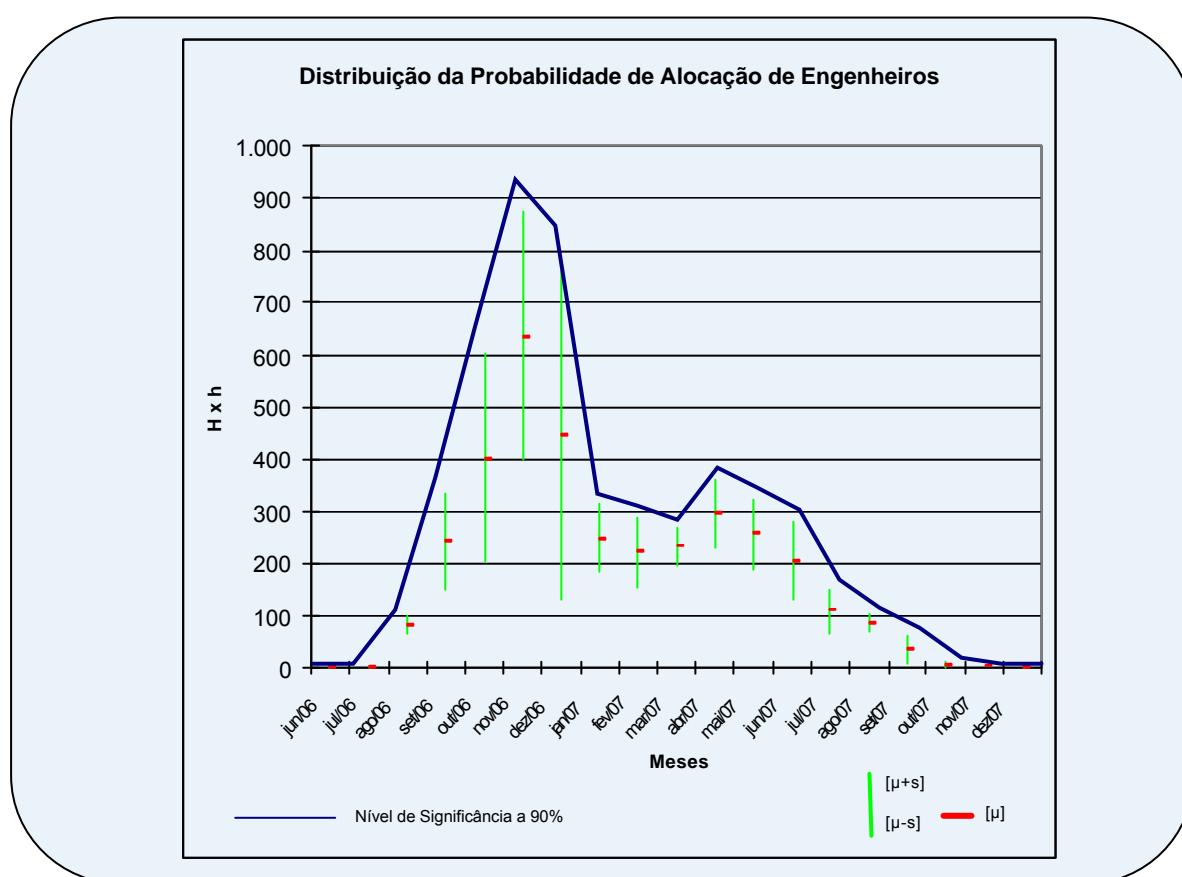


Gráfico 3.8 – Distribuição da probabilidade de alocação de engenheiros (distribuição triangular).

3.5.5 Método da corrente crítica

3.5.5.1 Procedimento adotado

Para aplicação do método da corrente crítica, adotaram-se os procedimentos estabelecidos no item 3.5.2.2 – Análise dos aspectos técnicos comuns a todas técnicas e os dois primeiros passos do item 3.5.3.1 – Procedimento adotado no método do caminho crítico. Portanto, o processo de aplicação do método da corrente crítica teve como insumo o banco de dados de referência do Primavera Enterprise (P3e). Objetivando a aplicação do método da corrente crítica foram executados os seguintes passos:

- ✓ Tendo como base de dados a programação gerada no P3e, foi identificado o caminho crítico do projeto;
- ✓ Foi assumido que não havia restrições de recursos, portanto, a corrente crítica é o próprio caminho crítico;
- ✓ Tendo como base os procedimentos estabelecidos por Goldratt, foram reduzidas as durações das atividades para 50% do valor original;
- ✓ Reduzimos as antecipações e defasagens¹¹ para 50% do valor original, embora este procedimento não seja mencionado na literatura consultada;
- ✓ Na ocorrência de datas impostas, optou-se pela negociação com as empresas ou responsáveis pela restrição, de uma redução de 50% na data do evento, conforme proposto por Goldratt;
- ✓ Foi alocado na rede lógica o pulmão do projeto;
- ✓ Em função do caminho crítico, foram alocados os pulmões de convergência, totalizando 19 pulmões. No APÊNDICE C, Quadro 7.2 – apresenta o diagrama de rede mostrando a localização dos pulmões de convergência;
- ✓ No cálculo dos pulmões de convergência, assumiu-se que uma atividade pertencente a mais de um caminho do diagrama de rede, somente pode ser considerada no cálculo de um dos pulmões,

¹¹ Leads e lags, no original.

preferencialmente no pulmão pertencente ao primeiro caminho a convergir ao caminho crítico. Este procedimento também não é abordado na literatura consultada;

- ✓ O APÊNDICE C (Tabela 7.7) apresenta a memória de cálculo do pulmão do projeto, em que foi utilizado o método proposto pelo Goldratt (50% da duração reduzida de cada atividade, ou 25% da duração original). Para os pulmões de convergência, foi adotado o método da raiz quadrada da soma dos quadrados (método do desvio-padrão);
- ✓ As durações dos pulmões do projeto e de convergência foram então introduzidas na programação;
- ✓ Após a localização e dimensionamento dos pulmões, foi gerada uma programação do projeto, apresentada no APÊNDICE C (Quadro 7.3), calculada através das datas mais tardes;
- ✓ Em função desta programação, gerou-se o histograma de recursos, apresentado no Gráfico 3.9.

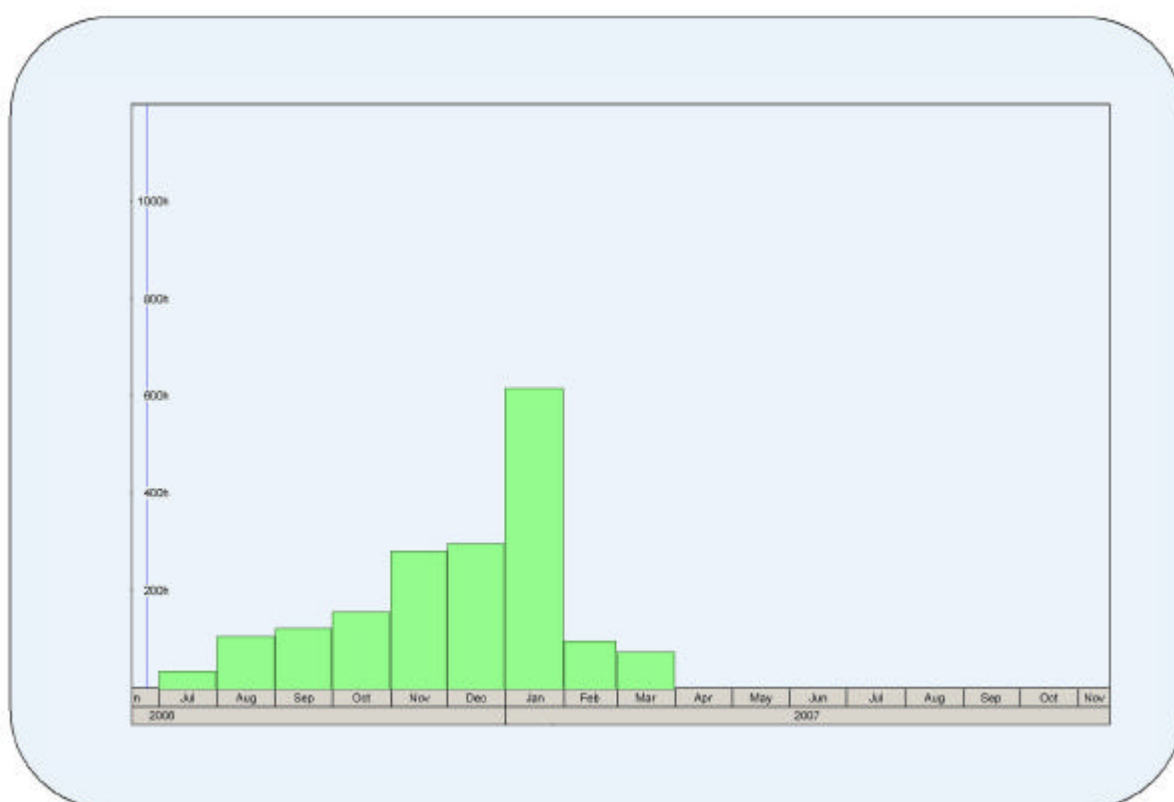


Gráfico 3.9 – Histograma de recursos gerado através da CCPM

Objetivando a análise do comportamento dos pulmões do projeto e de convergência, foram aplicadas as simulações de Monte Carlo a este comportamento probabilístico, que além do cálculo da distribuição das durações do projeto, também simularam a penetração (consumo da duração) nos pulmões de convergência e do projeto.

O procedimento adotado para a realização destas simulações é o mesmo utilizado na do método do caminho crítico. Portanto foram realizadas simulações considerando as distribuições uniforme e triangular, e para cada uma delas foram analisados 100 cenários.

Para viabilizar a análise das penetrações dos pulmões, tornou-se necessária a criação de uma defasagem (*lag*) entre os pulmões de convergência e o caminho crítico do projeto, a fim de eliminar a folga existente possibilitando a transferência da penetração para o pulmão do projeto.

3.5.5.1.1 Primeiro caso: Distribuição uniforme ou linear

Seguem abaixo os passos para a execução da simulação:

- ✓ A planilha de cálculo das durações aleatórias, considerando a distribuição uniforme, está apresentada no APÊNDICE C (Tabela 7.8). Foram criados, através da tabela supracitada, 100 cenários, para posterior tratamento estatístico. Na Tabela 7.8, para ilustração, são apresentados somente seis cenários;
- ✓ Após o cálculo das durações aleatórias de cada atividade de um cenário, essas durações foram exportadas para o P3e, a fim de se calcular o diagrama de rede do cenário em questão, e com isto calcular a duração do projeto e a penetração ocorrida em cada pulmão do projeto. Os registros referentes aos 100 cenários estão apresentados no APÊNDICE C (Tabela 7.9);
- ✓ O próximo passo foi dar um tratamento estatístico aos dados levantados. Para os valores referentes às durações do projeto e às penetrações dos pulmões, foram calculadas a média e o desvio-padrão (amostra). A seguir calculou-se a probabilidade de alcance dos valores

em estudo (confiabilidade), com o auxílio da distribuição Qui Quadrada, que correlaciona o seu valor calculado (χ^2) com uma probabilidade e o valor Z_p da distribuição normal, conforme fórmula apresentada no item 3.5.4.1.1 – Primeiro caso – Distribuição uniforme ou linear.

3.5.5.1.2 Segundo caso: *Distribuição triangular*

- ✓ A planilha de cálculo das durações aleatórias, considerando a distribuição triangular, está apresentada no APÊNDICE C (Tabela – 7.10). De maneira similar à distribuição uniforme, foram criados, através da planilha supracitada, 100 cenários, para posterior tratamento estatístico. Na Tabela 7.10, para ilustração, são apresentados somente seis cenários;
- ✓ Após o cálculo das durações aleatórias de cada atividade de um cenário, estas durações foram exportadas para o P3e, a fim de se calcular o diagrama de rede do cenário em questão, e com isto calcular a duração do projeto e as penetrações nos pulmões do projeto e de convergência;
- ✓ Após a exportação dos dados do cenário para o P3e, calculou-se a duração do projeto e a penetração ocorrida em cada pulmão do projeto, registrando-as em uma planilha do Excel. Os registros referentes aos 100 cenários estão apresentados no APÊNDICE C (Tabela 7.11);
- ✓ O tratamento estatístico é o mesmo dado à distribuição uniforme.

3.5.5.2 Análise dos resultados

3.5.5.2.1 Primeiro caso: *Distribuição uniforme ou linear*

Para este caso, no qual foi usada a distribuição uniforme para determinar as durações aleatórias de cada atividade, aplicando-se o tratamento estatístico supracitado, calculou-se a média, o desvio-padrão e as probabilidades de se alcançar uma determinada data de término do projeto e das durações dos 20 (vinte) pulmões do projeto, para os 100 cenários gerados. No APÊNDICE C (Gráfico 7.3) são apresentadas as distribuições obtidas para a amostra selecionada.

Analisando no APÊNDICE C a Tabela 7.9 e os Gráficos 7.3, pode-se verificar que, no caso da distribuição uniforme do método da corrente crítica, a data de término do projeto não variou, pois o pulmão do projeto absorveu todo o atraso que acabou passando pelos pulmões de convergência, conseqüentemente não houve dispersão nestes dados, portanto, o desvio-padrão é zero.

O pulmão do projeto, estimado em 108 dias, apresentou uma dispersão muito pequena. Pode-se observar através dos cenários apresentados que este pulmão foi mantido durante quase todas as simulações, tendo revelado uma penetração máxima de 7 dias (simulação nº 71), conseqüentemente sua distribuição de probabilidades, como pode ser observado no Gráfico 7.3 é praticamente uma reta vertical, bastando somente o acréscimo de um dia em sua duração para atingir uma confiabilidade de 90%.

Os pulmões de convergência nº. 8, 9, 10, 12 e 15, como se pode verificar no Gráfico 7.3 e na Tabela 7.9, foram os pulmões que mais sofreram penetração total, zerando por diversas vezes suas durações, e conseqüentemente transmitindo impactos ao pulmão do projeto. De maneira geral, os pulmões de convergência desempenharam muito bem o seu papel, protegendo, na grande maioria das vezes, a corrente crítica do projeto.

O Gráfico 3.10 apresenta a distribuição acumulada de probabilidades para o pulmão de convergência nº 01. No gráfico podemos observar que este pulmão apresentou uma duração mínima igual a zero, sendo a média igual a 11 e a duração máxima apresentada foi de 22 dias. Para um nível de confiança de 90%, a duração deve ter 16 dias. Observando a Tabela 7.9, pode-se verificar que este pulmão na simulação nº 81 teve sua duração totalmente consumida.

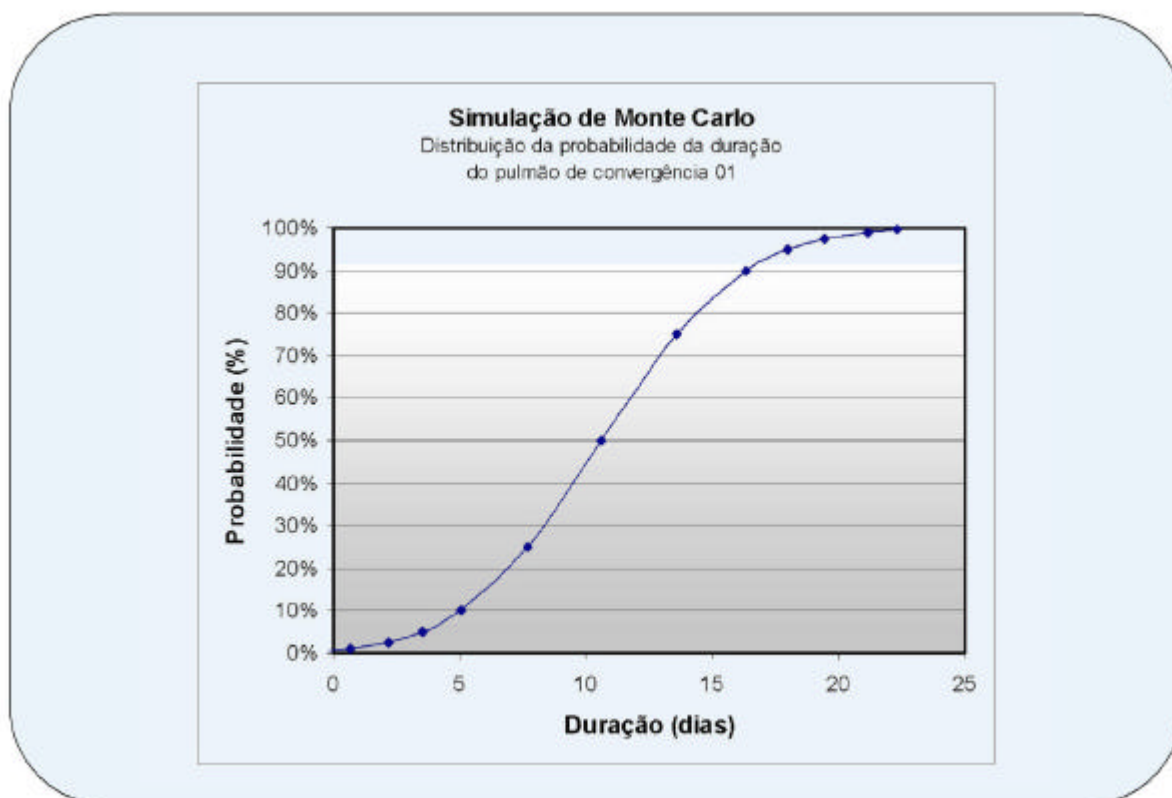


Gráfico 3.10 – Distribuição acumulada de probabilidades para o pulmão de convergência 01 (distribuição uniforme).

As distribuições de probabilidades apresentadas para as durações dos pulmões de convergência, considerando a média mais ou menos um desvio-padrão e a duração para um nível de confiança de 90%, são apresentadas no Gráfico 3.11.

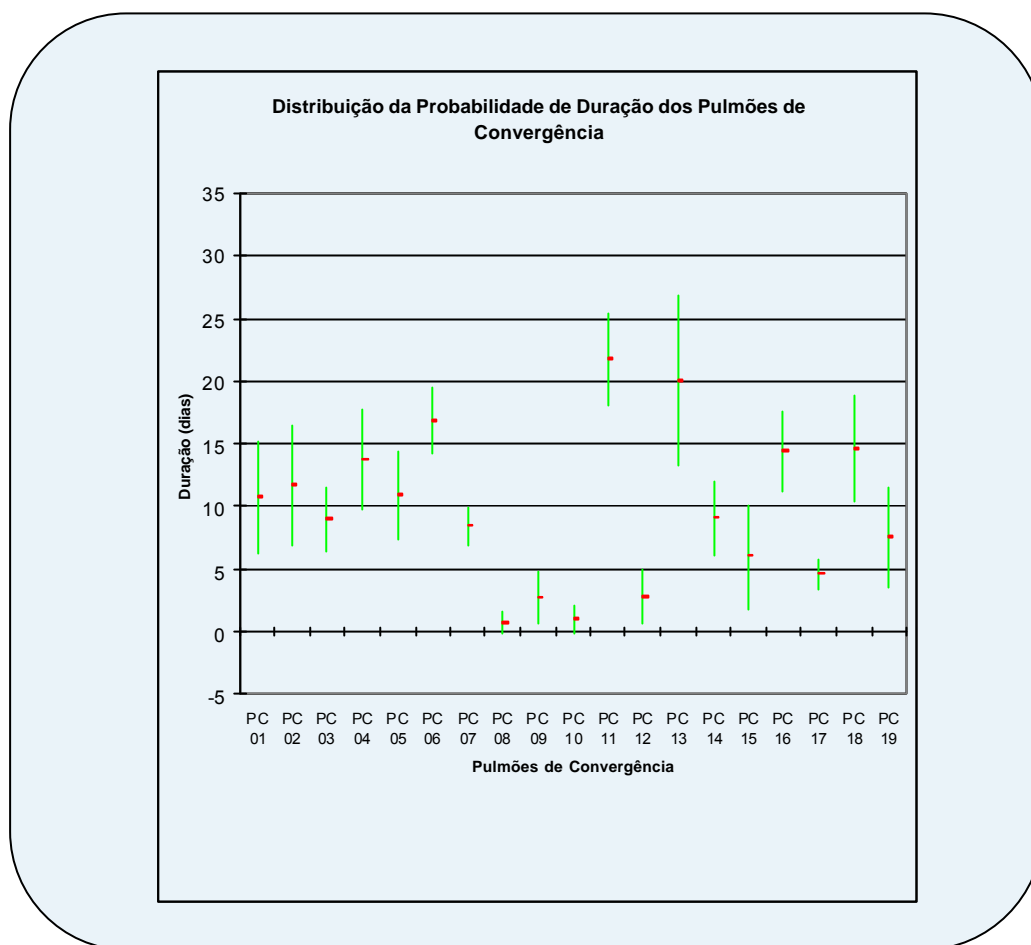


Gráfico 3.11 – Distribuição da probabilidade de duração dos pulmões de convergência (distribuição uniforme).

3.5.5.2.2 Segundo caso: Distribuição triangular

Neste caso, foi usada a distribuição triangular para determinar as durações aleatórias de cada atividade, aplicando-se o tratamento estatístico apresentado no item 3.5.4.1.2, referente à distribuição triangular. De maneira similar à distribuição uniforme, calculou-se a média, o desvio-padrão e as probabilidades de se alcançar uma determinada data de término do projeto e das durações dos 20 (vinte) pulmões do projeto, para os 100 cenários gerados. No APÊNDICE C (Gráfico 7.4) são apresentadas as distribuições obtidas para a amostra selecionada.

Analisando no APÊNDICE C a Tabela 7.11 e os Gráficos 7.4, pode-se verificar que o comportamento da distribuição triangular é bastante semelhante ao da distribuição

uniforme. Para ambos os métodos, a data de término do projeto não variou, pois o pulmão do projeto absorveu todo o atraso que acabou passando pelos pulmões de convergência, conseqüentemente não houve dispersão nestes dados, portanto, o desvio-padrão é zero.

O pulmão do projeto também teve comportamento similar ao apresentado na distribuição uniforme. Pode-se observar, através dos cenários apresentados, que este pulmão foi mantido durante todas as simulações, pois nesta distribuição temos uma concentração maior de pontos em torno da média. Esta distribuição de probabilidades, como pode ser observado no Gráfico 7.4, é uma reta vertical, possuindo uma duração constante de 108 dias.

Os pulmões de convergência nº 8, 9, 10 e 12, conforme pode ser verificado no Gráfico 7.4 e na Tabela 7.11, foram os pulmões que mais sofreram penetração total, zerando por diversas vezes suas durações, e conseqüentemente transmitindo impactos ao pulmão do projeto. De maneira geral, os pulmões de convergência desempenharam muito bem o seu papel, protegendo, na grande maioria das vezes, a corrente crítica do projeto.

O Gráfico 3.12 apresenta a distribuição acumulada de probabilidades para o pulmão de convergência nº 01. No gráfico podemos observar que este pulmão apresentou uma duração mínima igual a 5, sendo a média igual a 12 e a duração máxima apresentada foi de 21 dias. Para um nível de confiança de 90%, a duração deve ter 16 dias. Observando a Tabela 7.11 e o Gráfico 3.12 pode-se verificar que este pulmão nunca apresentou a sua duração totalmente consumida. Observa-se que as inclinações apresentadas nos gráficos elaborados, conforme a distribuição triangular, são bem mais inclinadas que os da distribuição uniforme.

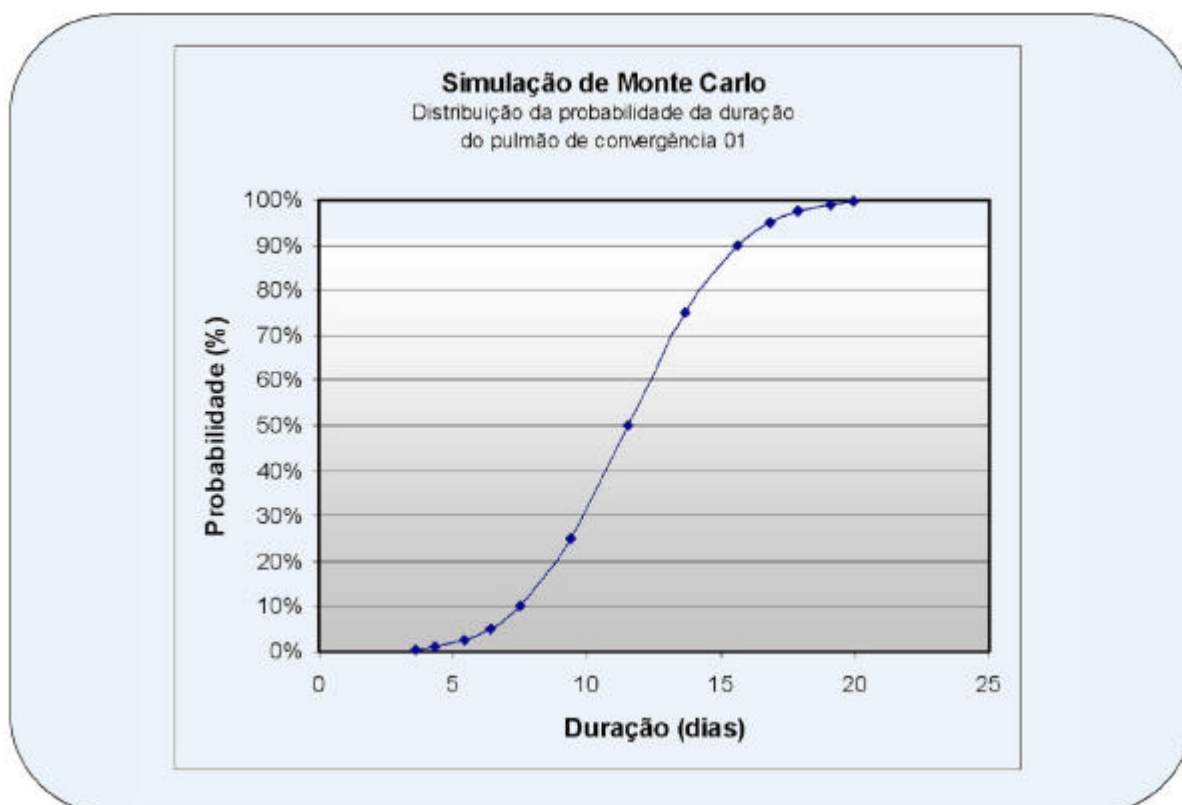


Gráfico 3.12 – Distribuição acumulada de probabilidades para o pulmão de convergência 01 (distribuição triangular).

As distribuições de probabilidades apresentadas para as durações dos pulmões de convergência, considerando a média mais ou menos um desvio-padrão e a duração para um nível de confiança de 90% são apresentadas no Gráfico 3.13. Observa-se que ambos os gráficos, distribuição uniforme e triangular, possuem uma distribuição semelhante.

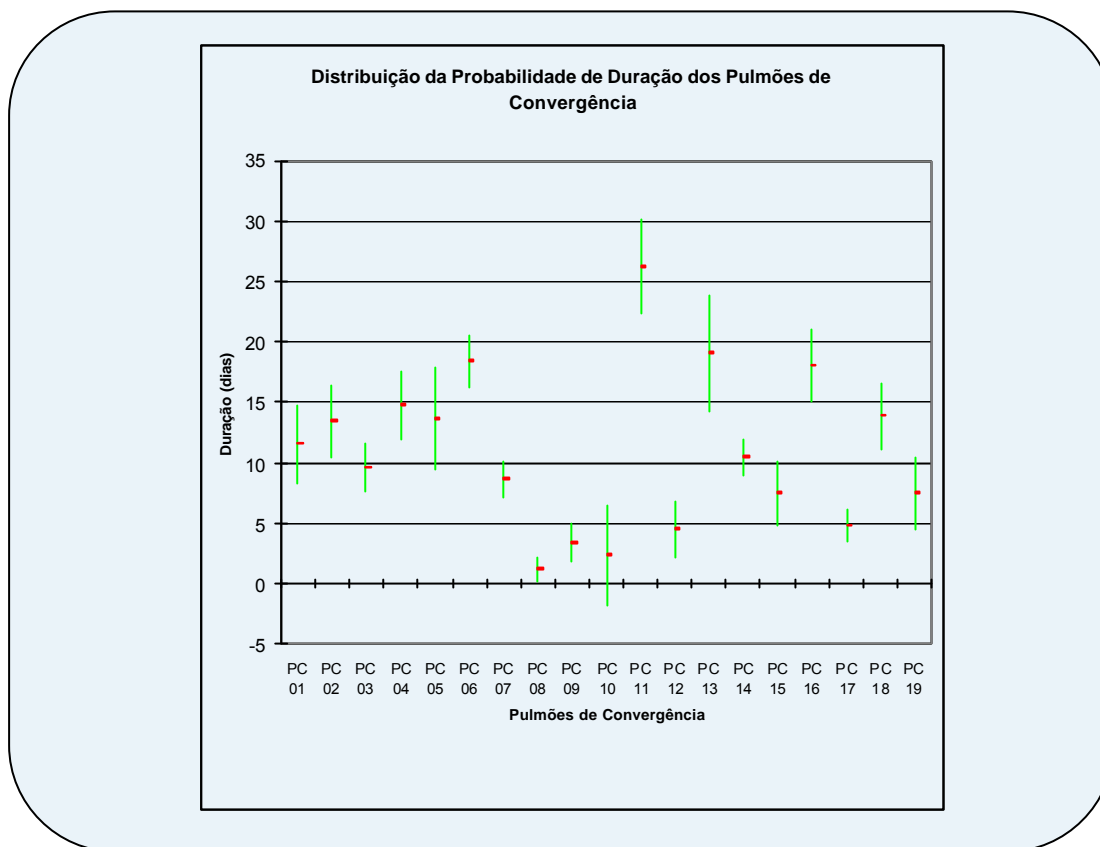


Gráfico 3.13 – Distribuição da probabilidade de duração dos pulmões de convergência (distribuição triangular).

3.5.6 Simulação de Monte Carlo utilizando o software Pertmaster

A seguir será apresentada uma aplicação da simulação de Monte Carlo usando o Pertmaster¹², que é específico para a análise de riscos da programação. Este software utiliza o diagrama de precedências possibilitando a aplicação de diversas distribuições de probabilidades (triangular, uniforme, normal, beta, log-normal, etc.) em diversos parâmetros do projeto. Permite a aplicação da incerteza nas estimativas de durações das atividades, nos custos das atividades, na utilização dos recursos, no custo dos recursos e na probabilidade de ocorrência de uma atividade. Também possibilita o uso de árvores de decisão, a geração de fluxo de caixa probabilístico e a aplicação da probabilidade no uso dos recursos.

¹² Pertmaster Project Risk, software desenvolvido pela Pertmaster Project Analytics, e adquirido pela Primavera Systems, Inc.

3.5.6.1 Procedimento adotado (distribuição triangular)

A base de dados do Primavera Enterprise foi exportada para o Pertmaster Project Risk.

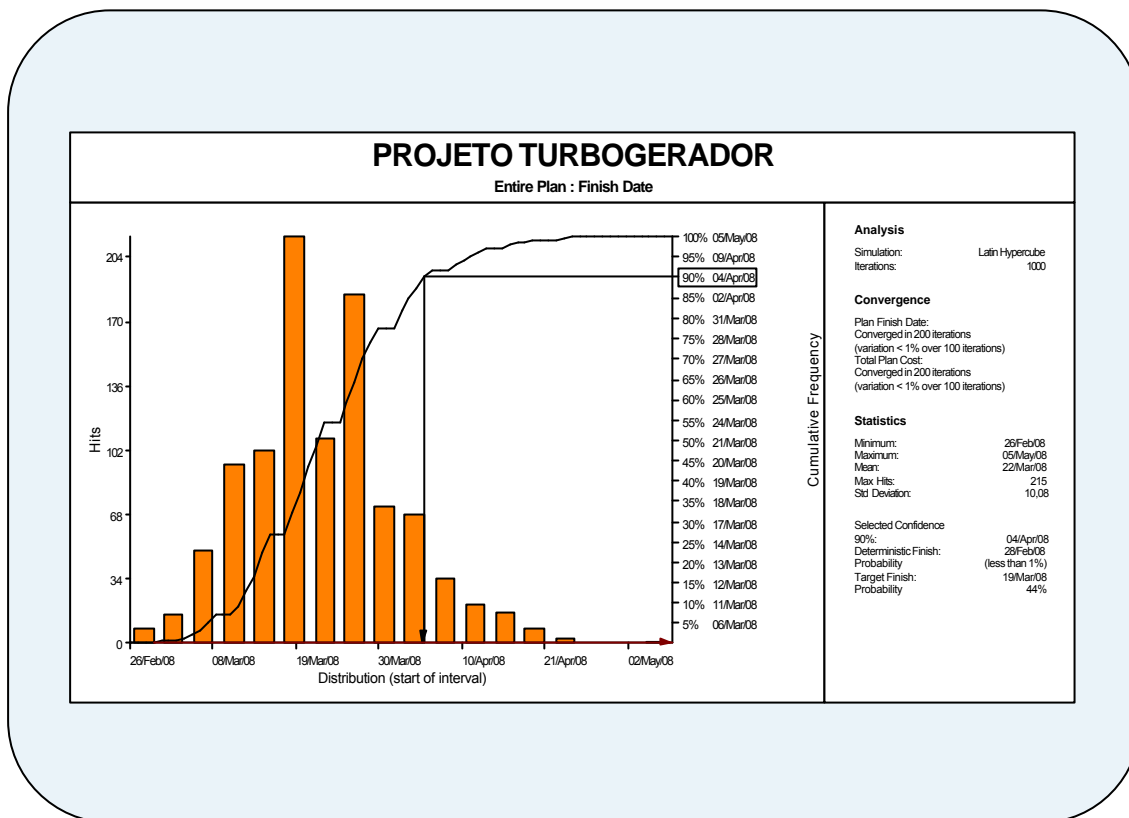
Configurou-se o Pertmaster para utilizar a distribuição triangular, para a utilização, conforme informado no início desta dissertação, das estimativas otimista, mais provável e pessimista, elaboradas pelos especialistas das diversas disciplinas da **Empresa A**. Essas estimativas foram carregadas na base de dados do Pertmaster, selecionando-se a realização de 1.000 iterações para elaboração da simulação.

A base de dados carregada do P3e gerou um cronograma no Pertmaster, através do método do caminho crítico, que apresentou para a conclusão do projeto a data de 28/02/08.

3.5.6.2 Análise dos resultados (distribuição triangular)

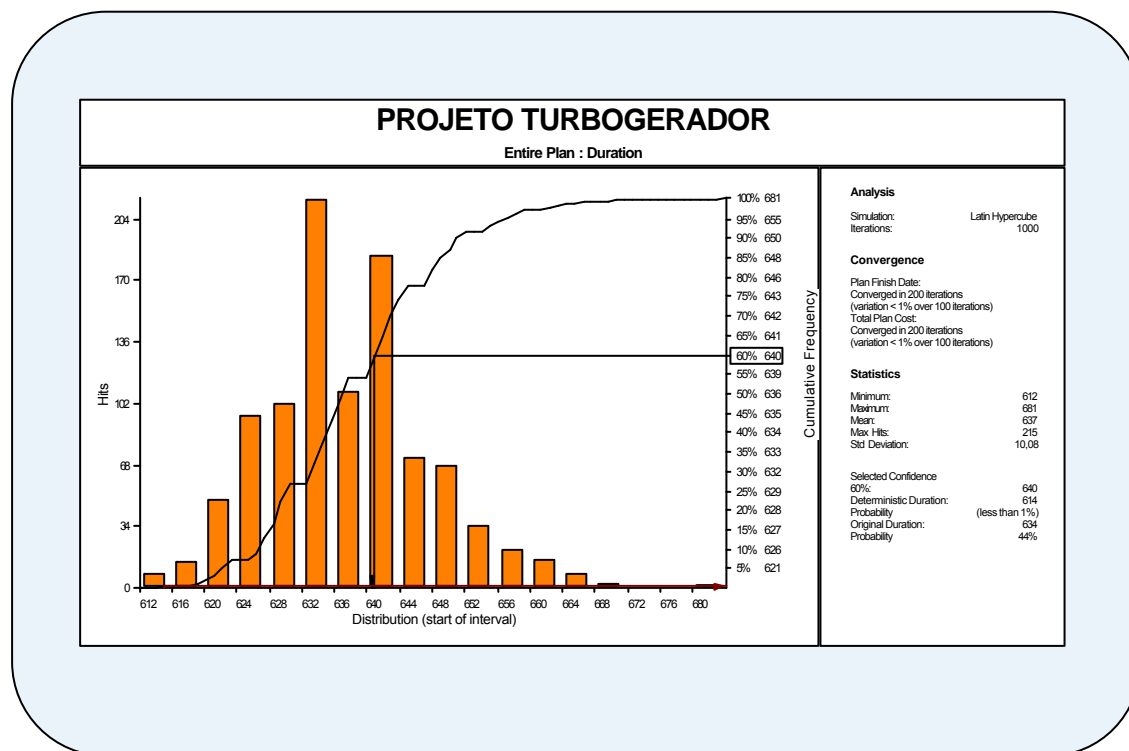
Após aplicação da simulação de Monte Carlo, considerando 1.000 iterações, foram apresentados os seguintes resultados para o Projeto Turbogenerador:

- ✓ O Quadro 3.1 apresenta o resultado da simulação, informando que a data do CPM (28/02/08) possui uma probabilidade de ocorrência menor do que 1%, e que, para um nível de 90% de confiabilidade, o término do projeto deve ocorrer em 04/04/08. Na simulação elaborada anteriormente, foi obtido, no caso de utilização da distribuição triangular, a probabilidade de 0,9% para conclusão do projeto em 28/02/08, e para o nível de confiança de 90% a data calculada era 01/04/08 ou 646 dias. Os resultados das duas simulações são idênticos.



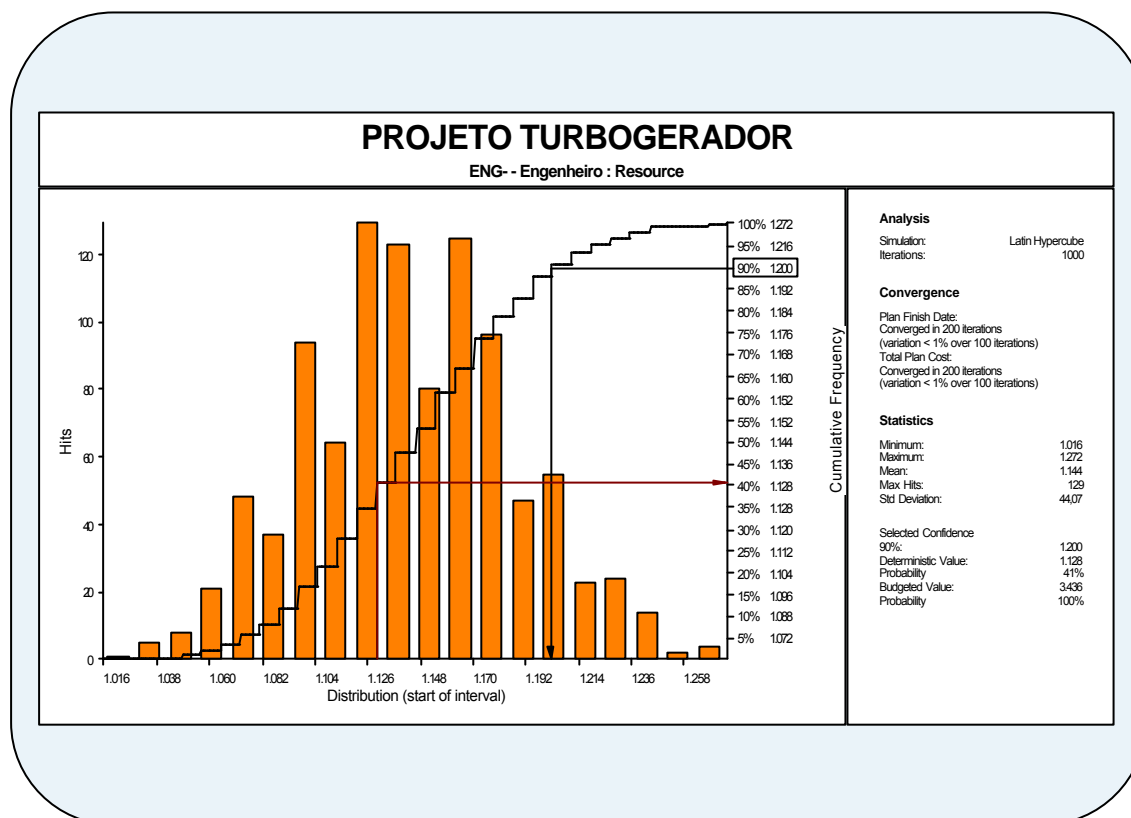
Quadro 3.1 - Resultado da programação do projeto usando o Pertmaster.

✓ No Quadro 3.2 é apresentada a duração de 640 dias calculada na simulação, sendo que foram encontrados anteriormente 646 dias.



Quadro 3.2 - Resultado da programação do projeto, em dias, usando o Pertmaster.

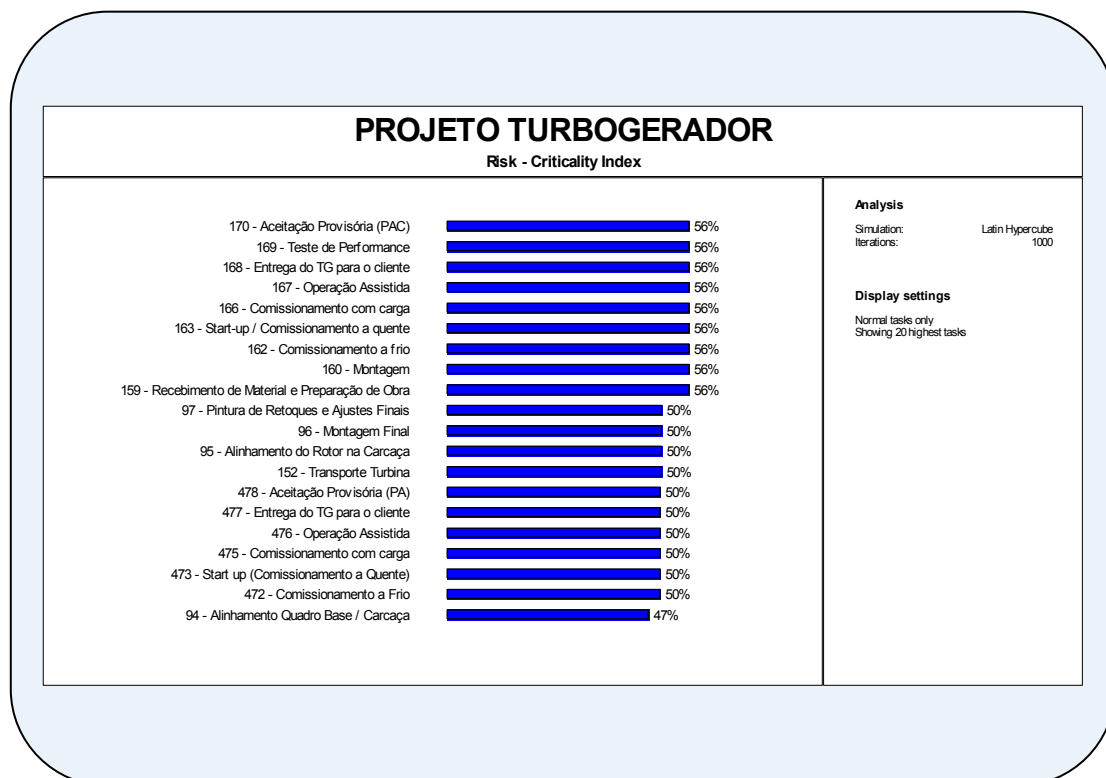
- ✓ O Quadro 3.3 mostra como resultado a utilização de recursos, apresentando 1.200 Hh de engenheiro, para um nível de confiança de 90%.



Quadro 3.3 – Análise do recurso engenheiro pelo Pertmaster.

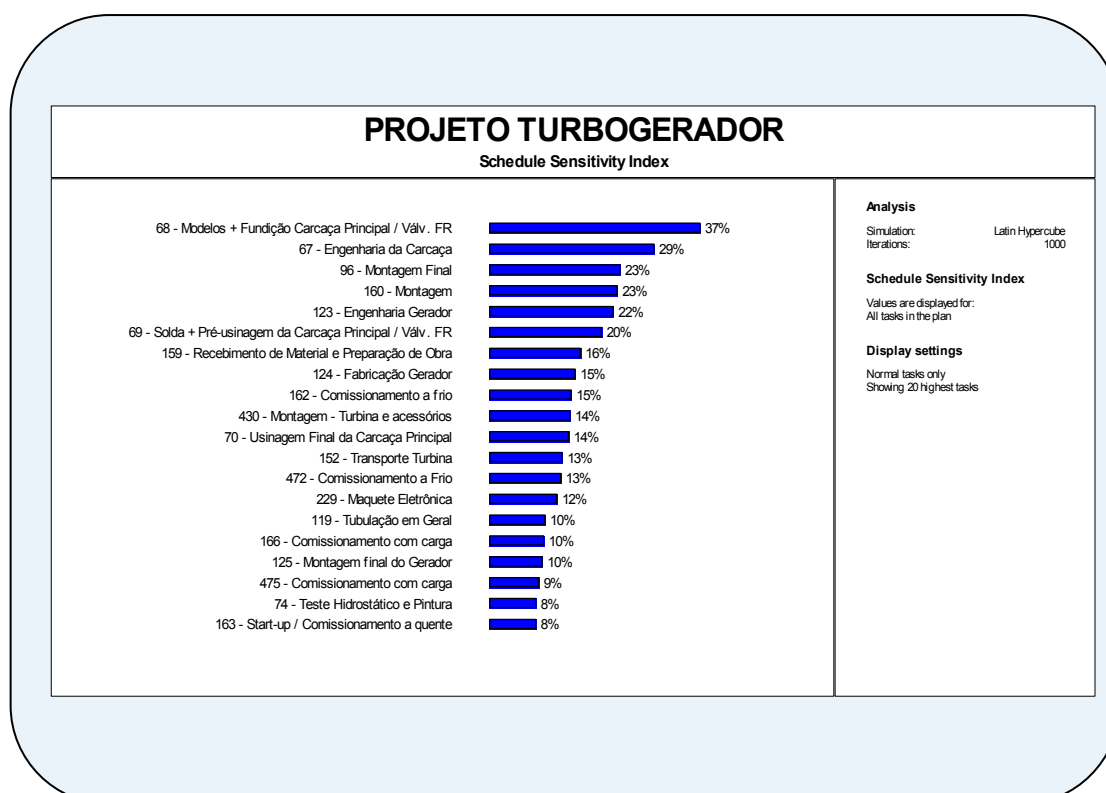
- ✓ Também são apresentados pelo Pertmaster alguns índices que possibilitam um melhor gerenciamento de riscos do cronograma, como, por exemplo, o índice de criticidade¹³ que calcula o percentual de iterações em que cada atividade surgiu como crítica. Este índice representa a probabilidade de uma atividade pertencer a um dos possíveis caminhos críticos do cronograma (Quadro 3.4).

¹³ Criticality index, no original.



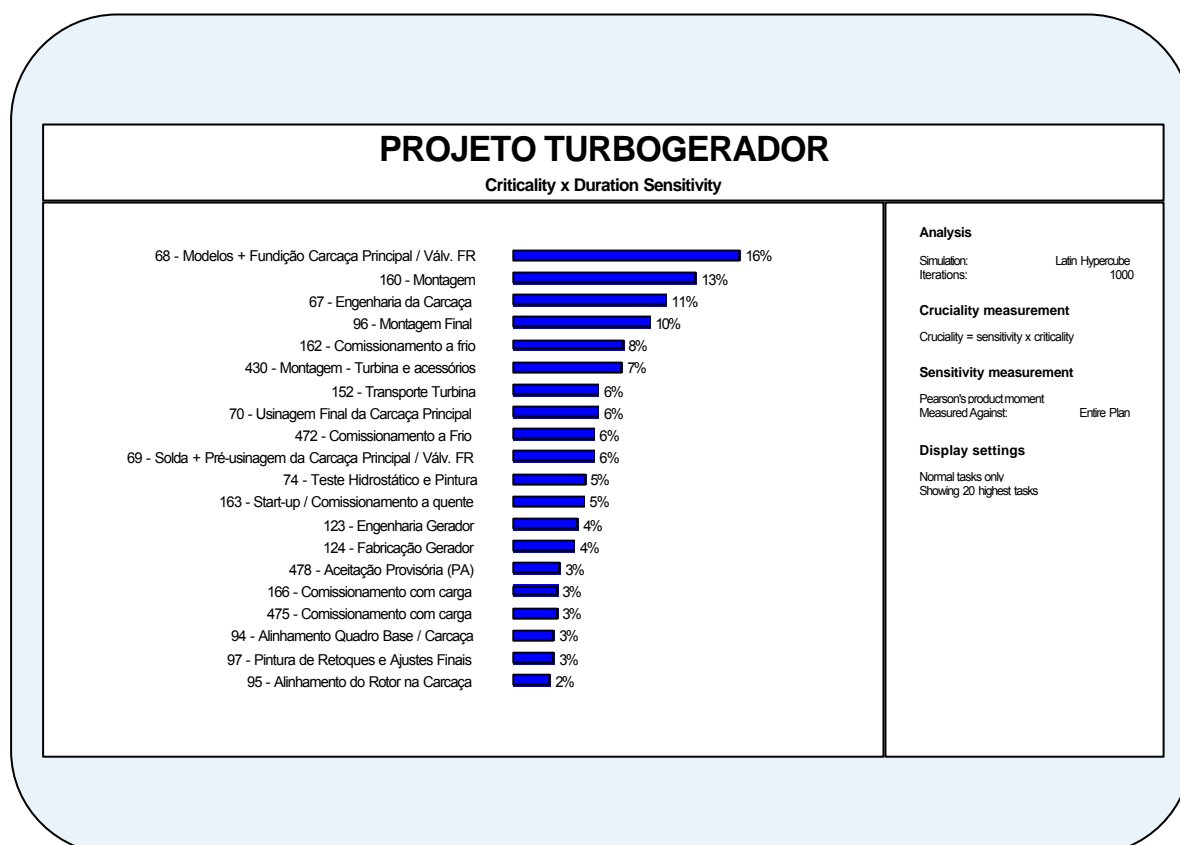
Quadro 3.4 – Índice de criticidade do projeto.

- ✓ No Quadro 3.5 é apresentado o índice de sensibilidade, que retrata quais atividades possuem uma maior influência no resultado do cronograma.



Quadro 3.5 – Índice de sensibilidade do projeto.

- ✓ No Quadro 3.6 é apresentado o índice combinado de criticidade x sensibilidade da duração. Analisando este quadro, percebe-se que a atividade 68 – Modelos + fundição carcaça principal é a atividade que releva maior influência no resultado do cronograma.



Quadro 3.6 – Índice de criticidade x sensibilidade do projeto.

4 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS

A seguir será apresentada a análise geral dos resultados obtidos com a aplicação do método do caminho crítico, método da corrente crítica e simulação de Monte Carlo, no Projeto do Turbogenerador, que está sendo desenvolvido em uma empresa de Consultoria em Engenharia, em regime de EPC. Esses dados estão resumidos na Tabela 4.1 – Resumo geral das técnicas utilizadas.

O Método do Caminho Crítico – CPM é uma técnica testada há bastante tempo, cerca de 50 anos. Trata-se de uma técnica usada para projetos de todos os tamanhos e em todas as áreas de aplicação. Ela possibilita um bom planejamento e controle dos projetos, permitindo a utilização das datas cedo e tarde, o gerenciamento do(s) caminho(s) crítico(s) e das folgas, e principalmente a otimização no uso de recursos, através do nivelamento. No caso do Projeto do Turbogenerador, inicialmente não se utilizou o planejamento e o nivelamento de recursos (fato que se observa com a maioria dos usuários desta técnica, embora as técnicas de nivelamento de recursos sejam consideradas como parte integrante do CPM e que autores como Woodhead, Antill Moder, Philipps e Davis, desde a década de 1960, ressaltam a importância do nivelamento de recursos). A programação operacional, mostrada no ANEXO A – Quadro 8.5, apresenta a data de término do empreendimento em 28/02/08. O histograma de recursos, mostrado no APÊNDICE A – Quadro A1, não está nivelado, revelando um valor de pico muito alto (1.371 Hh), praticamente o dobro do valor médio (631 Hh). Já na programação operacional mostrada no APÊNDICE A – Quadro 7.1, foi utilizado o nivelamento de recursos, o que pode ser verificado na fase da Engenharia do BOP, que teve sua duração alterada para 309 dias úteis, contra 165. O histograma do APÊNDICE A – Quadro A1 apresenta a distribuição de recursos na programação nivelada, em que se observa que esta distribuição revela um pico de 405 Hh (contra 1371 Hh no cronograma sem nivelamento), correspondendo a aproximadamente 30% do pico anterior.

Torna-se importante ressaltar que a data prevista para conclusão do projeto apresentou nas simulações realizadas, uma probabilidade menor do que 1%. Esta probabilidade

não significa que o modelo determinístico seja incompetente, mas pode significar que as estimativas de durações pessimista e otimista apresentam uma variação extremamente grande, ou que o diagrama de rede possui uma grande quantidade de caminhos “quase críticos”. Foi constatado que o diagrama do projeto Turbogenerador apresenta nove caminhos, cuja folga total é menor do que 10 dias.

O Método da Corrente Crítica - CCPM, conforme metodologia apresentada por Goldratt, aplica uma redução de 25% na duração do projeto, uma vez que a duração de cada atividade é reduzida de 50% e os pulmões são calculados considerando 25% das durações das atividades. Existem diversas controvérsias e dúvidas apresentadas pela teoria da CCPM, que estão sendo amplamente discutidas na comunidade de gerenciamento de projetos. Como exemplo pode-se citar:

- A redução de 50% na duração das atividades é factível?
- Em um EPC, em que normalmente se tem um número significativo de empresas envolvidas, como conseguir o comprometimento com esta técnica?
- Em períodos em que existe alta demanda pela aquisição de equipamentos, em que os fornecedores estão com suas carteiras repletas de pedidos, como conseguir reduções significativas nos prazos de fornecimentos?
- Como conseguir reduzir 50% nas estimativas de duração, uma vez que temos atividades que possuem limitações de recursos, não sendo possível o aumento da quantidade de recursos, para se obter uma redução na duração, e também como proceder com as atividades de durações fixas?
- Como conseguir reduzir a duração de atividades cuja duração transcende aspectos como alocação de recursos, também a cura de concreto ou a montagem de um mancal de uma turbina? São atividades cujas durações transcendem aspectos de estimativas subjetivas, conforme considerado na teoria da CCPM. O mesmo vale para atividades de testes e comissionamento cujas durações seguem requisitos associados à

durabilidade e disponibilidade de componentes e não uma simples alocação de recursos.

- Como proceder em projetos que possuem interfaces externas?
- Como identificar a corrente crítica em projetos nos quais não temos recursos nominalmente designados, mas sim categorias de recursos como engenheiros, projetistas, soldadores, pedreiros, guindastes, etc.?
- Na CCPM, ao se programar pelas datas tarde, não estamos provocando uma sobreposição de recursos e, conseqüentemente, um pico extremamente alto de recursos?
- Como realizar o dimensionamento dos pulmões em caminhos em que se têm diversas atividades em paralelo, ou seja, ligações início-início, término-término e início-término?

Conforme mencionado, o método da corrente crítica, nesta dissertação, foi abordado como uma dentre outras técnicas a serem comparadas, portanto, não se pretendeu esgotar o tema ou adentrar nas discussões e polêmicas teóricas que envolvem esta técnica, mas as questões acima indicam que os resultados das simulações que empregaram estas técnicas devem ser analisados à luz dos comentários acima.

Atualmente é possível encontrar diversos artigos publicados sobre o tema. O PMI apresentou este assunto na terceira edição do PMBOK, não fornecendo nenhum comentário sobre a técnica. O PMI admite que a técnica do CCPM é controversa e tem promovido uma série de debates sobre ela.

Analisando a aplicação do método da corrente crítica, observa-se na programação do projeto apresentada no ANEXO C – Quadro 7.3, que ocorreu uma redução significativa tanto no prazo do empreendimento (de 439 dias para 330 dias), como no prazo da fase de engenharia do BOP (de 309 dias para 196 dias), quando comparada ao CPM com nivelamento de recursos. Analisando-se nesta programação a fase de suprimento, que é uma das fases mais importantes no ciclo de vida de um projeto industrial, pois ela normalmente possui um peso significativo tanto em custo quanto no prazo do empreendimento, questiona-se a possibilidade de obtenção das reduções nos prazos

de fornecimento dos pacotes de equipamentos, materiais e serviços. Na prática, esta redução é extremamente difícil, sobretudo em períodos em que o mercado está aquecido, como ocorre atualmente. Para simular a aplicação da CCPM no Projeto do Turbogenerador, foi assumido, como premissa, a possibilidade de redução dos prazos de fornecimento. Outra premissa adotada foi a redução de 50% na estimativa de homens-hora do recurso engenheiro, mesmo sabendo que na prática existem atividades cuja duração não é determinada em função dos recursos alocados, por exemplo, as atividades que possuem durações fixas, como a cura do concreto, aprovações legais, aprovações pelo cliente, etc. Por outro lado, também existem atividades com durações pré-definidas por requisitos técnicos, por exemplo, testes de turbinas e a montagem do mancal, em que nestes casos não é possível reduzir suas durações com a alocação de mais mão-de-obra, pois existem limitações físicas.

Analisando o histograma de recursos, Gráfico 3.9, pode-se observar que, em função da programação realizada utilizando-se das datas tarde, conforme estabelecido pelo Goldratt, o mesmo está deslocado para a direita na escala de tempo, e que mesmo com a redução de 50% no recurso engenheiro, tem-se um pico de aproximadamente 600 Hh. A programação nivelada apresentou um pico de 405 Hh para a quantidade total de horas estimadas.

A simulação de Monte Carlo possibilitou a verificação dos comportamentos dos métodos do CPM e da CCPM, através da rede lógica, introduzindo incertezas nas durações das atividades. Para esta análise foi considerado um modelo estocástico em que foram utilizadas distribuições uniforme (equiprováveis), arbitrando-se seus limites inferiores e superiores e triangular, considerando os três pontos (otimista, mais provável e pessimista).

Foi constatado que a distribuição uniforme apresenta a data de término mais tarde que o probabilístico, em decorrência da maior incerteza apresentada neste modelo. Já a distribuição triangular apresenta uma distribuição mais concentrada em torno da média. Por outro lado, por apresentar uma maior dispersão, os níveis de recursos da distribuição uniforme são menores que os da triangular. Este método apresentou como vantagem a geração de uma distribuição de valores previstos para a duração do

projeto, para a distribuição periódica dos recursos, possibilitando a elaboração de uma distribuição da probabilidade de alocação do recurso e conseqüente estabelecimento de um nível de confiança para a tomada de decisões. Os gráficos de distribuição da probabilidade de alocação de engenheiros, considerando o intervalo de um desvio-padrão, possuem comportamentos semelhantes nas duas análises realizadas, revelando o valor de pico em torno de 900 Hh.

Através das distribuições uniforme e triangular foi possível a análise da duração do projeto e do comportamento do pulmão do projeto e dos pulmões de convergência. Os resultados apresentados por meio dessas distribuições foram semelhantes. Por meio destas simulações verificou-se que o prazo final do projeto foi mantido e que o pulmão do projeto somente sofreu uma penetração máxima de 7 dias. Alguns pulmões de convergência (nº 8, 9, 10, 12, e 15) chegaram a ter penetração total, cumprindo seus papéis de proteger a restrição do projeto. Esses resultados indicaram que esta técnica estabeleceu uma proteção extremamente alta à data final do projeto, uma vez que o pulmão principal, com duração de 108 dias, não foi sequer ameaçado, chegando a ter no máximo uma penetração de 7 dias. A teoria de Goldratt em nenhum momento cita um redimensionamento desses pulmões.

As técnicas do CPM e do PERT são técnicas que possibilitam o cálculo da programação a partir de modelos que representam a estratégia e as táticas de condução de um dado empreendimento, e por si mesmas só trazem à simulação uma característica: a duração das atividades e os algoritmos de cálculos das datas. Seus resultados, portanto, serão tão bons quantos forem os modelos nos quais operam. Isto é, se a rede lógica for competente e as estimativas de durações forem bem elaboradas, pode-se esperar que seus resultados produzam expectativas de comportamento também competentes. Portanto, o CPM não só permanece como uma técnica válida, como é o ponto de partida para a aplicação das outras abordagens aqui analisadas.

Os processos de alocação de recursos demandam o emprego prévio de processos de programação, como ponto de partida para a aplicação das técnicas de nivelamento ou alocação de recursos, que são um campo de estudo em si mesmo, porém

profundamente inter-relacionado às técnicas de programação de prazos, sejam elas determinística (CPM), probabilística (PERT), estocásticas (GERT, Monte Carlo).

Por outro lado, é importante para a comunidade de gerenciamento de projeto o desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas, mas há de se ter cuidado para que não ocorra uma euforia generalizada para a utilização de técnicas que ainda não possuem sustentação teórica e prática.

Em função dos resultados obtidos, conclui-se que o método do caminho crítico, devido às técnicas de alocação e nivelamento de recursos, pode conduzir a programações bastante satisfatórias, conforme aquela aqui mostrada.

	Planejamento Original		Aplicação do Método da Corrente Crítica no Planejamento Original	Aplicação da Simulação no Planejamento Original		Aplicação da Simulação no Planejamento Original		Aplicação da Simulação no Planejamento Original	
	sem nivelamento	com nivelamento		Distribuição Uniforme	Distribuição Triangular	Distribuição Uniforme	Distribuição Triangular	Distribuição Uniforme	Distribuição Triangular
Técnica	CPM	CPM	Corrente crítica	CPM / Monte Carlo	CPM / Monte Carlo	CCPM / Monte Carlo	CCPM / Monte Carlo	Monte Carlo	Monte Carlo
Software	MSPProject	Primavera	Primavera	Excel / Primavera	Excel / Primavera	Excel / Primavera	Excel / Primavera	Pertmaster	Pertmaster
Data de término									
Determinista	28/2/2008	28/2/2008	6/11/2007	28/2/2008	28/2/2008	6/11/2007	6/11/2007		
Confiabilidade de 50%	-	-	-	2/4/2008	20/3/2008	6/11/2007	6/11/2007	2/4/2008	22/3/2008
Confiabilidade de 90%	-	-	-	19/4/2008	1/4/2008	6/11/2007	6/11/2007	17/4/2008	4/4/2008
Probabilidade de conclusão em 28/02/08				0,4%	0,9%	100%	100%	menor que 1%	menor que 1%
Duração									
Determinista	439	439	330	439	439	330	330		
Confiabilidade de 50%	-	-	-	647	634	-	-	648	637
Confiabilidade de (90%)	-	-	-	664	646	-	-	663	650
Desvio-padrão	-	-	-	13	9	-	-	12	10
Recurso Engenheiro									
Prazo da Fase de Engenharia do BOP	26/6/06 a 09/02/07	01/08/06 a 05/10/07	6/7/2006 a 27/03/07						
Prazo da Fase de Engenharia do BOP (dias)	165	309	196	-	-				
Valor médio de Hh (no pico)	462	247	390	598	636				
Valor p/ nível de confiança de 90% (no pico)	-	-	-	924	943			1216	1200
Valor de Hh(no pico)	1371	405	600	1127	1121			1320	1272
Mês de ocorrência do pico	out/06	nov/06	jan/07	nov/06	nov/06			-	-
Desvio-padrão Hh (no pico)	-	-	-	253	238			-	-
Durações dos Pulmões									
Duração original	-	-	-	-	-	108	108	-	-
Pulmão do projeto - confiabilidade de 50%	-	-	-	-	-	108	108	-	-
Pulmão do projeto - confiabilidade de 90%	-	-	-	-	-	109	108	-	-
Pulmão do projeto - desvio padrão	-	-	-	-	-	1	0	-	-
Pulmão do projeto - mínima duração	-	-	-	-	-	101	107	-	-
Pulmão do projeto - máxima duração	-	-	-	-	-	108	108	-	-

Tabela 4.1: Resumo geral das técnicas utilizadas

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No capítulo anterior foram analisados os resultados das análises críticas dos resultados obtidos com a aplicação do método do caminho crítico, método da corrente crítica e simulação de Monte Carlo, tendo como base de dados um projeto real que se encontra em desenvolvimento em uma empresa de Consultoria em Engenharia.

A seguir serão apresentadas as conclusões desta dissertação, suas limitações e sugestões de temas para futuras investigações.

Para se chegar até este ponto, foi necessária uma revisão bibliográfica profunda, buscando-se a fundamentação teórica para possibilitar um melhor entendimento das principais técnicas existentes para o gerenciamento de prazos em projetos. Esta fundamentação teórica foi de vital importância ao trabalho, pois possibilitou um entendimento claro das limitações das técnicas analisadas e, principalmente, o conhecimento das premissas assumidas no desenvolvimento dessas técnicas. Para isto tornou-se necessário um aprofundamento na revisão bibliográfica, tendo em vista que os autores modernos, ao escreverem seus livros, deixaram de mencionar essas premissas. Portanto, foram verificados detalhadamente os conceitos relacionados ao ciclo de vida dos projetos, o CPM, PERT, Corrente Crítica e simulação de Monte Carlo. Evidentemente, a maior dificuldade encontrada foi no aprofundamento teórico da corrente crítica, por ser uma técnica mais recente, com pouca disponibilidade bibliográfica. O próprio livro do Goldratt, que apresentou esta teoria, foi desenvolvido em forma de um romance, sem a preocupação de uma abordagem mais científica. Essa diferença na profundidade da análise fica bastante visível durante a leitura desta dissertação.

A simulação de Monte Carlo permitiu uma análise bastante profunda das técnicas em estudo, pois possibilitou a verificação dos comportamentos dos Métodos do CPM e da CCPM, utilizando-se de dois modelos básicos: o estocástico, através da distribuição uniforme, e o probabilístico, considerando a distribuição de três

pontos. Por meio simulação de Monte Carlo foi possível uma análise da duração do projeto, da alocação e nivelamento dos recursos, do comportamento do pulmão do projeto e dos pulmões de convergência, possibilitando, portanto, o cumprimento do objetivo proposto para esta dissertação, qual seja, o de desenvolver uma análise crítica das principais técnicas utilizadas no gerenciamento de prazos de projetos.

Os resultados observados indicam que técnicas de programação como o CPM devem ser complementadas por abordagens mais detalhadas, como o Método de Monte Carlo, para a obtenção de programações mais refinadas. Programações desta natureza poderão proporcionar análises de alocações de recursos mais eficientes e, portanto, em melhores condições de suportar a atuação de empresas em um ambiente de mercado cada vez mais competitivo.

Em complementação ao objetivo principal do trabalho, faz-se necessário destacar outros objetivos alcançados:

- a) Síntese e análise bibliográfica sobre o CPM, PERT e a Corrente Crítica, compondo um corpo de conhecimento básico sobre estes temas;
- b) Identificação de problemas quanto às definições dos termos usados por diferentes autores e fabricantes de ferramentas de gerenciamento, por não existir uma terminologia definida, nem em inglês, nem em português;
- c) Identificação de procedimentos e premissas necessárias à aplicação prática da CCPM, que não estão considerados na literatura consultada;
- d) Elaboração de um glossário de gerenciamento de projetos.

Como sugestão de temas para futuras investigações, cumpre destacar:

- a) Aprofundamento na utilização do método da corrente crítica, em um projeto industrial, através da execução de todas as fases do ciclo de vida de planejamento: planejamento estratégico, planejamento operacional, programação e controle;
- b) Desenvolvimento de uma sistemática para gerenciamento de riscos de prazos, contemplando a análise qualitativa, análise quantitativa, desenvolvimento de respostas e controle de riscos;
- c) Análise crítica do PERT.

BIBLIOGRAFIA

ADAMS, John R.; BARNDT, Stephen E. *Behavioral Implications of the project life cycle*. In: CLELAND, David I.; KING, William R. **Project management handbook**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 997 p. ISBN 0-442-22114-2.

ANDERSON, David R.; SWEENEY, Dennis J.; WILLIAMS, Thomas A. **An introduction to management science**: Quantitative approaches to decision making. 10th ed. Mason: South-Western, 2003. 881 p. ISBN 0-324-14563-2.

ARCHIBALD, Russell D. **Managing high-technology programs and projects**, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1992. 384 p. ISBN 0-471-51327-X.

ASSAYAG, Marcos. **Engenharia básica da Petrobrás**. Agosto, 2003. Disponível em: <<http://www.onip.org.br/arquivos>>. Acesso em: 08 fev. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10006**: Gestão da qualidade – diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos. Rio de Janeiro, 2000. 18 p.

BIATO, Fernando A.; GULLO, Vicente. **Avaliação de impactos sócio-ambientais na implantação de novos empreendimentos pela engenharia da PETROBRAS**. In: VII ENAENCO, 29 fev 2005, Recife. Disponível em: <<http://www.sinaenco.com.br/downloads/palestras-enaenco-VII>>. Acesso em: 06 fev 2006.

BURKE, Rory. **Project management: planning and control techniques**, 3rd ed. Chichester: John Wiley and Sons, 1999. 343 p. ISBN: 0-471-98762-X.

CABLE, Dwayne P.; ADAMS, John R. **Organizing for project management**. In: (Ed.) J. S. Pennypacker (Ed.). **Principles of project management**. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 1997. 2-28 p. Collected Handbooks from The Project Management Institute. ISBN 1-880410-30-3.

CLELAND, David I. **Project management** – Strategic design and implementation. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1994. 478 p. ISBN 0-07-011351-3.

_____, **Project management** – Strategic design and implementation. 3th ed. New York: McGraw-Hill, 1999. 560 p. ISBN 0-07-012020-X.

CLELAND, David I.; IRELAND, Lewis R. **Gerência de projetos**. Tradução de Carlos A. C. Salles Jr. Rio de Janeiro : Reichmann & Afonso Editores, 2002. 324p. ISBN 0-07-135263-5.

CLELAND, David I.; KING, William R., (Ed.) D. C. and W. K.: **Project management handbook**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 997 p. ISBN 0-442-22114-2.

_____, **Systems analysis and project management**, 3th ed. New York: McGraw-Hill, 1983. 490 p. ISBN 0-07-011311-4.

DECISIONEERING. **Crystal ball**: user manual. Denver, 2001, 412 p.

DINSMORE, Paul C. **Transformando estratégias empresariais em resultados através da gerência por projetos**. Rio de Janeiro: Qualimark, 1999. 284 p. ISBN 85-7303-236-7.

DINSMORE, Paul C. et al, editor P. D.: **The AMA handbook of project management**. New York: Amacon, 1993. 489 p. ISBN 0-8144-0106-6.

DÓRIA, Alir. **Vivendo 50 anos como engenheiro brasileiro**. Disponível em: <http://www.abceconsultoria.org.br/doc/doc25.html>. Acesso em: 18 dez 2006.

EVANS, James R.; OLSON, David L. **Introduction to simulation and risk analysis**. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002, 392 p. ISBN 0-13-032928-2.

FLEMING, Quentin W. **Cost / Schedule control systems criteria**: The management guide to C/SCSC. Burr Ridge: Irwin Professional Publishing, 1998. 561 p. ISBN 1-55738-289-1.

GEWEKE, John. **Decision making under risk and uncertainty**: New models and empirical findings. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992, 260 p. ISBN 0-7923-1904-4.

GILBREATH, Robert D. **Working with pulses, not streams**: Using projects to capture opportunity. In: CLELAND, David I.; KING, William R. **Project management handbook**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 997 p. ISBN 0-442-22114-2.

GOLDRATT, Eliyahu M. **Corrente crítica**. Tradução de Thomas Cobertt Neto. São Paulo: Nobel, 1998. ISBN 85-213-1310-1.

GOODPASTURE, John C. **Quantitative methods in project management**. Boca Raton: J. Ross Publishing, 2004. ISBN 1-932159-15-0.

GOUSE, Michael K.; STICKNEY, Frank A. **Overview of project management applications**. In: CLELAND, David I.; KING, William R. **Project management handbook**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. cap. 34, p. 869-901. ISBN 0-442-22114-2.

HANSON, Sven Oven. **Decision theory**: A brief introduction. Uppsala: Uppsala University, 1994. 95 p.

HUBBARD, Darrel G. **Working structuring**. In: DINSMORE, Paul C. et al. **The AMA handbook of project management**. New York: Amacon, 1993. 489 p. ISBN 0-8144-0106-6.

INDEPENDENT PROJECT ANALYSIS – IPA, **Benchmarking the cost effectiveness of offshore pipeline projects**. Disponível em: <http://www.ipaglobal.com/portuguese>. Acesso em: 31 abr 2006.

_____, **Creating value through the benchmarking of capital projects**. Disponível em: <http://www.nwcc.org/presents/battle.pdf>. Acesso em: 15 jun 2006.

_____. **Front-end loading workshop**. Disponível em: http://www.ipainstitute.com/home/programs/description/workshop_fel.aspx. Acesso em: 08 fev 2006.

_____, **Improving construction project outcomes and project returns**. In: NORTHWEST CONSTRUCTION CONSUMER COUNCIL, may, 2002. Disponível em: <http://www.nwcc.org/presents>. Acesso em: 08 fev 2006.

_____, **Sistema de avaliação de projetos**, Disponível em: <http://www.ipaglobal.com/portuguese>. Acesso em 28 jul 2005 e 12 fev 2006.

_____, **The project evaluation system**. Disponível em:
<<http://www.ipaglobal.com>>. Acesso em 28 jul 2005.

JOSHI, Narayan, **Benchmarking and best practices for turnarounds**. In: IQPC TURNAROUND CONFERENCE, september, 22, 2003. London, p. 7.

KANABAR, Vijay. **Project risk management: A step-by-step guide to reducing project risk**. Acton: Copley Custom Publishing Group, 1997. 106 p. ISBN 0-87411-901-4.

KENDRICH, Tom. **Identifying and managing project risk: Essential tools for failure-proofing your project**. New York: Amacon, 2003. 354 p. ISBN 0-8144-0761-7.

KERZNER, Harold. **Project management: A systems approach to planning, scheduling and controlling**. 6th ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997. 1.180 p. ISBN 0-442-02551-3.

_____, **Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling**. 9th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. 1.014 p. ISBN 13 978-0-471-74187-9.

_____, **Gestão de projetos: As melhores práticas**. Tradução de Marco Antonio Viana Borges; Marcelo Klippel; Gustavo Severo de Borba. Porto Alegre : Bookman, 2002. 519 p. ISBN 85-7307-874-X.

KEZSBOM, Deborah; SCHILLING, Donald L.; EDWARD, Katherine A. **Dynamic project management: a practical guide for managers & engineers**. New York: John Wiley & Sons, 1989. 357 p. ISBN 0-471-85248-1.

KIMMONS, Robert L.; LOWEREE, James H. **Project management: A reference for professionals**. New York: Marcel Dekker, 1989. 1096 p. ISBN 0-8247-7676-3.

KNUTSON, Joan; BITZ Ira. **Project management: How to plan and manage successful projects**. New York: Amacon, 1991. 198 p. ISBN 0-8144-5043-1.

LAVINGIA, Nick J. **Pacesetter project performance**. In: PMI dinner meeting , 5 set 2001. Houston: Disponível em: <<http://www.pmihouston.org/presentations>> Acesso em: 08 fev 2006

LEACH, Lawrence. P. **Critical chain project management**. Boston: Artech House, 2000. 330 p. ISBN 1-58053-074-5.

LEVINE, Harvey A. **Computers in project management**. In: CLELAND, David I; KING, William R. **Project management handbook**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 997 p. ISBN 0-442-22114-2.

LEVINE, Harvey A. **Practical project management: Tips, tactics, and tools**. New York: John Wiley & Sons, 2002. 378 p. ISBN 0-471-20303-3.

LEVINE, Harvey A. **Project initiation techniques: A Strategic View**. In: DINSMORE, Paul C. et al. **The AMA handbook of project management**. New York: Amacon, 1993. 489 p. ISBN 0-8144-0106-6.

LEWIS, James P. **Project planning, scheduling & control: A hands-on guide to bringing projects in on time and on budget**. Burr Ridge: Irwin, 1995. 350 p. ISBN 1-55738-869-5.

LIGO, A. K. **A simulação de Monte Carlo como instrumento de análise de riscos e seleção de projetos**. São Paulo: 2003. 115 p.

LONGMAN, **Dictionary of contemporary english**. Great Britain, Clays Ltd, 1995. 1668 p. ISBN 0 582 23750 5.

LOPES, Marcelo José Cavalcanti. **Dispositivos e condições contratuais que dão suporte a um financiamento de longo prazo, modalidade project finance, para projetos termoelétricos a gás natural no Brasil**. 2003. 89 p. Dissertação – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MAXIMIANO, Antonio C. Amaru. **Administração de projetos**: Transformando idéias em resultados. São Paulo: Editora Atlas, 1997, 196 p. ISBN 85-224-1735-0

MEREDITH, Jack R.; MANTEL, Samuel J. JR. **Project management – A managerial approach**. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 767 p. ISBN 0-471-01626-8.

_____. **Project management – A Managerial Approach**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2000. 616 p. ISBN 0-471-29829-8.

MICHAELS, Jack V. **Technical risk management**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996, 432 p. ISBN 0-13-1555756-4.

MIGUEL, António. **Gestão do risco e da qualidade no desenvolvimento de software**. Lisboa: FCA Editora de Informática, 2002. 440 p. ISBN 972 722 333 8.

MODER, Joseph J.; PHILLIPS, Cecil R. **Project management with CPM and PERT**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1964, 283 p. (Library of Congress Catalog Number: 64-20580).

MODER, Joseph J.; PHILLIPS, Cecil R.; DAVIS, Edward W. **Project management with CPM, PERT and precedence diagramming**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983, 389 p. ISBN 0-442-25415-6.

MODER, Joseph J. **Network techniques in project management**. In: CLELAND, David I.; KING, William R. **Project management handbook**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 997 p. ISBN 0-442-22114-2.

MORRIS, Peter W. G. **Managing project interfaces – Key Points for Project Success**. In: CLELAND, David I.; KING, William R. **Project management handbook**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 997 p. ISBN 0-442-22114-2.

MULCAHY, Rita. **Risk management: Tricks of the trade for project managers**. Minneapolis, 2003, 336 p. ISBN 0-9711647-9-7.

MUSTANG, **Project system management**. Disponível em: <<http://www.portal.mustang.com>>. Acesso em: 06 fev 2006.

O'BRIEN, James J.; PLOTNICK, Fredric L. **CPM in construction management**. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2006. 652 p. ISBN 0-07-145769-0.

OLSSON, Carl. **Risk management in emerging markets**. London: Pearson Education Limited, 2002. 311 p. ISBN 0 273 65618 X.

PARODI, Felix J. **Lessons from quantitative competitive benchmarking to Impact the capital effectiveness of the latin american forest, pulp and paper industry**. In: 34^o Annual pulp and paper meeting, 22 a 25 oct 2001. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank>>. Acesso em 08 fev 2006.

PASSWATERS, Judith W. **In capital projects technology**: Roadmapping Initiative. FIATECH, oct 2004. Austin. Disponível em: <<http://www.fiatech.org>>. Acesso em 08 fev 2006.

Pinto, José Emílio Nunes. **O contrato de EPC para construções de grandes obras de engenharia e o novo código civil**. Disponível em:

<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=2806>. Acesso em: 12 dez 2006.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software**. Makron Books do Brasil, 1995, 1056 p.

PRITCHARD, Carl L., **Risk management: Concepts and Guidance**. Arlington: ESI International, 1997, 218 p. ISBN 1-890367-06-0.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide to the project management body of knowledge: PMBOK guide**. 3rd ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2004. ISBN 1-930699-50-6 (CD-ROM).

_____. **Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**: Guia PMBOK. 3^a ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2004. ISBN 1-930699-74-3.

_____. **Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**: Guia PMBOK. edição 2000. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2002. ISBN 1-930699-19-0.

_____. **A guide to the project management body of knowledge: PMBOK Guide**. 2000 ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2001. ISBN 1-880410-25-7 (CD-ROM).

_____. **A guide to the project management body of knowledge: PMBOK Guide**. 1996 ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 1996. ISBN 1-880410-12-5.

_____, (Ed.) J. S. Pennypacker **Principles of project management**. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 1997. 285 p. Collected Handbooks from The Project Management Institute. ISBN 1-880410-30-3.

PMI TODAY. Newton Square, PA: Project Management Institute, dec 2006. (Mensal)

RAFTERY, John. **Risk analysis in project management**. São Paulo: E & FN Spon, 1994, 143 p. ISBN 0-419-18420-1.

RABECHINI, Roque Jr. **Competências e maturidade em gestão de projetos**: Uma perspectiva estruturada. 2003. 274 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

RAGSDALE, Cliff T. **Spreadsheet modeling and decision analysis**: A practical introduction to management science. Cincinnati: South-Western College Publishing, 2001. 794 p. ISBN 0-324-02122-4.

RAMÍREZ, René E. K.; BROOKS, MJ K. **Benchmarking the cost effectiveness of offshore pipeline projects**. Disponível em: <<http://www.ipaglobal.com>>. Acesso em 12 fev 2006.

Robbinson, Stewart. **Simulation: The practice of model development and use**. . New York: John Wiley & Sons, 2004. 316 p. ISBN 0-470-84772-7.

ROCKETTO, Harold, **Small projects / large value**, Disponível em: <<http://www.ispe.org/centralcanada/pdf/presentation>>. Acesso em: 06 fev 2006.

ROSENAU, Milton D. Jr. **Successful project management**: A step-by-step approaches with practical examples. New York : Van Nostrand Reinhold, 1992. 295 p. ISBN 0-442-00655-1.

ROVAI, Ricardo L. **Modelo estruturado para gestão de riscos em projetos**: Estudo de múltiplos casos. 2005, 405 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SABBAG, Paulo Y. **Incerteza e riscos**: O trabalho de gerenciadores de projetos. 2002. 340 p. Tese (Doutorado) - Escola de Administração de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2002.

SCHUYLER, John R. **Risk and decision analysis in projects**. 2nd ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2001. 259p. ISBN 1-880410-28-1.

SMITH, Preston G.; MERRITT, Guy M. **Proactive risk management**: Controlling uncertainty in product development. New York: Productivity Press, 2002, 226 p. ISBN 1-56327-265-2.

STANDISH GROUP INTERNATIONAL, **Chaos**: A recipe for success. Disponível em: <<http://www.standishgroup.com>>. Acesso em: 12 fev 2006.

STANDISH GROUP INTERNATIONAL, **The chaos report**. Disponível em: <<http://www.standishgroup.com>>. Acesso em: 12 fev 2006.

STANDISH GROUP INTERNATIONAL, **Extreme chaos**. Disponível em: <<http://www.standishgroup.com>>. Acesso em: 12 fev 2006.

SHTUB, Avraham.; BARD, Jonathan F.; GLOBERSON, Shlomo. **Project Management**: Engineering, technology, and implementation. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994. 634 p. ISBN 0-13-556458-1.

SILVA, Wilson G. R. **Metologia de gerenciamento de projetos do segmento de E&P da Petrobras**. In: III Seminário internacional do PMI-SP, 28 ago 2003. São Paulo: Disponível em: <<http://www.pmisp.org/exe/seminário>>. Acesso em 08 fev 2006.

STUCKENBRUCK, DR. L. C., Ed., **The Implementation Of Project Management**, Project Management Institute, PA, WILEY, 1981, P. 2-3.

TAPIA, Carlos, **Research and metrics measuring capital project best practices**. In: Northwest construction consumer council meeting, 25 fev 2004. Disponível em: <<http://www.nwcc.org/presents/tapia.pdf>>. Acesso em: 08 fev 2006.

THE IPA INSTITUTE. **Best practice pays off**. Disponível em: <<http://www.ipainstitutel.com>>. Acesso em 14 jun 2006.

_____. **Front-end loading workshop**. Disponível em: <http://www.ipainstitutel.com/home/programs/description/workshop_fel.aspx>. Acesso em 08 fev 2006.

_____. **Presentation**. Disponível em: <<http://www.ipainstitutel.com>>. Acesso em 14 jun 2006.

_____. **The business stake in effective project systems**. Disponível em: <<http://www.ipainstitutel.com>>. Acesso em: 14 jun 2006.

THOMPSON, Peter; PERRY, John. **Engineering construction risks: A guide to project risks analysis and risk management**. London: Thomas Telford, 1992. 61 p. ISBN 0 7277 1665 4.

TORRES, O F F. **Planejamento, programação e controle de projetos por rês CPM e PERT**. Anotações de aula na instituição Fundação Vansolini, São Paulo, 1999.

TUMAN, John Jr. **Development and implementation of project management systems**. In: CLELAND, David I.; KING, William R. **Project management handbook**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 997 p. ISBN 0-442-22114-2.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses / Divisão de Biblioteca da Epusp**. 3 ed.. São Paulo, 2006. 103 p.

VIAN, Ângelo **As novas modalidades de contratações na execução de empreendimentos – EPC/Turn-key**. Disponível em: <http://www.abceconsultoria.org.br/doc/doc32.html>. Acesso em: 12 dez 2006.

_____. **Engenharia & Desenvolvimento**. Disponível em: <http://www.abceconsultoria.org.br/doc/doc58.html>. Acesso em: 18 dez 2006.

_____. **Política para a Engenharia Brasileira**. Disponível em: <http://www.abceconsultoria.org.br/doc/doc44.html>. Acesso em: 18 dez 2006.

VOSE, D. **Risk analysis**: a quantitative guide. 2^a ed. Chichester: Wiley, 2005.

WEBSTER, Francis M. Jr. **What project management is all about**. In: DINSMORE, Paul C. et al. **The AMA handbook of project management**. New York: Amacon, 1993. 489 p. ISBN 0-8144-0106-6.

WESTNEY, Richard E. **Paradigms for planning productive projects**. In: DINSMORE, Paul C. **The AMA handbook of project management**. New York: Amacon, 1993. Cap. 9, p. 117-130, ISBN 0-8144-0106-6.

WHITEHOUSE, Gary E. **Systems analysis and design using network techniques**. New Jersey: Prentice-Hall, 1973. 500 p. ISBN 0-13-881474-0.

WIDEMAN, Max R. **Wideman comparative glossary of project management**. Disponível em: <http://www.maxwideman.com/pmglossary/PMG_S08.htm>. Acesso em: 21 abr 2006.

WIDEMAN, Max R. **Project and program risk management: A guide to managing projects risks and opportunities**. Upper Darby: Project Management Institute, 1992. The PMBOK handbook series – vol 6. ISBN 1-880410-06-0.

WIDEMAN, Max R. **Wideman. The role of the project life cycle (Life Span) in project management**. Disponível em: <<http://www.maxwideman.com/papers/plc-model/intro.htm>>. Acesso em: 08 fev 2006.

WILLINK, Alex. **Front-end loading and project delivery**. nov 2005. Disponível em: <<http://www.skmconsulting.com/nr/rdonlyres>>. Acesso em: 08 fev 2006.

YAZBEK, Jorge Arnaldo Curi. **PMO (project management office): estudo de aplicação para empresas construtoras de obras de infra-estrutura**. 2005, 201 p. Dissertação – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

ZORICK, Ethan. **Upstream benchmarking**. In: 34º Annual pulp and paper meeting, 22 a 25 out 2001. Disponível em: <<http://www.worldexpro.com/articles/postarticles>>. Acesso em 08 fev 2006.