

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS

**ANÁLISE E ESPECIFICAÇÃO DE UM
SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA
PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE
CURTO PRAZO DE SISTEMAS
HIDROTÉRMICOS**

por: Ana Cláudia Vasconcelos Soares/Bulcão

orientador: Prof. Dr. Takaaki Ohishi

Dissertação submetida à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas, para preenchimento dos pré-requisitos parciais para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA

novembro 1993

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Ana Cláudia V.S. Bulcão
..... avaliada pela Comissão
Juizadora em 22 10 93
Takaaki Ohishi
Orientador

À minha família

Conteúdo

CONTEÚDO	ii
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS HIDROTÉRMICOS	3
2.1 A CADEIA DE PLANEJAMENTO	3
2.2 O PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE CURTO PRAZO	7
3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO	15
3.1 O APOIO À TOMADA DE DECISÃO	16
3.2 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO	24
3.2.1 O SUB-SISTEMA DE DADOS	26
3.2.2 O SUB-SISTEMA DE MODELOS	28

3.2.3	O SUB-SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	29
3.2.4	O GERENCIADOR DE CONHECIMENTO	31
3.2.5	O DECISOR	31
4	O SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS HIDROTÉRMICOS	33
4.1	ESTUDO DE VIABILIDADE DO SAD-POCP	35
4.2	O ESCOPO DO POCP	37
5	A ANÁLISE DO SISTEMA	40
6	O PROJETO DO SISTEMA	47
7	A ARQUITETURA DO SISTEMA	60
7.1	O PROBLEMA	60
7.2	A ARQUITETURA	65
8	O DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	72
9	CONCLUSÕES	84
A	MODELO ENTIDADE-RELACIONAMENTO	87
B	DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS	94
C	NORMALIZAÇÃO	98
D	DICIONÁRIO	103
E	BANCO DE DADOS	106
E.1	PROJETO CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS	106
E.1.1	BANCO DE DADOS RELACIONAL	107

E.1.2 BANCO DE DADOS DE REDE	108
E.1.3 BANCO DE DADOS HIERÁRQUICO	108
F RESULTADOS DA ANÁLISE	109
G RESULTADOS DO PROJETO	118
BIBLIOGRAFIA	132

Agradecimentos

à minha família que sempre me incentivou

ao meu orientador Takaaki Ohishi pelo incentivo e paciência no desenvolvimento deste trabalho

aos meus amigos Tânia, Picinato, Cássio, Gelson, Vitor, Ely, Marcelo Nishi e Márcia

ao Paulo Valente pelo carinho e apoio

a todos os meus companheiros de departamento

ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) , ao Fundo de Apoio ao Ensino e Pesquisa (FAEP)

Resumo

O Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos tanto a nível estratégico, tático como operacional constitui um processo de tomada de decisão, onde determina-se uma política de operação do sistema para um dado horizonte de tempo através da utilização de modelos matemáticos. Dentro deste contexto, propõe-se o desenvolvimento de um sistema de informação para auxiliar o planejamento da operação, e mais especificamente, um Sistema de Apoio à Decisão para o Planejamento de Curto Prazo.

Abstract

The Operation of Hydrothermal Systems constitutes a decision making process, where the operation planning study is usually performed by mathematical programming models. In order to assist the decision maker in the Short-Term Operation Planning of Hydrothermal Systems, a Decision Support System is proposed here.

Lista de Figuras

2.1	A visão de Longo Prazo	4
2.2	A visão de Médio Prazo	5
2.3	A visão de Curto Prazo	6
2.4	A Cadeia de Planejamento	7
2.5	Sistema Hidrotérmico	8
2.6	Usina Hidroelétrica	9
2.7	Variação da Demanda de Carga ao longo de um dia típico	13
3.1	Fases da Tomada de Decisão	20
3.2	Integração das Decisões	25
3.3	Componentes do SAD	26
3.4	O Gerenciamento dos Dados	27
3.5	Acesso aos dados pelo Decisor	28
3.6	Comunicação Usuário/Sistema	30
5.1	O Modelo Entidade-Relacionamento da Fase de Análise	42
5.2	Diagrama de Contexto da Análise	43
5.3	Detalhamento do Planejamento de Curto Prazo	44
6.1	O Modelo Entidade-Relacionamento Normalizado dos Dados Básicos	48
6.2	Diagrama de Contexto do Projeto	50

6.3	Detalhamento da Cadeia de Planejamento	51
6.4	Detalhamento do Processo3 : Fazer o Planejamento de Curto Prazo	52
6.5	Detalhamento do Processo31: Montar uma Estrutura p/ o Planejamento de Curto Prazo	54
6.6	Detalhamento do Processo311: Montar uma Configuração Física	56
6.7	Detalhamento do Processo33: Fazer a programação do período	58
7.1	Exemplo de um sistema hidrotérmico	62
7.2	Estrutura de programações de parada	63
7.3	Estrutura de eventos de demanda, meta, afluência	64
7.4	O Fluxo do Planejamento	65
7.5	Os Feedbacks no Planejamento	65
7.6	Arquitetura para formulação de problemas de Planejamento de Curto Prazo	68
7.7	Estrutura em árvore para o Planejamento	69
7.8	Arquitetura para a formulação de problemas de Análises Horárias	70
7.9	Árvore para Análises Horárias	71
8.1	Tela Principal do Protótipo	74
8.2	Menu de Dados do Sistema	75
8.3	Sub-Menu de Dados Físicos	76
8.4	Sub-Menu de Dados de Ferramentas	77
8.5	Tela de Ferramentas de Planejamento	78
8.6	Menu de Configuração	79
8.7	Menu de Horizonte	80
8.8	Sub-Menu de Horizonte de Curto Prazo	81
8.9	Tela de Planejamento de Curto Prazo	82
8.10	Tela da Lista de Planejamento de Curto Prazo	83

9.1	Proposição de uma organização orientada a objeto	85
A.1	Representação do Relacionamento 1:N	91
A.2	Representação do Relacionamento M:N	92
A.3	Representação da Entidade Associativa	92
A.4	Representação da Entidade Associativa Máquinas por Barra	93
B.1	Diagrama de Contexto Geral	96
B.2	Partição dos Processos	97
C.1	O Modelo Entidade-Relacionamento dos Dados Básicos	100
D.1	Modelo do Dicionário de Dados	104
D.2	Modelo do Dicionário de Processos	105
E.1	O Modelo Relacional para Conjunto_Máquinas/Máquinas	107
E.2	O Modelo de Redes para Conjunto_Máquinas/Máquinas	108
E.3	O Modelo Hierárquico para Conjunto_Máquinas/Máquinas	108
G.1	O Modelo Entidade-Relacionamento da Configuração	126
G.2	O Modelo Entidade-Relacionamento do Planejamento	127

Lista de Tabelas

3.1	Comparação entre os SIBC	23
3.2	Suporte do SAD às fases da Tomada de Decisão	32

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Desde a implantação do centro de processamento de dados dentro do ambiente organizacional, nota-se uma evolução no processo de utilização do computador, que deixou de ser um mero processador de dados e passou a ser um elemento ativo na otimização do trabalho desenvolvido na empresa. Esta evolução pode ser descrita em 3 (três) estágios: no primeiro, o computador era apenas uma ferramenta para executar cálculos mais rápidos, não havendo qualquer racionalização de processos e dados; o segundo estágio caracterizou-se pela preocupação em evitar a redundância dos dados, surgindo assim, os sistemas integrados; finalmente no último estágio, surgiram os Sistemas de Informação que interagem de forma mais amigável com o usuário e o auxiliam na tomada de decisão.

Em uma organização, onde decisões têm que ser tomadas o mais rápido possível e estão contidas em um ambiente de crescente complexidade, é de fundamental ajuda ao Decisor o desenvolvimento de um ambiente que melhore a qualidade, em termos da manipulação e consistência, da informação na qual a decisão é baseada: um ambiente de apoio à decisão. Adicionalmente a isto, o suporte computacional que ficou cada vez mais acessível, com *hardware* mais rápido e barato, *software* mais amigável e metodologias de desenvolvimento que interagem melhor com o usuário, possibilitou o surgimento de um tipo de sistema de informação denominado **Sistema de Apoio à Decisão (SAD)**. Neste contexto, diversos destes sistemas têm sido desenvolvidos para análise de sistemas de potência [7], [4], e em planejamento da operação [3], [1].

O Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos tanto a nível estratégico, tático, ou operacional, constitui um processo de tomada de decisão, onde determina-se uma política de operação do sistema para um dado horizonte de tempo através da utilização de modelos matemáticos. Neste processo de tomada de decisão manipula-se um grande volume de dados, analisa-se diferentes alternativas, e deve-se levar em consideração outros aspectos,

muitas vezes de difícil equacionamento, tais como questões ambientais, financeiras, administrativas e políticas. Mais especificamente, o Planejamento da Operação de Curto Prazo (POCP) tem por objetivo determinar uma escala de geração para cada unidade geradora ao longo de um dia ou de uma semana à frente, frequentemente com discretização horária, atendendo às restrições operacionais dos sistemas de geração térmico e hidráulico, e do sistema de transmissão; além de considerar as metas determinadas pelos planejamentos de médio e longo prazos.

O objetivo deste trabalho é a especificação de um ambiente de apoio aos estudos de Planejamento da Operação de Curto Prazo de Sistemas Hidrotérmicos. Neste ambiente pretende-se otimizar o armazenamento dos dados, facilitar a manipulação e manter a consistência dos dados, bem como promover a integração dos modelos para a análise de diferentes cenários através de uma interface Homem-máquina amigável.

O trabalho está dividido em 9 (nove) capítulos. No capítulo 2 apresenta-se o **Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos**. No capítulo 3 apresenta-se a teoria referente a Sistemas de Informação e mais especificamente, de **Sistemas de Apoio à Decisão**. No capítulo 4, faz-se o **Estudo de Viabilidade do SAD-POCP**. Dois ambientes foram analisados para a viabilização do sistema: o ambiente organizacional (empresas concessionárias de energia elétrica) e o ambiente acadêmico, visando entretanto, a cooperação entre ambos. No capítulo 5, é feita a **Análise** do sistema quando então, foi concebido o modelo lógico do sistema atual e definidas as necessidades do usuário quanto a informações e ao processamento. No capítulo 6, faz-se o **Projeto** de um sistema para POCP, sendo formulado o modelo de dados para o sistema hidrotérmico brasileiro. No capítulo 7, apresenta-se a **arquitetura** do SAD-POCP, enfatizando-se uma organização dos dados em forma de árvore e definindo-se o modelo de dados para os estudos de Curto Prazo. O capítulo 8 esboça um **protótipo** desenvolvido para o sistema proposto, não possuindo entretanto, qualquer capacidade de processamento. Por fim, o capítulo 9 mostra alguns resultados e trabalhos a serem desenvolvidos para a implementação da idéia de apoio à decisão no ambiente de planejamento da operação.

Capítulo 2

PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS HIDROTÉRMICOS

A operação econômica e confiável de sistemas hidrotérmicos de energia elétrica requer que se faça um *planejamento da operação* em virtude da oferta de seus recursos energéticos serem variáveis ao longo do tempo e limitados. Este planejamento deve ser dimensionado de forma a:

1. considerar variações sazonais na disponibilidade destes recursos,
2. atender à demanda com critérios de garantia adequados, e
3. atender aos vários propósitos destes recursos.

Trata-se de um problema complexo devido às incertezas de (1) e (2), e à característica multi-objetivo de (3). Em termos matemáticos, o planejamento da operação mostra-se um problema estocástico e não-linear, o que torna a sua resolução computacionalmente inviável para sistemas reais de grande porte: além de ser um problema que está inserido dentro de um contexto de multi-uso de seus recursos. Com isto, o planejamento da operação foi dividido em etapas, as quais foram denominadas **Cadeia de Planejamento**.

2.1 A CADEIA DE PLANEJAMENTO

O objetivo da Cadeia de Planejamento é dividir o planejamento em função do alcance das decisões ao longo do tempo, ou seja, algumas decisões surtem efeito em um curto espaço de tempo, outras a médio prazo e outras a longo prazo. Dois aspectos são analisados na Cadeia de Planejamento:

1. O aspecto Energético.

Objetiva atender à demanda utilizando adequadamente os recursos hidroenergéticos. Como o ciclo de variação de tais recursos podem ser de vários anos, este aspecto está mais relacionado com as decisões de médio e longo prazos. Assim, é composto pelo *Planejamento de Longo Prazo* e pelo *Planejamento de Médio Prazo*.

2. O aspecto Elétrico.

Objetiva compatibilizar a operação energética com a operação elétrica do sistema. É realizado pelo *Planejamento de Curto Prazo*.

O PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO

Considera a operação vários anos à frente, onde os sistemas hidráulico e térmico são representados respectivamente por um único reservatório equivalente (H_e) e uma única unidade térmica equivalente (T_e), expressos em termos de energia (Figura 2.1).

O objetivo é avaliar as condições de atendimento dos requisitos de mercado, em termos de economia e confiabilidade energética, determinando a proporção entre a geração hidráulica total e a geração térmica total ao longo do horizonte, definindo o correspondente custo marginal. No caso do sistema Sul/Sudeste Brasileiro, o horizonte de longo prazo é de 5 (cinco) anos.

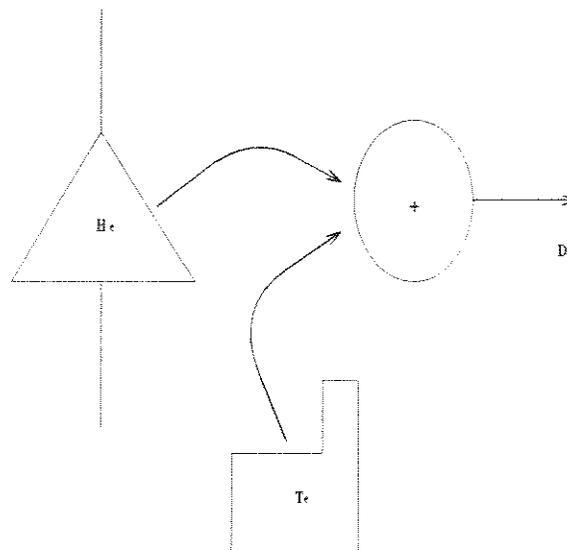


Figura 2.1: A visão de Longo Prazo

O PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO

Considera a operação individualizada, tanto do sistema hidráulico quanto do sistema térmico, relativo ao primeiro ano do horizonte de longo prazo (Figura 2.2).

O objetivo é determinar uma política de operação para cada uma das unidades geradoras, atendendo as suas restrições operativas e a demanda global a cada intervalo, em geral de uma semana, e de acordo com os custos definidos no Planejamento de Longo Prazo.

Este planejamento determina a disponibilidade semanal de recursos para cada reservatório, em termos de volume total de água a ser utilizado durante a semana (**Meta Energética**).

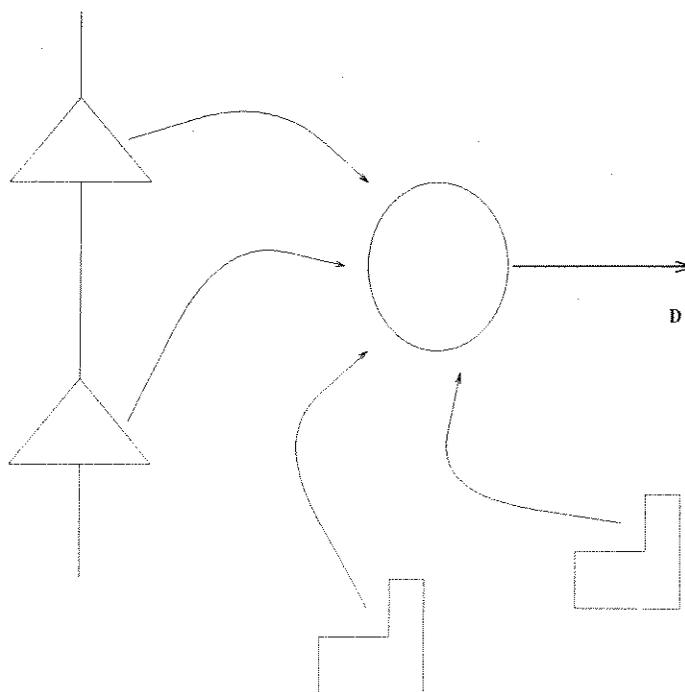


Figura 2.2: A visão de Médio Prazo

O PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO

Considera a operação individualizada tanto do sistema de geração quanto do sistema de transmissão para o período de uma semana, equivalente a um intervalo do Planejamento de Médio Prazo (Figura 2.3). Este período de estudo é discretizado em intervalos horários de forma a encontrar uma operação factível e coerente com a política definida pelos planejamentos de longo e médio prazos.

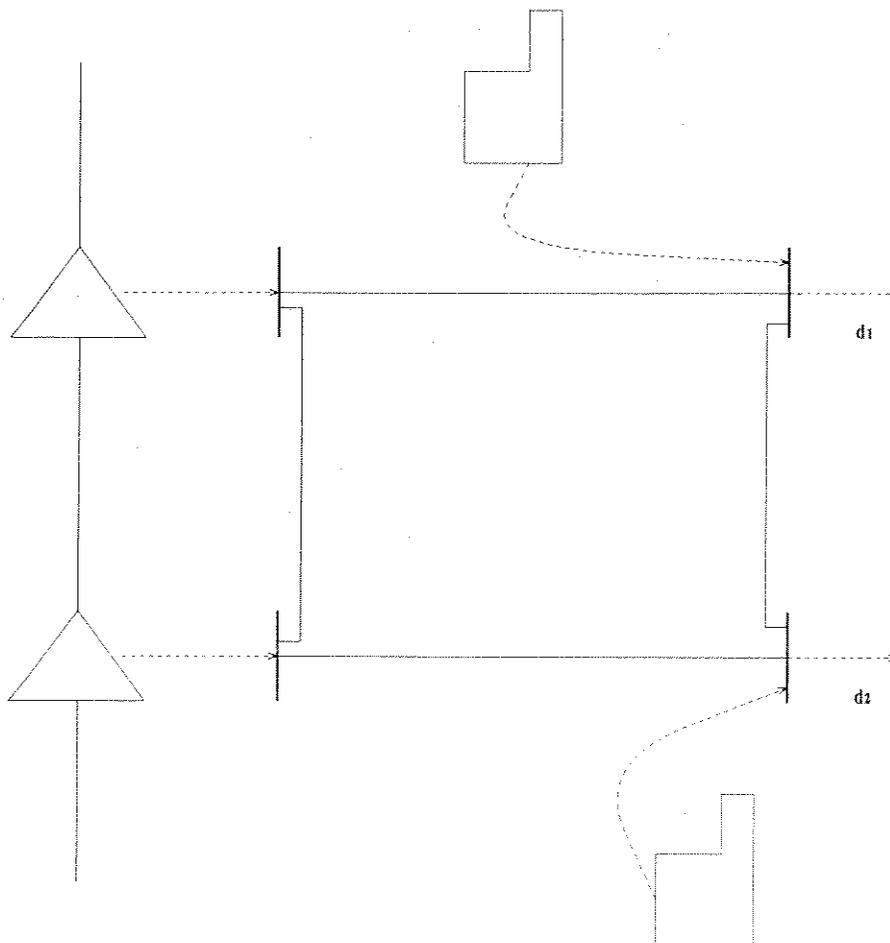


Figura 2.3: A visão de Curto Prazo

Em termos de informações, pode-se representar a Cadeia de Planejamento de acordo com a Figura 2.4.

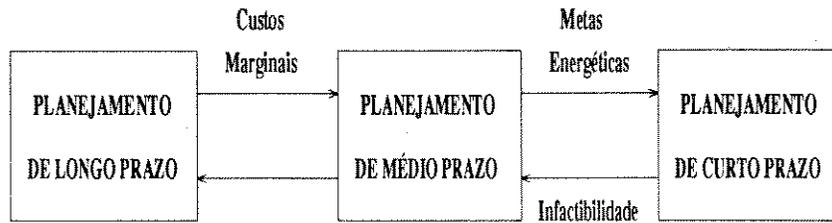


Figura 2.4: A Cadeia de Planejamento

O objeto deste trabalho é o Planejamento da Operação de Curto Prazo (POCP).

2.2 O PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE CURTO PRAZO

Os primeiros trabalhos em Planejamento de Curto Prazo datam da década de 40, desde então diversas metodologias têm sido propostas com o intuito de definir uma política de operação mais econômica, confiável, operacionalmente factível e coerente com os planejamentos de níveis mais elevados. A partir da II Guerra Mundial, a operação dos sistemas tornou-se cada dia mais complexa devido ao aumento da demanda de energia, à interligação de sistemas, a maiores requisitos de qualidade e atualmente, às restrições ambientais.

O POCP objetiva determinar uma escala de geração para cada unidade geradora ao longo de um dia ou de uma semana a frente, usualmente com discretização horária, atendendo às restrições operacionais dos sistemas de geração térmico e hidráulico, e do sistema de transmissão, além de considerar as metas determinadas pelos planejamentos de longo e médio prazos.

Uma representação simplificada do sistema hidrotérmico está mostrada na Figura 2.5. Este sistema é constituído por um sistema de geração hidráulico e térmico e um sistema de transmissão. O sistema de geração hidráulico pode ser constituído por um ou mais conjuntos de usinas hidroelétricas em cascata, com usinas de variadas capacidades de geração instaladas e com reservatórios de diferentes capacidades de regularização das vazões naturais, além de diversas condições operacionais. As unidades geradoras térmicas, por sua vez, não apresentam dependências operacionais entre si, sendo entretanto uma fonte de geração cara e bastante poluidora. Finalmente, o sistema de transmissão faz o escoamento da

energia produzida até os pontos de consumo. Este sistema é formado basicamente por linhas de transmissão e equipamentos de controle tais como transformadores e compensadores.

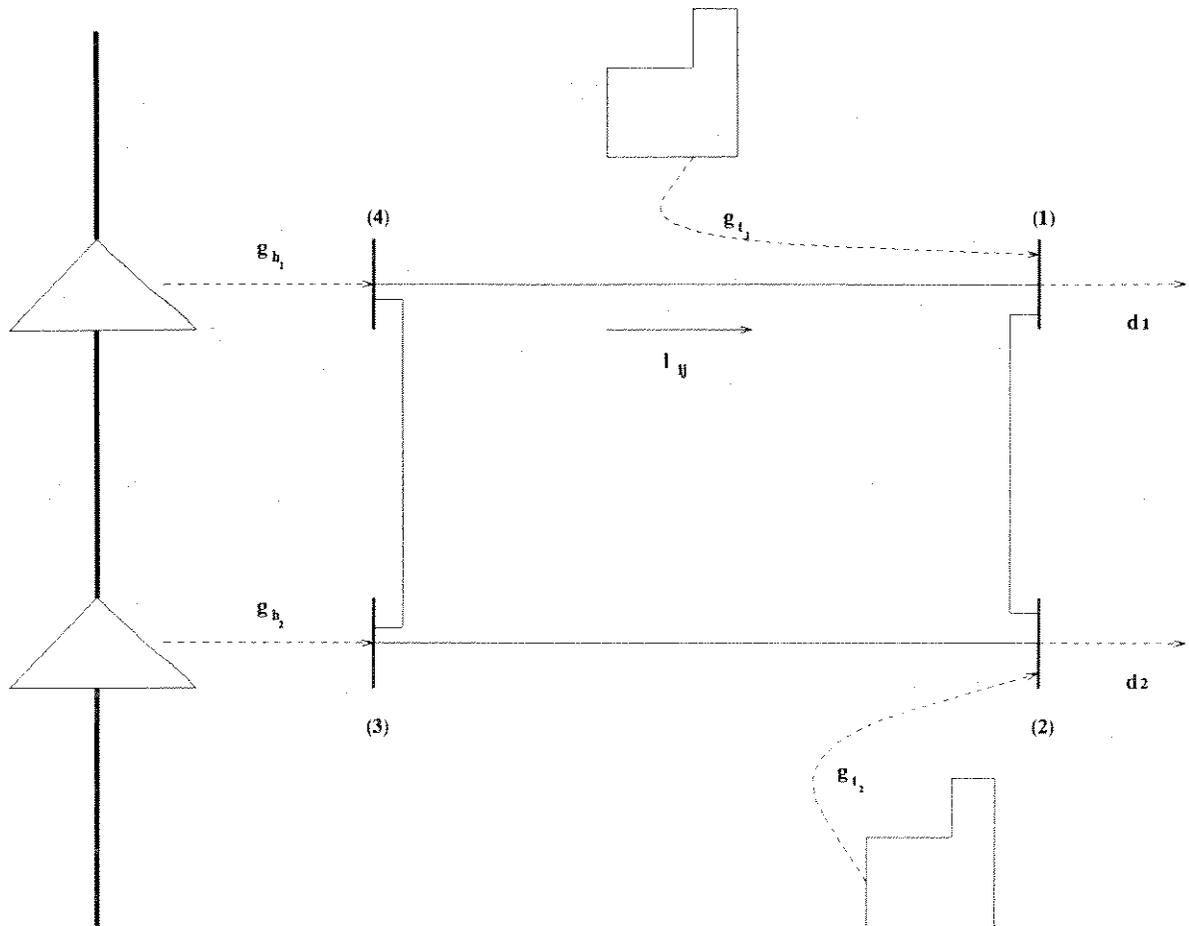


Figura 2.5: Sistema Hidrotérmico

onde:

g_h - geração hidráulica

g_t - geração térmica

l_{ij} - fluxo de potência na linha que interliga as barras i e j

d_i - demanda de carga da barra i

O SISTEMA HIDRÁULICO

Os principais elementos de uma unidade hidroelétrica estão representados na Figura 2.6.

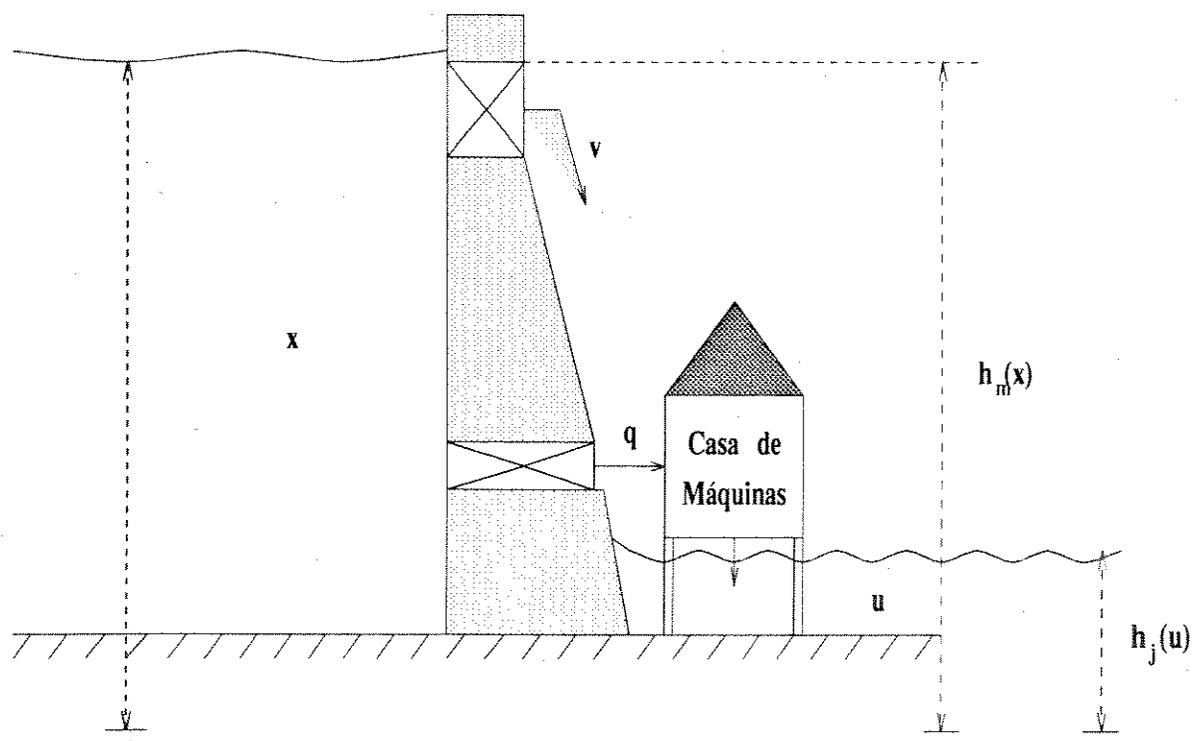


Figura 2.6: Usina Hidroelétrica

onde:

x - volume armazenado no reservatório

q - vazão turbinada

v - vazão vertida

u - vazão defluente ($u = q + v$)

h_m - cota do reservatório, função do volume armazenado

h_j - cota do canal de fuga, função da vazão defluente

Os limites de armazenamento do reservatório e da turbinagem são dados por:

$$x_i^{min} \leq x_i \leq x_i^{max} \quad (2.1)$$

$$q_i^{min} \leq q_i \leq q_i^{max} \quad (2.2)$$

Todavia, estes limites de turbinagem podem variar em função do número de máquinas disponíveis e ainda, para cada máquina q_i^{max} é função da queda ($h_m - h_j$).

A produção de energia elétrica depende basicamente do conjunto de turbinas e geradores, da altura de queda líquida e da vazão turbinada. No caso brasileiro, a produção de energia é dada por:

$$P_i(x_i, q_i) = k_i(h_{m_i}(x_i) - h_{j_i}(u_i))q_i \quad (2.3)$$

onde:

k_i - constante que depende do rendimento do conjunto turbina-gerador

h_{m_i} - polinômio de quarta ordem em função do volume armazenado

h_{j_i} - polinômio de quarta ordem em função da vazão defluente

Como cada usina é constituída por vários grupos turbina-gerador, e em muitos casos com diferentes especificações e com faixas de operação descontínua, nem sempre a alocação da geração por grupo turbina-gerador constitui uma tarefa simples. Em alguns casos, limita-se a variação na geração, devido a desgastes mecânicos, problemas de estabilidade, restrições ambientais e outros usos da água, ou seja:

$$|u_i^t - u_i^{t-1}| < \Delta_i \quad (2.4)$$

onde:

Δ_i - variação máxima permitida

t - intervalo de tempo.

O acoplamento hidráulico entre as usinas faz com que a operação de uma usina influencie a operação da usina imediatamente a jusante, pois a operação a montante influi no volume armazenado da usina a jusante. Esta influência é tanto maior quanto menor for a

capacidade de regularização do reservatório a jusante. O acoplamento entre as usinas pode ser representado através da equação dinâmica dos reservatórios, dada por:

$$x_i^t = x_i^{t-1} + y_i^t + \sum_{j \in S_i} u_j^{t-\theta_{ji}} - u_i^t \quad (2.5)$$

onde:

y_i^t - vazão afluyente lateral (independente) ao reservatório durante o intervalo t

θ_{ji} - tempo de atraso do reservatório j para i

S_i - conjunto das usinas imediatamente a montante de i

No Planejamento de Curto Prazo as vazões afluentes são em geral consideradas determinísticas.

O SISTEMA TÉRMICO

Devido ao alto custo de produção das unidades térmicas, é importante conhecer o custo de produção em função da potência gerada. Esta relação é em geral representada através de uma equação de segunda ordem em função da potência ativa gerada (p_k), dada por:

$$\emptyset_k(p_k) = a_k p_k^2 + b_k p_k + c_k \quad (2.6)$$

Para uma unidade térmica produzir energia elétrica é necessário que ela alcance certas condições especificadas. Para se alcançar estas condições com uma partida a frio, requer-se um tempo mínimo, ao qual há um custo associado. Esta característica torna inconveniente muitas partidas e saídas de unidades térmicas.

As duas restrições operativas mais comuns nos sistemas térmicos são os limites de geração e os limites de tomada de carga, dados por:

$$p_{k_j}^{min} \leq p_{k_j} \leq p_{k_j}^{max} \quad (2.7)$$

$$|p_{k_j}^t - p_{k_j}^{t-1}| \leq \Delta_j \quad (2.8)$$

Atualmente, as leis de proteção ambiental têm imposto restrições de produção em função de sua taxa de poluição.

O SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O Sistema de Transmissão é basicamente um sistema de transporte no qual a cada instante deve haver um equilíbrio entre a produção e o consumo. Neste sistema produz-se, transporta-se e consome-se potências ativas e reativas.

A representação estática de um Sistema de Transmissão é feita através das equações de fluxo de carga, genericamente representadas por:

$$\underline{h}(\underline{g}, \underline{l}) = 0 \quad (2.9)$$

onde:

\underline{h} - conjunto de equações algébricas não-lineares;

\underline{g} - conjunto das injeções (potência ativa e reativa) nas barras e

\underline{l} - conjunto de fluxos (ativo e reativo) nas linhas de transmissão.

Este sistema também está sujeito a restrições operacionais tais como capacidades de transmissão e limites de tensão.

Em muitas situações é suficiente um modelo linear para o sistema de transmissão no qual é estabelecida uma relação linear entre a injeção de potência ativa (P) nas barras e o fluxo de potência ativo (f):

$$\underline{f} = D\underline{p} \quad (2.10)$$

A META ENERGÉTICA

A meta representa o acoplamento entre os planejamentos de curto prazo e médio prazo. Em geral, estas metas são dadas em termos do total de água disponível para o horizonte de curto prazo para cada reservatório. Uma maneira de expressar esta meta é:

$$\sum_{t=1}^T u_i^t = M_i \quad (2.11)$$

onde:

T - número de intervalos e

M_i - meta do reservatório i .

A DEMANDA DE CARGA

A demanda de carga apresenta um comportamento cíclico e um perfil típico de demanda diária e semanal. A curva de demanda de carga em um dia útil é aproximadamente dada pela Figura 2.7.

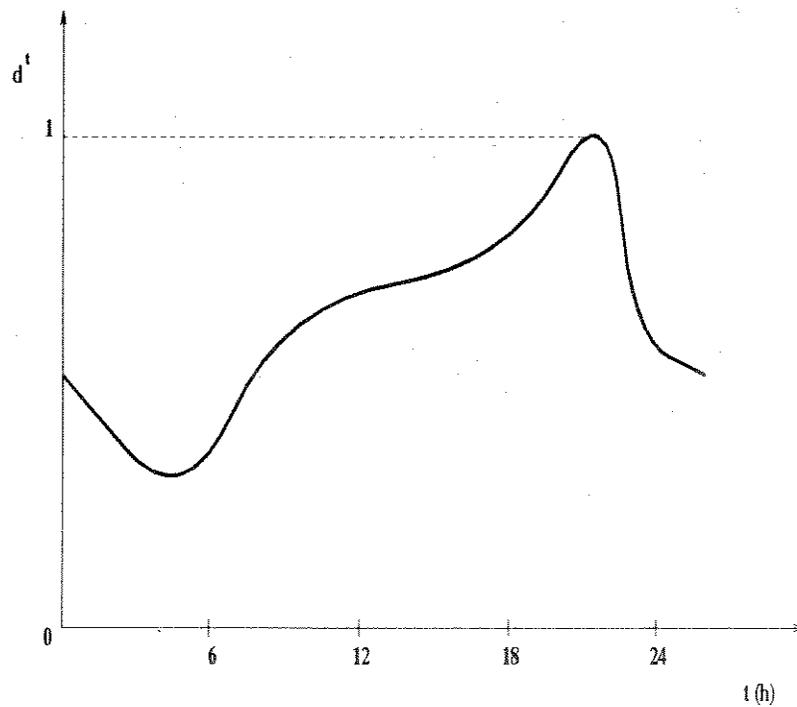


Figura 2.7: Variação da Demanda de Carga ao longo de um dia típico

Alguns intervalos costumam ser críticos no atendimento desta curva de carga. Os mais comuns são:

1. Na carga mínima (madrugada) pode haver problemas de controle de tensão. Em muitos casos há necessidade de desligamento de equipamentos (linhas e máquinas).
2. Grandes variações na demanda em curtos espaços de tempo. Isto normalmente ocorre no início da manhã ou da noite (crescimento rápido) e podem ocorrer também problemas na "saída" (decréscimo rápido) do período de demanda de pico. O problema mais comum nestes intervalos são devido a limitações na tomada de carga e a limites de estabilidade.
3. Nos intervalos de demanda de pico podem ocorrer problemas de controle de tensão e também sobrecarga de equipamentos. Nestes intervalos a saída forçada de determinados equipamentos pode trazer graves problemas.

Para a análise dos problemas acima citados, principalmente (1) e (3) requer-se a representação explícita do sistema de transmissão; para problemas de tensão é quase sempre necessário uma representação completa do sistema de transmissão, enquanto que para alguns problemas de sobrecarga é suficiente uma representação linearizada. Uma ferramenta também muito importante são os modelos de análise de contingências, os quais possibilitam estimar o comportamento do sistema frente a saídas forçadas de equipamentos.

Se, por um lado, o POCP precisa respeitar as condições definidas pelos planejamentos de longo e médio prazos, por outro lado, é necessário também considerar as condições de operação em tempo real, uma vez que a política determinada pelo planejamento de curto prazo é uma referência importante para esta operação. No entanto, na operação em tempo real, outros aspectos precisam ser considerados, como por exemplo: perfil de tensão, análise de contingência, análise de estabilidade, etc. Em geral cada um destes aspectos é analisado separadamente. Com isto, faz-se necessário que sejam analisados diversos estados do sistema em função principalmente de indisponibilidade de equipamentos e de possíveis incertezas nas demandas e nas afluências.

Ao concluir esta discussão acerca do Planejamento da Operação, enfatiza-se que não se mostra suficiente a análise do uso dos recursos naturais apenas para a geração de energia. É crucial que outros aspectos devam ser incluídos nesta análise para que assim a operação energética/elétrica esteja inserida no contexto de multi-propósito destes recursos, e portanto respeite aos critérios de aceitabilidade estabelecidos pela sociedade.

Capítulo 3

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

As organizações têm cada vez mais se conscientizado da necessidade de gerenciar um recurso que é estratégico para o sucesso ou fracasso de qualquer empreendimento: **a informação**. A pronta disponibilidade deste recurso proporciona ao decisor uma maior eficácia na sua atividade principal dentro do ambiente organizacional: **a tomada de decisão**.

A massificação da computação permitiu uma explosão da utilização da informação como uma ferramenta mais confiável e valorizada nos processos empresariais. Note-se que tais processos referem-se tanto à iniciativa privada, como à pública, guardando-se as devidas proporções quanto aos contextos, propósitos, influências políticas, dentre outros. Dentro deste contexto, desenvolveu-se a tecnologia de **Sistemas de Informação**, que possibilitou a manipulação mais confiável e mais eficiente das informações.

Este trabalho objetiva a proposição de um Sistema de Informação, e mais especificamente, um Sistema de Apoio à Decisão que permitirá que seja elaborada uma programação confiável e eficaz da operação de Curto Prazo do Sistema Hidrotérmico Brasileiro, mantendo os dados sempre disponíveis aos diversos usuários do sistema computacional, além de primar pela sua integridade e consistência. Entretanto, para que a proposição de tal sistema seja motivadora, faz-se necessário que a base teórica de tomada de decisão seja discutida.

Este capítulo objetiva explicar a fundamentação básica da tomada de decisão e do apoio computacional a este processo. Esta teoria não é aprofundada de forma a discutir em detalhes os vários tipos de processos de tomada de decisão; ela é encarada aqui como sendo geral o suficiente de forma a englobar todas as visões tratadas pela literatura, pois acredita-se que qualquer que seja o problema e seu contexto, e qualquer que seja a forma de solução humana dada para este problema, o decisor obedece fielmente, de forma clara

ou não, às fases descritas por Simon [11] para a tomada de decisão: *Inteligência, Projeto, Escolha e Implementação*. Atualmente, ocorre uma automatização destas fases, ou de parte delas, de forma a incorporar modelos algorítmicos e até mesmo modelos de inferência dos decisores, com o intuito de apoiar à tomada de decisão e aumentar a eficácia deste processo.

3.1 O APOIO À TOMADA DE DECISÃO

A Tomada de Decisão é um processo que acarreta na escolha e implantação de um dado curso de ação dentre várias alternativas viáveis, a fim de se alcançar um ou vários objetivos. Três fatores devem ser considerados na tomada de decisão: as fases da tomada de decisão, o decisor e a própria decisão.

O PROCESSO

Segundo Simon [11], a tomada de decisão é composta por 4 (quatro) fases: *Inteligência, Projeto, Escolha e Implementação*. Porém, ele pode ser estendido de tal forma a incorporar uma fase de *Avaliação e Controle* [21], na qual, após um certo tempo da implementação da decisão, os seus resultados são analisados para se verificar se o problema que deu origem ao processo foi de fato solucionado, e assim tomar possíveis medidas corretivas.

A FASE DE INTELIGÊNCIA

Esta fase caracteriza-se basicamente por *identificar* e *definir* os problemas que impedem a organização de alcançar os seus objetivos.

A atividade de definição é uma conceitualização do problema de forma a classificá-lo em uma categoria definida. Uma classificação eficiente sob o ponto de vista de desenvolvimento de um apoio computacional, refere-se ao *grau de estruturação* do problema, o qual apresenta 2 (duas) situações possíveis [11]:

1. Problema Estruturado.

É rotineiro, repetitivo e possui modelos padrões de solução. Pode ser externalizado como um algoritmo e implementado computacionalmente.

2. Problema Não-Estruturado.

É desconhecido e/ou complexo para a organização, não possuindo modelos padrões de solução. É resistente à implementação computacional algorítmica e depende basicamente do julgamento gerencial.

Entre estes extremos está o **Problema Semi-Estruturado**, que é parcialmente programável mas ainda dependente do julgamento gerencial.

A FASE DE PROJETO

Nesta fase, formula-se um modelo para o problema.

Um modelo é uma representação simplificada ou uma abstração da realidade. De acordo com o nível de abstração, existem 4 (quatro) categorias de classificação de modelos:

1. Modelo Reduzido.

É uma maquete do sistema real, sendo utilizado para a construção de aviões, carros, pontes, ou até mesmo para estudos em linhas de produção. É a representação menos abstrata.

2. Modelo Simbólico.

Representa de forma simbólica a realidade. É usado em técnicas de Inteligência Artificial quando se emprega a lógica simbólica.

3. Modelo Analógico.

Neste modelo um dado sistema é estudado a partir de outro sistema que possui um comportamento semelhante. Um exemplo seria o estudo de um sistema mecânico simples (massa/mola/amortecedor) através da análise do comportamento de um circuito elétrico também simples.

4. Modelo Matemático.

Utiliza uma representação quantitativa do problema, empregando processos algorítmicos para a geração de informações. É o modelo mais abstrato e o mais utilizado na tomada de decisões. Possui 2 (duas) formas de modelagem:

(a) Otimização.

Procura modelar a realidade como um problema de programação matemática com o objetivo de identificar pontos de **maximização** ou **minimização**. Exemplos: Programação Linear, Programação Não-Linear, Programação Dinâmica, Programação por Metas.

(b) Descrição.

Simula o comportamento do sistema, sem necessariamente sugerir condições para sua otimização. Exemplos: Simulação, Análise de Impactos Ambientais, Análise Markoviana.

A partir do modelo formulado, são geradas alternativas de solução para o problema. Em modelos matemáticos de otimização, por exemplo, a geração de alternativas pode ser automática e feita pelo próprio modelo. Entretanto, na maioria dos casos, o decisor é quem deverá realizar esta tarefa, usando os seus conhecimentos acerca do problema e de seu ambiente externo.

Deve-se salientar que as alternativas geradas devem estar de acordo com o(s) critério(s) definido(s) de aceitabilidade de uma solução, o que dependerá muito do decisor, do seu conhecimento da área, do tipo de problema tratado, e da própria "filosofia" da empresa.

A FASE DE ESCOLHA

A partir das alternativas geradas na fase anterior, ocorrem *análises e comparações* a fim de se optar por um curso de ação dentre os viáveis. Estas atividades significam que o decisor irá fazer uma previsão das consequências no caso de adoção de uma dada alternativa. Existem 3 (três) estados possíveis do decisor em relação a esta previsão [21]:

1. **Certeza.**

O decisor sabe exatamente quais as consequências de cada uma das alternativas.

2. **Risco.**

O decisor considera vários estados decorrentes da adoção de uma dada alternativa, conhecendo ainda, valores de probabilidades de ocorrência de cada um destes estados. Este é o estado mais comum na tomada de decisão gerencial.

3. **Incerteza.**

O decisor não tem condição de prever qualquer consequência das alternativas.

4. **Ignorância.**

5. **Conflito.**

Esta fase termina quando uma decisão é escolhida para ser implementada dentro do ambiente organizacional.

Deve-se notar que, para problemas estruturados, a escolha é um procedimento simples, podendo ser feita pelo próprio programa computacional implementado. Já para problemas não-estruturados e semi-estruturados, esta tarefa torna-se mais complicada, pois existem fatores subjetivos que dependem basicamente do decisor que está analisando o problema.

Durante a execução desta fase é muito comum que sejam promovidas dinâmicas de grupo para que o decisor possa ter mais subsídios para tomar uma decisão. Isto acontece sobretudo quando fatores políticos estão envolvidos no processo ou quando se deseja que a implementação da decisão não seja muito traumática para a organização.

A FASE DE IMPLEMENTAÇÃO

É a adoção do curso de ação escolhido para o problema.

Em determinadas situações, a implementação de uma decisão não é muito simples. Isto ocorre devido a fatores como a resistência a mudanças, o treinamento inadequado de pessoal para o novo comportamento organizacional e a divulgação falha da decisão, dentre outros.

A Figura 3.1 mostra o inter-relacionamento destas etapas do processo de tomada de decisão.

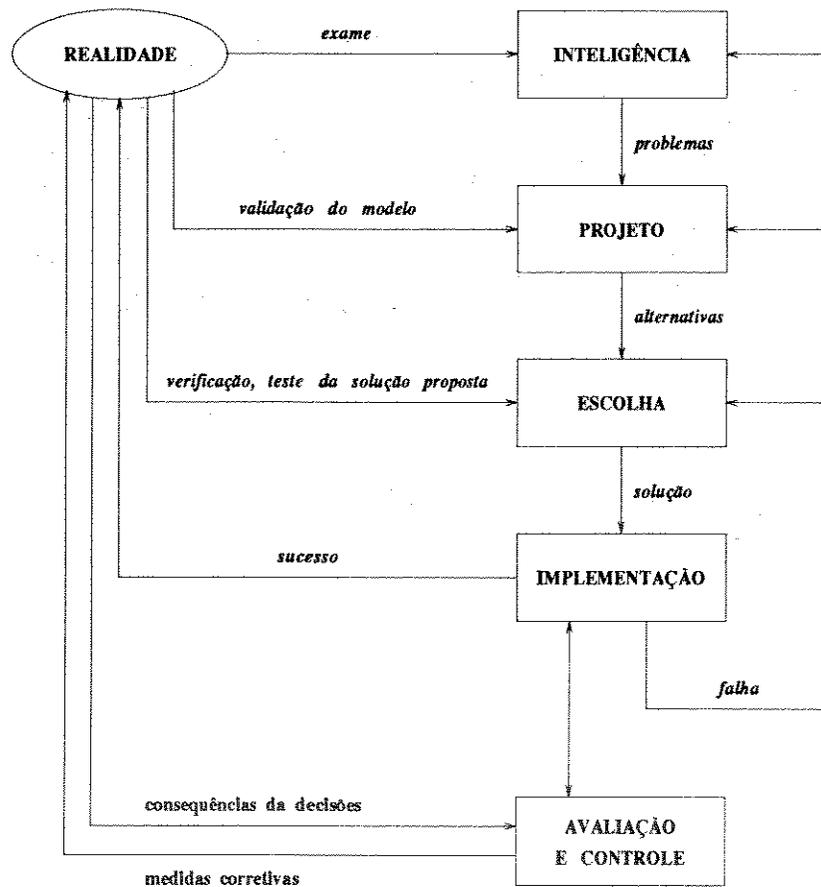


Figura 3.1: Fases da Tomada de Decisão

O DECISOR

O Decisor é o profissional responsável pela tomada de decisão. Ele pode estar alocado em qualquer um dos 3 (três) níveis organizacionais: Estratégico, Tático ou Operacional.

A fim de tomar uma decisão, o Decisor deve primeiramente analisar o ambiente no qual ele está trabalhando, e então estudar os efeitos decorrentes de uma determinada escolha (a decisão). Este ambiente de trabalho inclui todas as condições, circunstâncias e influências que circundam e afetam toda a organização ou alguns de seus sistemas, ou seja, tudo que influencia de alguma maneira a eficácia do curso de ação escolhido [17].

Este processo de análise do ambiente e dos impactos de uma dada escolha depende muito do *estilo de decisão* do Decisor, que por sua vez, é função de seu estilo cognitivo e de sua forma de interação com os demais componentes organizacionais (pessoas, por exemplo). A literatura cita diversas formas de classificação deste estilo de decisão [14], [16]; uma bastante difundida refere-se ao estilo analítico *versus* o estilo heurístico. Na visão analítica, o Decisor é sistemático e procura o ótimo utilizando-se da modelagem matemática; já na visão heurística, o Decisor utiliza regras baseadas em sua experiência ("*rules of thumb*") para solucionar os problemas, procurando uma solução satisfatória. Entretanto, este comportamento é altamente influenciado pelo que se acredita ser uma boa solução [17].

Note-se que estas classificações não analisam o aspecto dinâmico entre o Decisor e o ambiente, não só o ambiente da tomada de decisão, mas também o ambiente social do decisor. Devido a isto, existem extensões nas quais se considera a psicologia da tomada de decisão, onde o perfil psicológico do Decisor é traçado a fim de se determinar quais fatores o influenciam neste processo [21].

A DECISÃO

Durante anos, a tomada de decisão foi considerada arte. Estilos diferentes baseados na experiência e intuição eram aplicados a um mesmo tipo de problema chegando a resultados igualmente satisfatórios. Entretanto, o ambiente no qual as decisões são tomadas tornou-se mais complicado, pois o número de alternativas disponíveis ficou muito maior e as consequências futuras das decisões ficaram mais difíceis de prever por causa do aumento da incerteza e da complexidade do ambiente [21]. Com isto, o custo de possíveis erros tornou-se muito maior e até mesmo difícil de ser contornado.

Como consequência deste aumento de complexidade, os decisores necessitaram obter ferramentas mais eficientes com o intuito de aumentar a produtividade na tomada

de decisão. O primeiro auxílio neste sentido foi dado pela **Pesquisa Operacional**, na qual a análise quantitativa (modelagem matemática) é usada como forma de solução de problemas; a seguir vieram os auxílios computadorizados, também chamados **Sistemas de Informação Baseados em Computadores (SIBC)**, os quais podem ser agrupados em 6 (seis) categorias [21]:

1. **Sistemas de Processamento de Transações (SPT).**

Processam grandes quantidades de dados para transações rotineiras, como contabilidade, folha de pagamento.

2. **Sistemas de Informações Gerenciais (SIG).**

Processam grandes quantidades de dados de diferentes fontes a fim de fornecer a informação necessária à tomada de decisão rotineira (estruturada). É menos bem sucedido para problemas menos-estruturados.

3. **Sistemas de Automação de Escritórios (SAE).**

4. **Sistemas de Apoio à Decisão (SAD).**

Fornecem ao decisor acesso fácil a dados e modelos para a solução tanto de problemas rotineiros como de problemas mais complexos (semi-estruturados/não-estruturados).

5. **Sistemas Especialistas (SE).**

Simulam o conhecimento heurístico dos decisores na solução de problemas específicos e complexos (não-estruturados).

6. **Sistemas de Informação Executivos (SIE).**

Fornecem apoio a gerentes seniores.

Atualmente, nota-se o surgimento da tecnologia de **Redes Neurais Artificiais (RNA)**, na qual os decisores conseguem resolver problemas utilizando-se da forma de solução de algum problema similar anterior, ou seja, faz-se um reconhecimento de padrões de problemas [24].

Na Tabela 3.1, são mostradas as diferenças entre alguns destes tipos de sistemas. Podendo-se ressaltar, que eles podem ser combinados para se obter uma maior eficácia em determinadas situações.

Tabela 3.1: Comparação entre os SIBC

CARACTERÍSTICA	SPT	SIG	SAD	SE
ENFOQUE	Transações de dados	Informações	Decisões, Flexibilidade, Amigabilidade	Inferência, Transferência de conhecimento
BASE DE DADOS	Única para cada aplicação, Processamento em batch	Acesso interativo por programadores	Sistema Gerenciador de Base de Dados, Acesso interativo, base de fatos	Conhecimento de fatos e procedimentos, base de conhecimento (fatos e regras)
CAPACIDADES DE DECISÃO	Nenhuma ou uso de modelos simples de decisão	Problemas rotineiros e estruturados, usando ferramentas simples de Pesquisa Operacional	Problemas semi-estruturados, modelos de Pesquisa Operacional integrados, uso de julgamento, capacidade de apoio estruturado	O sistema toma decisões complexas, não-estruturadas, uso de regras heurísticas
MANIPULAÇÃO	Numérica	Numérica	Numérica	Simbólica
TIPO DE INFORMAÇÃO	Sumário e relatórios operacionais	Relatórios programados, Fluxo de informações estruturado, relatório de exceção	Informação para apoio à decisões específicas	Conselhos e explicações
ÍMPETO	Expediência	Eficiência	Eficácia	Eficácia e expediência

Neste trabalho será dada ênfase à tecnologia de **Sistemas de Apoio à Decisão**.

3.2 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

Com a evolução do processamento de dados para sistemas de informação, o computador tornou-se um aliado importante do decisor, aumentando a eficácia da tomada de decisão, principalmente em tarefas complexas. Com este propósito, diversas tecnologias baseadas em computador estão sendo desenvolvidas, dentre as quais destacam-se os **Sistemas de Apoio à Decisão**.

O termo **Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)** surgiu em torno de 1977, por Franz Edelman [12], embora a sua real concepção tenha ocorrido no início dos anos 70 sob a denominação **Sistemas de Decisões Gerenciais**, dada por Michael S. Scott-Morton. Ele definiu tais sistemas como "sistemas interativos baseados em computador que auxiliam o Decisor (*decision maker*) a utilizar dados e modelos para resolver problemas não-estruturados" [13]. Desde então, outras definições têm sido propostas por diversos autores, não se chegando entretanto, a uma que seja universalmente adotada. Todavia, todos concordam nas características que este tipo de sistema possui, ou seja, um SAD deve:

1. Apoiar o processo decisório, principalmente em problemas semi-estruturados e não-estruturados, que são resistentes a uma implementação computacional completa e requerem o julgamento humano para solucioná-los. Podendo também ser utilizados no trato de problemas estruturados.
2. Apoiar os processos decisórios em todos os níveis gerenciais, proporcionando a integração entre tais níveis quando necessário.
3. Apoiar tanto as decisões inter-dependentes quanto as decisões independentes; individual ou em grupo.
4. Apoiar todas as fases do processo de tomada de decisão.
5. Apoiar a uma variedade de processos e estilos de tomada de decisão.
6. Ser fácil de usar.
7. Dar ênfase na flexibilidade, na adaptabilidade de acomodar mudanças no ambiente, e na capacidade de fornecer respostas rápidas.
8. Evoluir à medida de sua utilização por parte do usuário, que vai adquirindo mais *feeling* do problema.

O SAD objetiva auxiliar o decisor em todas as fases do processo de tomada de decisão. Para tanto, ele deve possuir uma interface amigável através da qual o usuário combina o seu estilo cognitivo com as diversas ferramentas de apoio disponíveis no sistema,

de forma a gerar dados consistentes, os quais promovem a integração das várias decisões tomadas dentro da organização, dos mais altos até os mais baixos níveis (Figura 3.2) [18].

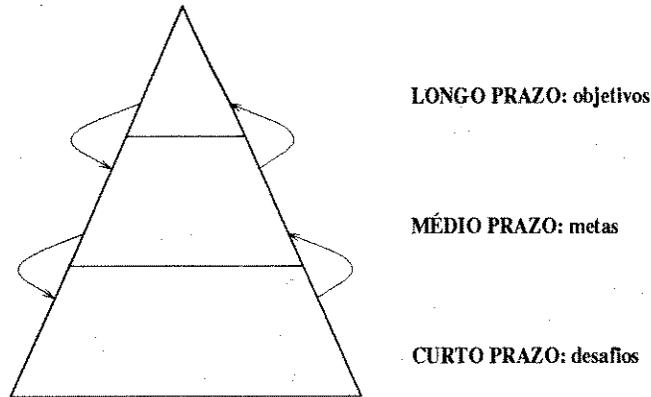


Figura 3.2: Integração das Decisões

A fim de atender os requerimentos necessários a esta integração, o SAD é dividido em 4 (quatro) componentes computacionais [24]:

1. Sub-sistema de Dados, que controla os dados da organização, mantendo-os consistentes e fáceis de manipular.
2. Sub-sistema de Modelos, que controla os modelos que dão suporte ao decisor para a tomada de decisão.
3. Sub-sistema de Comunicação, que gerencia a interação Homem-máquina.
4. Sub-sistema de Conhecimento, que é um módulo opcional cujo objetivo é incorporar conhecimento especialista ao sistema de modo a torná-lo mais eficaz.

Considera-se porém, o Decisor como sendo um quinto componente do sistema, que interage com os demais conforme a Figura 3.3.

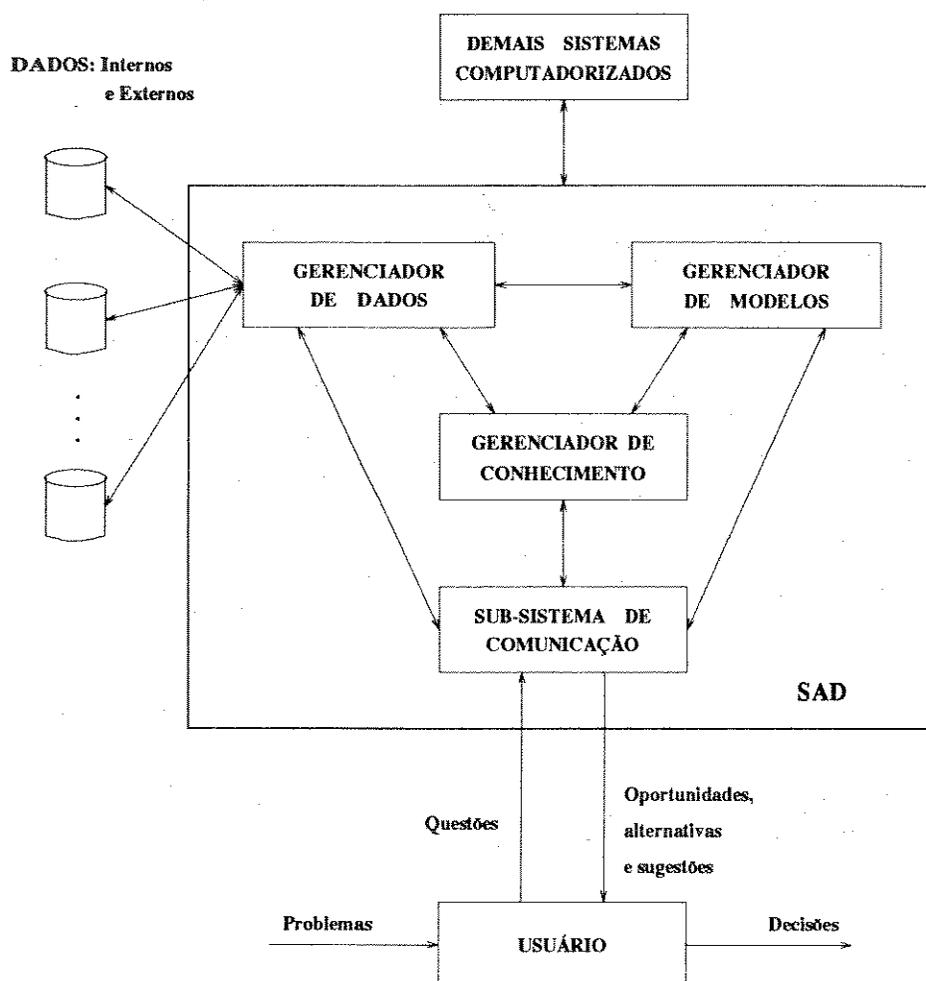


Figura 3.3: Componentes do SAD

3.2.1 O SUB-SISTEMA DE DADOS

O Sub-sistema de Dados é responsável pelo controle dos dados manipulados pelo SAD. É formado pelos seguintes componentes:

1. Base (s) de Dados, que contém os dados relevantes da organização.
2. Sistema Gerenciador de Base de Dados (SGBD), que controla a manipulação dos dados das diversas bases de dados (Figura 3.4). É responsável por:
 - Controlar todos os dados das diversas bases de dados existentes na organização.

- Atualizar rapidamente registros e arquivos de dados.
- Inter-relacionar dados de diferentes fontes.
- Executar recuperação e manipulação complexas baseadas em consultas do usuário.
- Fornecer esquemas de segurança de dados.

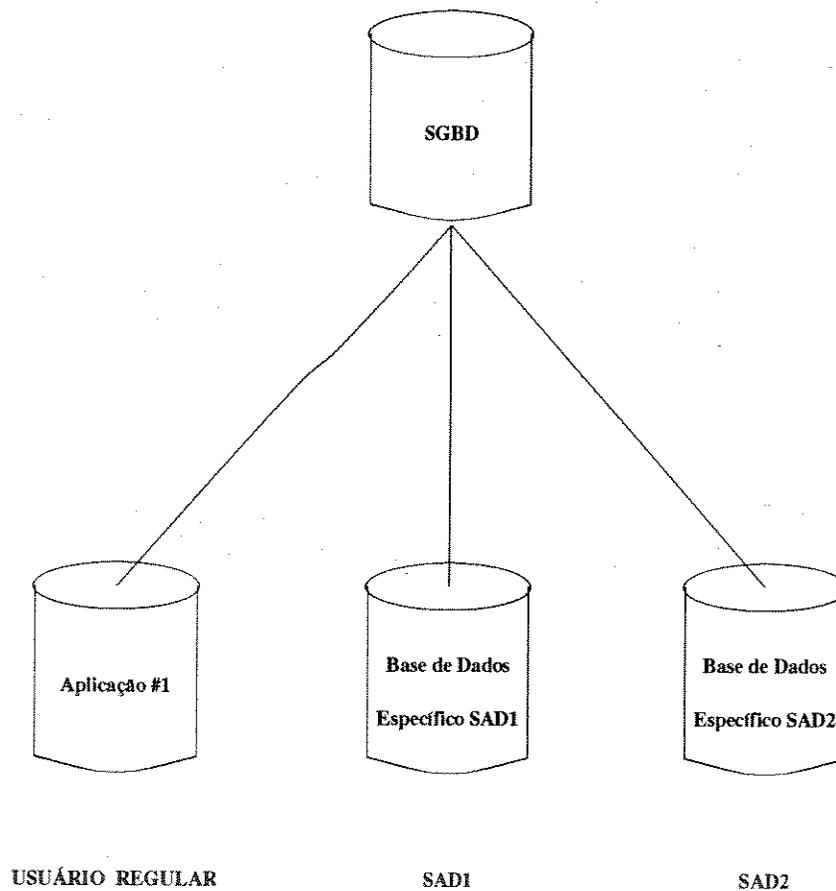


Figura 3.4: O Gerenciamento dos Dados

Os dados armazenados na base de dados devem ser organizados de tal forma a evitar, ao máximo, a redundância, de modo a permitir que eles sejam utilizados por várias aplicações mantendo entretanto, a integridade e a consistência. O SAD pode utilizar 3 (três) tipos de dados:

1. Dados Internos, que são provenientes do processamento de transações, como por exemplo, dados da folha de pagamento de um dado mês.

2. Dados Externos, que são provenientes do ambiente no qual o sistema está contido, como por exemplo dados da tendência inflacionária do próximo mês.
3. Dados Heurísticos, que são provenientes do *feeling* de cada um dos decisores em relação a um problema para uma situação em particular.

Os decisores podem acessar os dados na forma de relatórios periódicos, relatórios especiais (*ad hoc*) ou como resultados de modelos (Figura 3.5). E a partir destes dados, o Decisor estará apto a tomar qualquer decisão, dentro do que lhe foi colocado como meta a ser atingida.

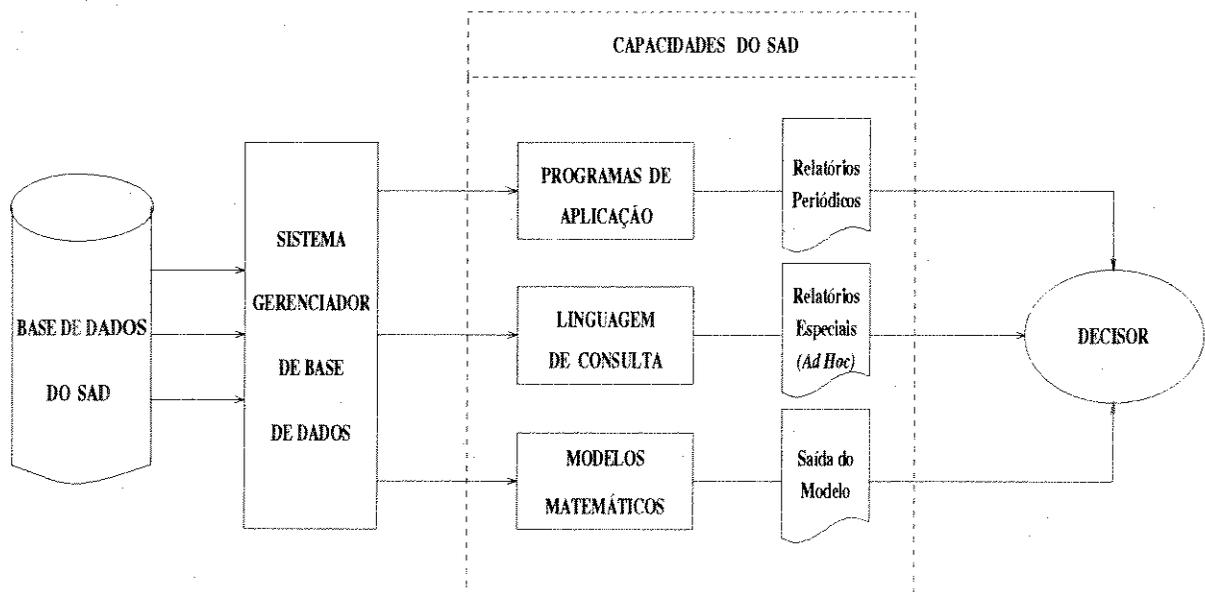


Figura 3.5: Acesso aos dados pelo Decisor

Atualmente, os pesquisadores estão explorando um novo tipo de dado, os **dados baseados em documentos**, onde os dados contidos em documentos como contratos, organogramas e cartas são armazenados e acessados de acordo com a necessidade de informação de apoio aos decisores [22].

3.2.2 O SUB-SISTEMA DE MODELOS

O Sub-sistema de Modelos é responsável pelo controle dos modelos disponíveis no SAD. É composto por:

1. Base de Modelos, que contém todos os modelos quantitativos utilizados pelos SAD.

2. Sistema Gerenciador de Base de Modelos (SGBM), que controla a manipulação dos modelos contidos na base de modelos. É responsável por:

- Criar modelos de forma rápida e fácil.
- Permitir aos usuários manipular modelos.
- Armazenar e gerenciar uma grande variedade de tipos diferentes de modelos.
- Acessar e integrar blocos de construção de modelos.
- Inter-relacionar modelos através da base de dados.
- Gerenciar a base de modelos exercendo atividades análogas ao SGBD.

Além dos modelos, a base de modelos deve conter blocos e sub-rotinas para a geração de modelos: programação linear, análise de séries temporais, dentre outros. Estas rotinas serão acessadas através do Sistema Gerenciador de Modelos e permitem ao usuário criar novos modelos e até mesmo, combiná-los de forma a resolver problemas *ad hoc* (não-programados). Esta capacidade de combinar modelos é o que diferencia o SAD dos demais auxílios computadorizados.

Atualmente, existem 2 (duas) linhas de pesquisa no que tange a Sistemas de Modelos: a primeira dá um tratamento relacional, semelhante à teoria de banco de dados relacional (Apêndice E), e a segunda propõe a utilização de Sistemas Especialistas com o intuito de (1) desenvolver modelos, (2) integrar modelos e (3) interpretar resultados de modelos [22].

Diferentemente do Sistema Gerenciador de Dados, os Sistemas Gerenciadores de Modelos não estão disponíveis comercialmente, devendo a própria organização desenvolvê-los de forma a atender às necessidades de apoio aos decisores.

3.2.3 O SUB-SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

O Sub-sistema de Comunicação é a união de todos os componentes de *hardware* e *software* que dão suporte à interação do usuário com o sistema. É composto por:

1. Linguagem de Comunicação, que é responsável pelo diálogo decisor-sistema, sendo sub-dividido em 2 (duas) formas: a Linguagem de Ação, que é como o usuário se comunica com o sistema; e a Linguagem de Apresentação, que é como o sistema se comunica com o usuário (Figura 3.6).
2. Base de Conhecimento, que é o conhecimento do Decisor acerca do problema. Contém os dados heurísticos (Figura 3.6).

3. Sistema Gerenciador e Gerador de Diálogo, que controla a interação Decisor-sistema, sendo responsável por:

- Interagir em diferentes estilos de diálogo.
- Interagir em diferentes dispositivos de entrada e saída.
- Apresentar e receber os dados em vários formatos distintos.
- Permitir a interação do decisor diretamente com o SGBD ou com o SGBM.
- Armazenar dados de entrada e saída.

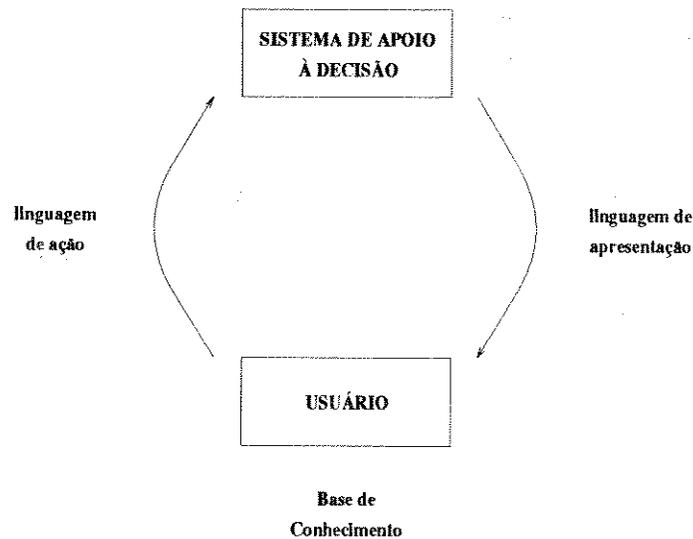


Figura 3.6: Comunicação Usuário/Sistema

Este componente tem uma fundamental participação na aceitação do sistema por parte da comunidade de usuários; para tanto, deve oferecer o maior número de recursos tecnológicos a fim de facilitar o uso do SAD pelos usuários, leigos ou não. Dentre tais recursos, citam-se: manipulação de dados por gráficos, auxílios *on-line*, linguagens desenvolvidas para o usuário final (Decisor), etc. Atualmente tem-se dado ênfase à utilização de animação em aplicações que envolvem a simulação de sistemas físicos, além de interfaces que respondem à voz [22].

3.2.4 O GERENCIADOR DE CONHECIMENTO

Em determinadas situações o SAD requer conhecimento especialista para a solução de problemas semi-estruturados ou não-estruturados. Este conhecimento pode ser fornecido por um ou por vários Sistemas Especialistas. Desta forma, o SAD é incrementado com um Gerenciador de Conhecimento que objetiva não só fornecer este conhecimento para solucionar problemas, mas também fornecer recursos para melhorar a operação dos demais componentes do sistema.

Assim como os gerenciadores de dados e de modelos, este componente é responsável pela manipulação e pela integração dos sistemas especialistas disponíveis para o SAD.

3.2.5 O DECISOR

Conforme citado na Seção 3.1, o estilo de decisão é o que vai determinar o comportamento do decisor no processo de decisão. No desenvolvimento de sistemas computacionais em apoio aos gerentes, deve-se levar em consideração este comportamento, pois é ele quem vai apontar as preferências por uma ou outra tecnologia, e por uma ou outra forma de interação com o sistema. Com isto, o SAD deve ser o mais flexível possível de forma a aceitar diferentes estilos e diferentes habilidades com o sistema e às vezes, com o próprio problema, existindo para isto sistemas cujo principal objetivo é o treinamento de pessoal [22].

Entretanto, deve-se ressaltar que o SAD durante a interação com o decisor apenas mostra alternativas de solução, não tomando qualquer iniciativa para desencadear o processo de implementação de uma determinada ação, ou seja, o sistema apenas auxilia o decisor no processo de tomada de decisão, fornecendo o suporte a cada uma de suas fases, conforme a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Suporte do SAD às fases da Tomada de Decisão

FASE	NECESSIDADE	APOIO
INTELIGÊNCIA	Procura oportunidades e problemas para serem resolvidos	Fontes de dados consistentes e de fácil manipulação; Capacidade de modelagem que permite a análise rápida dos dados; Capacidade para gerar relatórios "ad hoc"
PROJETO	Geração de cursos de ação alternativos; Definição do critério de escolha; Previsão das consequências futuras das várias alternativas	Geração de alternativas para problemas estruturados. No caso de problemas não estruturados, faz-se necessário o suporte de um especialista ou de um Sistema Especialista
ESCOLHA	Análise comparativa das alternativas	Alguns modelos matemáticos identificam soluções em potencial, podendo ordená-las segundo um critério desejado; Análises "what if" e de sensibilidade; Análise de diferentes cenários
IMPLEMENTAÇÃO	Divulgação dos resultados	Integração das decisões

Diante de todas estas informações a respeito do processo decisório, pode-se afirmar que este deve ser analisado não só em seus aspectos gerenciais, mas em toda a sua concepção multi-disciplinar, considerando não só os seus aspectos quantificáveis, mas sobretudo aqueles não mensuráveis, como a política organizacional, a política e a economia nacional, a utilização da computação como ferramenta de suporte e também, as relações humanas, que se mostram um fator importante para o sucesso ou fracasso de todo o processo.

Capítulo 4

O SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS HIDROTÉRMICOS

A natureza do SAD não permite que ele seja desenvolvido através das metodologias tradicionais de desenvolvimento de software. Tais metodologias são compostas por etapas bem definidas cujos objetivos são claros, o que não parece ser muito adequado para um sistema tipo o SAD, pois:

1. Vários estilos de tomada de decisão são suportados pelo sistema.
2. Todos os níveis de gerenciamento da organização são apoiados pelo sistema, devendo este fornecer diferentes visões dos dados.
3. As várias ferramentas de apoio podem ser combinadas nas mais diversas formas possíveis, não sendo interessante haver qualquer especificação rígida de tais combinações.
4. Os usuários acessam os dados através de diferentes dispositivos de saída, em formatos variados.
5. Todo o processo de tomada de decisão é apoiado pelo sistema.
6. O ambiente de tomada de decisão é extremamente mutável.

Com isto, a equipe de desenvolvimento não tem condição de fazer qualquer especificação formal e precisa, sendo interessante que o ciclo de desenvolvimento para este

tipo de sistema de informação seja elaborado de acordo com a maturidade organizacional em relação ao processo decisório.

No caso do POCP, optou-se pela formulação das seguintes etapas:

1. Estudo de Viabilidade do SAD-POCP.

Fez-se uma coleta preliminar dos dados e funções executadas pelo POCP quando então, foram discriminadas as razões para o desenvolvimento do SAD.

2. Análise.

Houve um estudo detalhado do sistema, sendo concebido o modelo lógico global do sistema atual.

3. Projeto.

Nesta fase houve a concepção do sistema proposto, sendo elaborado o modelo lógico de dados e de processos.

4. Desenvolvimento do Protótipo.

Nesta fase optou-se pelo desenvolvimento de um protótipo, sem capacidade de processamento. Este protótipo serviu para validar o modelo lógico de processos desenvolvido na etapa anterior, sendo ainda incorporadas algumas capacidades que não haviam sido visualizadas até então.

5. Refinamento do Protótipo.

Nesta fase serão incorporados os recursos que o sistema deverá possuir, de acordo com o que foi projetado. Ela deverá ser composta pelas seguintes atividades:

- (a) Implementação do modelo lógico de dados.
- (b) Incorporação das ferramentas matemáticas de Planejamento de Curto Prazo.
- (c) Especificação do Gerenciador de Modelos para o sistema.
- (d) Incorporação de técnicas de Inteligência Artificial e Processamento Paralelo, dentre outras, com o intuito de melhorar a utilização do sistema.

Esta fase não foi realizado neste trabalho, por se entender que ainda se faz necessário:

- (a) Interagir com os demais horizontes da Cadeia de Planejamento para otimizar os dados utilizados por cada um deles [9].
- (b) Validar as ferramentas utilizadas pelo Planejamento de Curto Prazo [8], [10].
- (c) Aprofundar conhecimentos nas funções do Gerenciador de Modelos, o que ainda não está consolidado na própria literatura da área.

- (d) Entender melhor o processo de planejamento, o que só irá acontecer através da utilização do sistema, quando então o usuário poderá levantar regras de planejamento e operação a serem incorporadas ao sistema, bem como melhorar a eficiência das ferramentas disponíveis na Base de Modelos.

4.1 ESTUDO DE VIABILIDADE DO SAD-POCP

Uma análise da Operação de Curto Prazo mostra que se trata de um problema semi-estruturado, pois há grande utilização de modelos matemáticos, porém, se faz necessária a análise do decisor para que seja programada uma política eficiente de operação. Dentro deste contexto, dois aspectos devem ser levados em consideração:

1. É sabido que uma parte significativa do tempo gasto em uma análise é com a manipulação dos dados - em estudos de fluxo de carga, este tempo chega a ser da ordem de 50%. Neste sentido, torna-se interessante dispor de um sistema eficiente para manipulação de dados.
2. No estudo da Operação de Curto Prazo há muita interação entre diferentes ferramentas, sendo necessário haver um mecanismo que melhore a manipulação e a integração destas ferramentas.

Um outro aspecto importante na integração das ferramentas é a sua flexibilidade, dado que as análises a serem realizadas podem variar muito em função das condições do sistema, tais como condições hidrológicas, condições dos sistemas de geração, de transmissão e distribuição, condições de mercado, dentre outras.

Diante do exposto, o desenvolvimento de um SAD para o POCP se mostra interessante pelas seguintes razões:

1. Com o Sub-Sistema de Dados será mais fácil ter o controle de todas as informações úteis para o decisor, assim como será mais eficiente a interação com o Planejamento de Médio Prazo.
2. Com o Sub-Sistema de Modelos tornar-se-ão mais simples tanto a integração das diversas ferramentas de planejamento e análise de Curto Prazo, como a manutenção de tais ferramentas.
3. O SAD por ser um sistema extremamente amigável, capaz de interagir com o usuário e responder a questões "ad-hoc", facilita a definição de várias configurações não-padroneizadas (não-programadas) para os estudos de Curto Prazo.

Entretanto, não é suficientemente satisfatório que seja mostrada a viabilidade do desenvolvimento de um sistema sem que se faça também uma análise do contexto no qual tal sistema estará inserido. Com isto, dois ambientes podem ser beneficiados:

1. SAD para um Sistema de Produção.

No planejamento real, é necessário que a programação de operação elaborada por uma concessionária de energia elétrica seja coerente com as demais companhias com as quais é interligada. Isto só será viável e confiável se houver uma comunicação computacional entre as empresas para que haja esta compatibilização das programações. Dentro desta perspectiva, ressalte-se que o uso de um sistema de banco de dados (Apêndice E) facilita esta comunicação, pois o próprio sistema computacional é intercomunicante, transferindo informação de forma automatizada, diminuindo a possibilidade de erros e de retenção de informação. Uma situação hipotética seria o acesso à base de dados de uma concessionária pelas demais empresas, ou seja, uma base de dados distribuída de todo o sistema brasileiro, podendo-se ter entretanto, um controle centralizado destes acessos.

Outro aspecto relevante refere-se à necessidade de análises de diferentes condições operacionais do sistema a fim de que seja feita uma programação da operação mais segura. Tais análises requerem a variação de diversos dados, tais como:

- Desligamentos.

Verifica-se se a saída de um certo equipamento não compromete o atendimento dos requisitos de mercado, a operação e as metas energéticas.

- Metas Energéticas.

Em certos períodos do ano podem ocorrer incertezas nas metas energéticas em decorrência de erros na previsão de afluência e de carga. Com isto, faz-se necessário ajustes em tais metas.

- Afluências.

Em períodos de grandes cheias faz-se necessário que sejam analisadas diversas previsões de afluência a fim de se verificar principalmente a segurança dos reservatórios.

- Demandas.

Às vezes a demanda de carga torna-se atípica em decorrência de situações como jogos de Copa do Mundo, onde a demanda pode variar em função do resultado (vitória/derrota/prorrogação), final de novela, virada nas condições meteorológicas.

- Seguranças.

Em determinados períodos do dia, a perda de certos equipamentos pode tornar crítica a operação do sistema. Em muitos casos, torna-se interessante incluir restrições adicionais ao problema de POCP, as chamadas *restrições de segurança*, de modo a precaver-se contra tais situações.

2. SAD em um ambiente de Pesquisa e Ensino (P/E).

O desenvolvimento de um SAD para P/E objetiva:

- Desenvolver e validar ferramentas matemático-computacionais para o POCP.
- Formar pessoal qualificado em planejamento e mais especificamente em POCP.
- Fornecer subsídios sobre a operação do sistema na elaboração de políticas de aproveitamento dos recursos hidro-energéticos, no qual outros aspectos devem ser levados em consideração, tais como as questões ambientais, financeiras, administrativas e políticas.

Com isto, a Universidade estará incrementando a sua função social: formando mão-de-obra qualificada e desenvolvendo tecnologia de ponta com o intuito de melhorar a qualidade de vida da comunidade.

Entretanto, enfatiza-se que deverá haver intercâmbio entre estas duas visões, e que este intercâmbio só terá êxito após a validação dos dados utilizados pelos diversos usuários.

4.2 O ESCOPO DO POCP

Usualmente os problemas de POCP são modelados através da programação matemática cujas características variam em função das restrições dos sistemas hidrotérmicos, tendo-se assim, desde modelos de programação linear até modelos de programação mista.

No presente trabalho considera-se um sistema hidrotérmico predominantemente hidráulico, composto por um sistema de geração com m usinas hidráulicas, n usinas térmicas, e por um sistema de transmissão com r barras e s linhas de transmissão. Em tais sistemas, a operação das térmicas é em geral muito simples, e praticamente inexitem os problemas de custo e de restrição de partida, os quais não são tratados aqui, podendo porém, serem incorporados ao trabalho sem grandes complicações.

Para o sistema em questão, pode-se fazer a seguinte formulação matemática:

$$MIN \sum_{t=1}^T \theta(\underline{g}^t, \underline{f}^t) \quad (4.1)$$

sujeito a:

restrições hidráulicas:

$$x_i^t = x_i^{t-1} + y_i^t + \sum_{j \in S_i} u_j^{t-\theta_{ji}} - u_i^t \quad i = 1, \dots, m \quad (4.2)$$

$$x_i^{min} \leq x_i^t \leq x_i^{max} \quad i = 1, \dots, m \quad (4.3)$$

$$u_i^{min} \leq u_i^t \leq u_i^{max} \quad (4.4)$$

$$|u_i^t - u_i^{t-1}| \leq \Delta_i \quad i = 1, \dots, m \quad (4.5)$$

$$u_i = q_i + v_i \quad i = 1, \dots, m \quad (4.6)$$

restrições térmicas:

$$p_k^{min} \leq p_k^t \leq p_k^{max} \quad k = 1, \dots, n \quad (4.7)$$

$$|p_k^t - p_k^{t-1}| \leq \Delta_k \quad k = 1, \dots, n \quad (4.8)$$

restrições de transmissão:

$$D^t \underline{p}^t = \underline{f}^t \quad t = 1, \dots, T \quad (4.9)$$

$$- \underline{f}^{max} \leq \underline{f}^t \leq \underline{f}^{max} \quad (4.10)$$

relação entre as variáveis elétricas e hidráulicas:

$$p_i^t = k_i (h_{m_i}(x_i^t) - h_{j_i}(u_i^t)) q_i^t \quad i = 1, \dots, m \quad (4.11)$$

A restrição (4.9) estabelece uma relação linear entre as injeções de potência ativa nas barras (\underline{p}^t) e os fluxos de potência ativa (\underline{f}^t) nas linhas de transmissão a cada intervalo de tempo t . As componentes do vetor (\underline{p}^t) que correspondem às barras de geração são dadas pelas gerações no intervalo t e são variáveis do problema; enquanto que as componentes que correspondem às barras de carga são dadas pela demanda de carga no intervalo t das respectivas barras, supostamente conhecidas.

A matriz D^t depende da configuração do sistema de transmissão durante o intervalo t , o qual, a princípio, pode variar de um intervalo para outro, ou seja, pode-se ter uma matriz D^t diferente para cada intervalo de tempo. Outros parâmetros podem variar desta mesma forma, como os limites operativos, por exemplo. A função objetivo pode representar custos como também índices de desempenho do sistema, como, por exemplo, perdas no sistema de transmissão.

A solução deste modelo fornece a geração de cada unidade geradora a cada intervalo de tempo, além do carregamento de todas as linhas de transmissão (potência ativa) em todos os intervalos de tempo. Note-se que ele só considera um modelo linear do sistema de transmissão, não analisando fatores como perfil de tensão/despacho de potência reativa e análise de segurança, dentre outros, e que são úteis na elaboração de uma programação de qualidade e segura. A nível de Planejamento de Curto Prazo, é interessante analisar os dois aspectos acima citados.

A idéia destas análises é verificar se a solução obtida do problema (4.1) - (4.11) atende às especificações de perfil de tensão/reactivo e aos requisitos de segurança. Os modelos de Fluxo de Carga Ótimo são utilizados como ferramentas para a primeira análise; já os modelos de Análise de Contingências são usadas para a segunda análise. Ambas consideram a operação estática da rede de transmissão e portanto, são independentes para cada intervalo de tempo podendo serem efetuadas somente nos intervalos críticos. Estas análises foram denominadas **Análises Horárias**.

Capítulo 5

A ANÁLISE DO SISTEMA

Esta fase definiu os recursos que o sistema deveria possuir de forma a atender aos requisitos do(s) usuário(s). Ela foi dividida em 2 (duas) etapas: Estudo do Sistema Atual e Definição das Necessidades do Usuário.

O ESTUDO DO SISTEMA ATUAL

Esta etapa objetivou fazer um levantamento de como o usuário elaborava uma programação de Curto Prazo utilizando o sistema computacional até então desenvolvido. Foi constatado que:

1. Não havia um ambiente de integração de ferramentas de Planejamento de Curto Prazo, e muito menos havia a integração da Cadeia de Planejamento.
2. Havia várias ferramentas que não interagiam e que utilizavam "bases de dados" específicas e até mesmo redundantes.
3. Não havia ferramentas que verificassem pontos de fragilidade do sistema (Análise de Contingência, por exemplo) em conjunto com o Planejamento da Operação de Curto Prazo.
4. Não havia a possibilidade de comunicação e integração entre as ferramentas matemáticas.
5. Não havia a possibilidade de compatibilização dos resultados das diversas ferramentas.
6. Os resultados eram mostrados ao(s) usuário(s) na forma de longos relatórios, nos quais ficava difícil qualquer tipo de análise.

7. Não havia regras de desenvolvimento de software, as quais possibilitariam que os softwares desenvolvidos fossem utilizados também por leigos.
8. Não havia um ambiente que permitisse que a utilização das ferramentas fosse feita de forma amigável, onde ficasse mais fácil para o usuário manipular os dados de forma a montar as suas configurações para estudos de curto prazo.

Com a conclusão desta etapa, estava elaborado o **modelo lógico global do sistema**. Este modelo objetivou:

1. Mostrar o fluxo de informações no sistema.
2. Mostrar como o usuário interagia com o sistema.
3. Adquirir mais "feeling" do Planejamento de Curto Prazo.

e é composto por 2 (dois) sub-modelos:

1. O Sub-Modelo de Dados.

Este modelo objetivou mostrar como as informações geradas eram de fato manipuladas pelo sistema. Tais informações foram detalhadas na forma de dados atômicos (não decomponíveis). Exemplo:

INFORMAÇÃO : Resultado do Pré-Despacho

DADOS : Código do Sistema, Hora, Código da Usina Hidroelétrica, Volume Armazenado, Turbinagem, Geração de Potência Ativa, Multiplicador de Lagrange, Código da Linha, Fluxo de Potência Ativa, Código da Barra, Ângulo de Fase.

Este exemplo mostra que a entidade (Apêndice A) *Resultado_Pré_Despacho* (informação desejada pelo Decisor) é composta por atributos (Apêndice A), ou seja, o Decisor e o sistema computacional manipulam na realidade este conjunto de dados atômicos descritos acima.

Com isto, foi possível identificar os inter-relacionamentos entre os dados.

A ferramenta utilizada para a modelagem dos dados foi o **Modelo Entidade-Relacionamento (MER)** (Apêndice A), e os resultados desta modelagem estão mostrados na Figura 5.1.

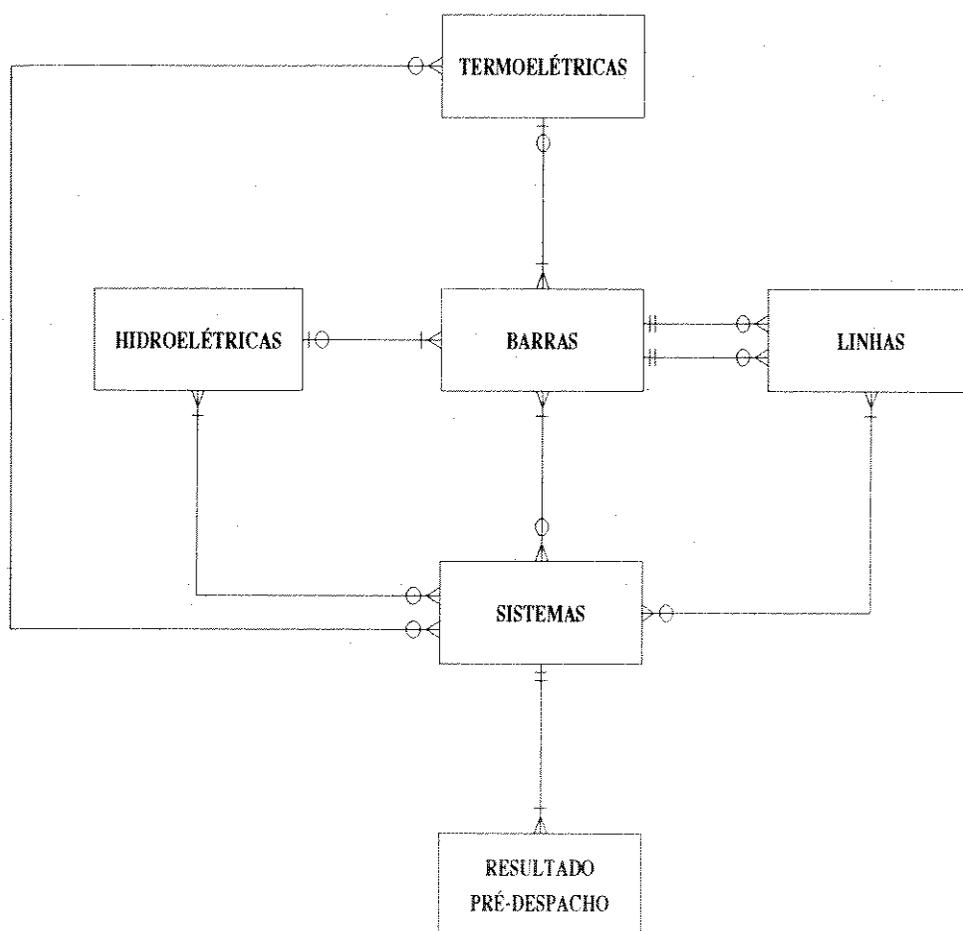


Figura 5.1: O Modelo Entidade-Relacionamento da Fase de Análise

Cada bloco da Figura 5.1 representa uma entidade (Apêndice A), e a cada entidade está associada uma série de atributos (Apêndice A) que a caracteriza. A ligação entre as entidades, chamada relacionamento (Apêndice A), indica a inter-relação entre as mesmas. Note-se que para se montar uma configuração do sistema para realizar os estudos de Curto Prazo, é necessário que seja gerada uma única entidade com todos os dados referentes às Usinas Hidroelétricas, às Barras e às Linhas de Transmissão. Em termos físicos tratar-se-ia de um único arquivo tipo texto com todos os dados, o que seria muito difícil para um bom gerenciamento por parte do usuário, a não ser que seja o próprio projetista do sistema. Além disso, a única ferramenta para o POCP é o Pré-Despacho, não havendo qualquer comunicação com os resultados definidos pelo Médio Prazo.

Os detalhes referentes aos atributos de cada uma destas entidades estão no Apêndice F.

2. O Sub-Modelo de Processos.

Este modelo objetivou mostrar como os dados básicos circulavam pelo sistema, o qual foi decomposto de forma a identificar todos os seus procedimentos básicos. Este sub-modelo foi ainda muito útil para que fosse adquirido mais "feeling" do problema de Planejamento de Curto Prazo, identificando os dados que o caracterizavam e definindo a interação com o usuário.

A ferramenta utilizada para a modelagem dos processos foi o **Diagrama de Fluxo de Dados (DFD)** (Apêndice B).

O sub-modelo de processos está descrito na Figura 5.2 e na Figura 5.3.

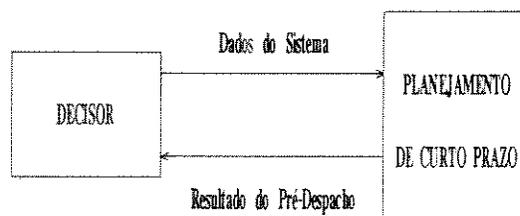


Figura 5.2: Diagrama de Contexto da Análise

Detalhamento dos Fluxos:

- **Dados do Sistema:** Código_Sistema, configurações Hidráulica, Térmica, de Transmissão e de Consumo, Parâmetros destas configurações, períodos de cálculo do pré-despacho.

- Resultado do Pré-Despacho: Código_Sistema, Hora, Código_Usina, Volume, Turbinagem, Geração_Potência_Ativa, Multiplicador_Lagrange, Código_Linha, Fluxo_Potência_Ativa, Código_Barra, Ângulo_Fase

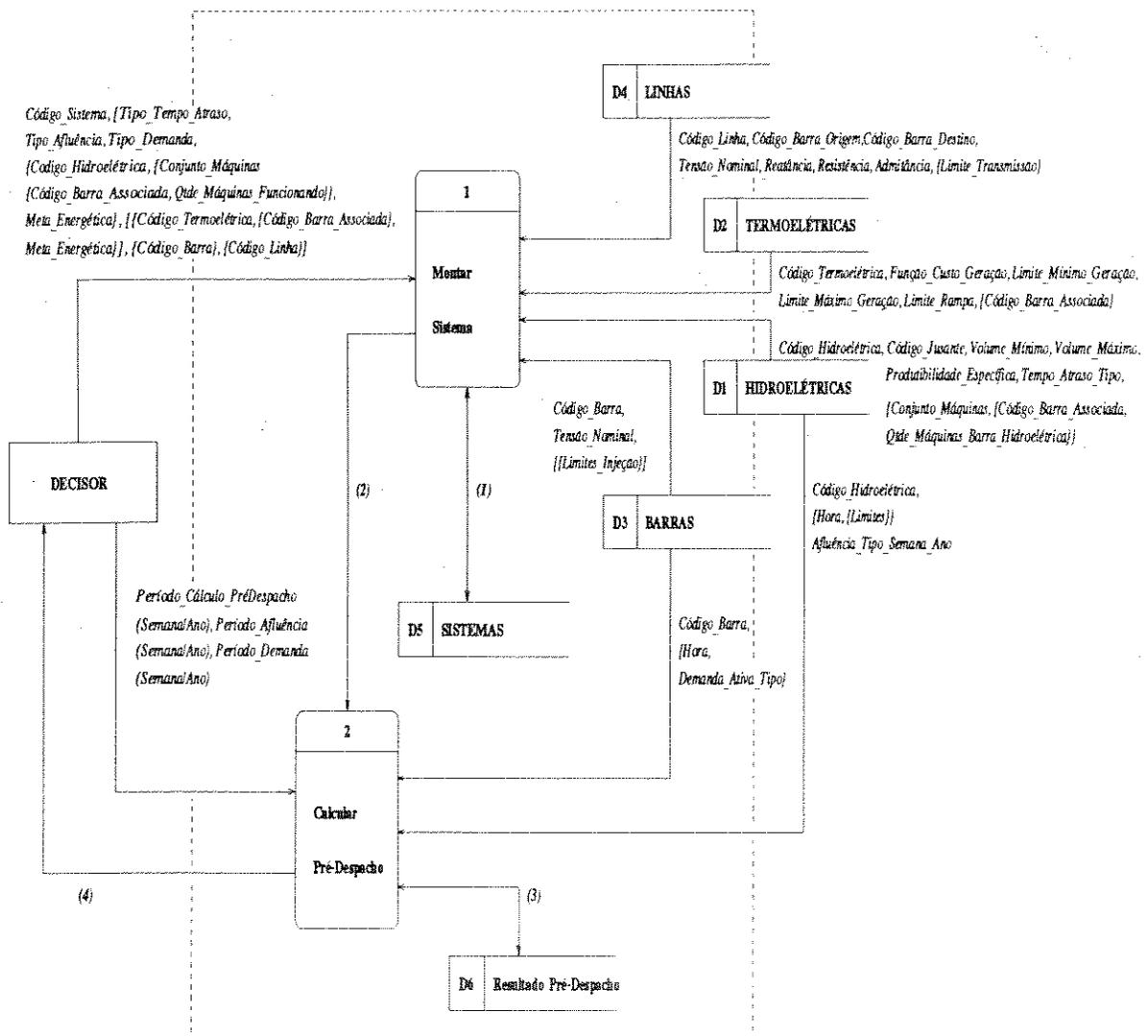


Figura 5.3: Detalhamento do Planejamento de Curto Prazo

Detalhamento dos Fluxos:

- Fluxo (1): *Código_Sistema, Tipo_Afluência, Tipo_Demanda, { Código_Hidroelétrica, { Conjunto_Máquinas, { Código_Barra_Associada, Qtde_Máquinas_Funcionando}}}, {{ Código_Termoelétrica, { Código_Barra_Associada}}}, { Código_Barra}, { Código_Linha}*

- Fluxo (2): *Código_Sistema*, *Tipo_Afluência*, *Tipo_Demanda*, {*Código_Hidroelétrica*, *Código_Jusante*, *Volume_Mínimo*, *Volume_Máximo*, *Produtibilidade_Específica*, *Tempo_Atraso_Tipo*, {*Conjunto_Máquinas*, {*Código_Barra_Associada*, *Quantidade_Máquinas_Funcionando*}}}, [{*Código_Termoelétrica*, *Função_Custo_Geração*, *Limite_Mínimo_Geração*, *Limite_Máximo_Geração*, *Limite_Rampa*, {*Código_Barra_Associada*}}], {*Código_Barra*, *Tensão_Nominal*, [{*Limites_Injeção*}]}, {*Código_Linha*, *Código_Barra_Origem*, *Código_Barra_Destino*, *Tensão_Nominal*, *Reatância*, *Resistência*, *Admitância*, {*Limite_Transmissão*}}
- Fluxo (3): *Código_Sistema*, {*Hora*, {*Código_Hidroelétrica*, *Volume*, *Turbina-gem*, *Geração_Potência_Ativa*, *Multiplicador_Lagrange*}}, {*Código_Linha*, *Fluxo_Potência_Ativa*}, {*Código_Barra*, *Ângulo_Fase*}}
- Fluxo (4): *Código_Sistema*, {*Hora*, {*Código_Hidroelétrica*, *Volume*, *Turbina-gem*, *Geração_Potência_Ativa*, *Multiplicador_Lagrange*}}, {*Código_Linha*, *Fluxo_Potência_Ativa*}, {*Código_Barra*, *Ângulo_Fase*}}

Note-se que, o usuário não interage com o sistema de forma a incorporar o seu conhecimento do problema.

A definição do conteúdo dos depósitos de dados está no Apêndice F.

Deve-se enfatizar que é necessário haver coerência entre tais sub-modelos, isto irá facilitar a delimitação do escopo, das capacidades e da interação do sistema em questão com os demais sistemas existentes na organização, bem como com o(s) usuário(s).

DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES DO USUÁRIO

Durante as entrevistas com o(s) usuário(s), foram apontadas as seguintes necessidades:

• De Informação:

1. Manipulação pelo próprio sistema computacional dos resultados dos planejamentos de longo, médio e curto prazos de forma a favorecer na compatibilização destes resultados e permitir um futuro "feedback" entre eles.
2. Manipulação dos resultados do Planejamento de Curto Prazo por ferramentas de análises de Curto Prazo a fim de se detectarem pontos de fragilidade do sistema.
3. Acesso fácil aos dados de Hidroelétricas, Termoelétrica, Barras e Linhas de Transmissão.
4. Manipulação dos dados de várias formas diferentes, o que dependerá do estilo do usuário.

• De Processamento:

1. Definição de outras ferramentas de Planejamento de Curto Prazo, bem como de Análise de Curto Prazo.
2. Combinação de várias ferramentas, tanto no âmbito de Curto Prazo como na Cadeia de Planejamento.
3. Possibilidade de incorporação de regras heurísticas utilizadas no processo decisório do usuário.
4. Facilidade para a montagem de problemas de Curto Prazo.

Com todos estes aspectos definidos: (1) necessidades do usuário, (2) limitações do sistema atual, (3) escopo do sistema, (4) interação do sistema com o meio externo; é reforçada ainda mais a necessidade de desenvolver-se um ambiente que gerencie dados e modelos de forma a auxiliar a elaboração do Planejamento de Curto Prazo, bem como integre todos os horizontes da Cadeia de Planejamento.

Capítulo 6

O PROJETO DO SISTEMA

Nesta fase fez-se a proposição do SAD para POCP. Novamente, os estudos foram realizados em termos de Dados e Processos, sendo então definida uma arquitetura para o sistema de forma a incorporar o que fora estabelecido pela Análise.

O PROJETO DE DADOS

O sub-modelo de dados (resultado da Análise) foi modificado de forma a incorporar os dados resultantes das necessidades de informação do(s) usuário(s). Este sub-modelo modificado passou por um processo de *normalização* (Apêndice C) com o intuito de acabar ou, pelo menos, amenizar as redundâncias existentes. Este processo objetivou proporcionar uma melhor visualização do sistema a fim de se tornar mais fácil a manipulação dos dados durante a implementação da base de dados. Enfatizando-se porém, que esta normalização pode ser modificada, a critério da equipe de desenvolvimento por questões de eficiência (rapidez) computacional.

A ferramenta utilizada nesta fase foi o **MER** com o apoio de um **Dicionário de Dados (DD)** (Apêndice D).

O MER (Apêndice A) desta fase está mostrado na Figura 6.1, e já está normalizado. Acredita-se porém, que a opção por este modelo deverá ser feita pelo projetista da base de dados. No Apêndice G estão os dados referentes a cada uma das entidades aqui descritas.

O modelo da Figura 6.1 mostra como as entidades que descrevem um sistema hidrotérmico se relacionam, as quais foram denominadas **Dados Básicos**.

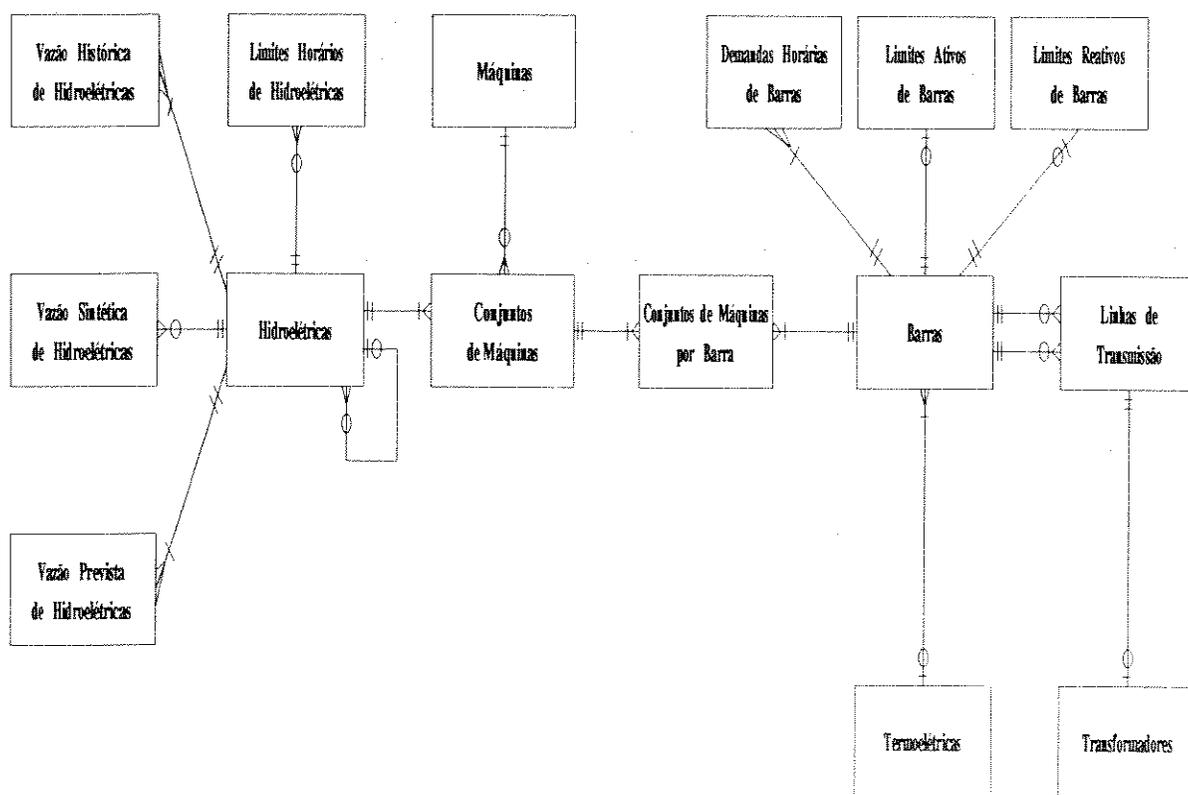


Figura 6.1: O Modelo Entidade-Relacionamento Normalizado dos Dados Básicos

No Apêndice G estão os demais modelos entidade-relacionamento definidos para o sistema.

O PROJETO DE PROCESSOS

Nesta etapa fez-se uma reavaliação dos procedimentos definidos pela Análise de modo a incorporar as capacidades de processamento desejadas pelo(s) usuário(s), dentre as quais citam-se:

1. Definição de procedimentos para a montagem de problemas de Planejamento de Curto Prazo. Aqui utilizou-se a mesma idéia da Cadeia de Planejamento: os dados foram especificados por Generalidade-Especialidade, ou seja, primeiro os dados mais gerais e que fazem parte de vários problemas são definidos e depois as particularidades da cada problema são especificadas.
2. Definição de procedimentos para a montagem de problemas de Análise de Curto Prazo, seguindo-se a mesma idéia do item anterior. Entretanto, este tópico não foi explorado no presente trabalho por ainda se encontrar em estudos.
3. Visualização de integração de diversas ferramentas, tanto de planejamento quanto de análise.
4. Visualização da interação do usuário com o sistema de modo a serem identificadas etapas desta interação nas quais o usuário pode incorporar o seu conhecimento heurístico.

Isto possibilitou uma melhor visualização dos principais módulos componentes do sistema:

1. Montagem de problemas.
2. Elaboração do planejamento.
3. Elaboração das análises do planejamento (ainda em estudo).

Entretanto, optou-se por não definir estes módulos de uma forma muito rígida devido à característica de mutabilidade do SAD.

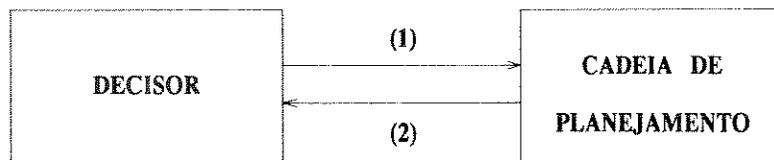


Figura 6.2: Diagrama de Contexto do Projeto

Considerações:

- Fluxo (1): *Configuração Hidráulica, Configuração Térmica, Configuração Elétrica, Parâmetros para o Planejamento de Longo Prazo, Parâmetros para o Planejamento de Médio Prazo, Parâmetros para o Planejamento de Curto Prazo.*
- Fluxo (2): Custos Marginais (resultado do Planejamento de Longo Prazo), Metas Energéticas (resultado do Planejamento de Médio Prazo), Geração Hidráulica/Fluxo (resultado do Planejamento de Curto Prazo).

Aqui é proposto um sistema computacional para a Cadeia de Planejamento. Este sistema é composto por 3 (três) visões: Planejamento de Longo Prazo, Planejamento de Médio Prazo e Planejamento de Curto Prazo. Cada uma destas visões faz manipulações de uma forma particular, tanto em termos de dados, como em termos de ferramentas matemáticas, e conseqüentemente em termos de resultados.

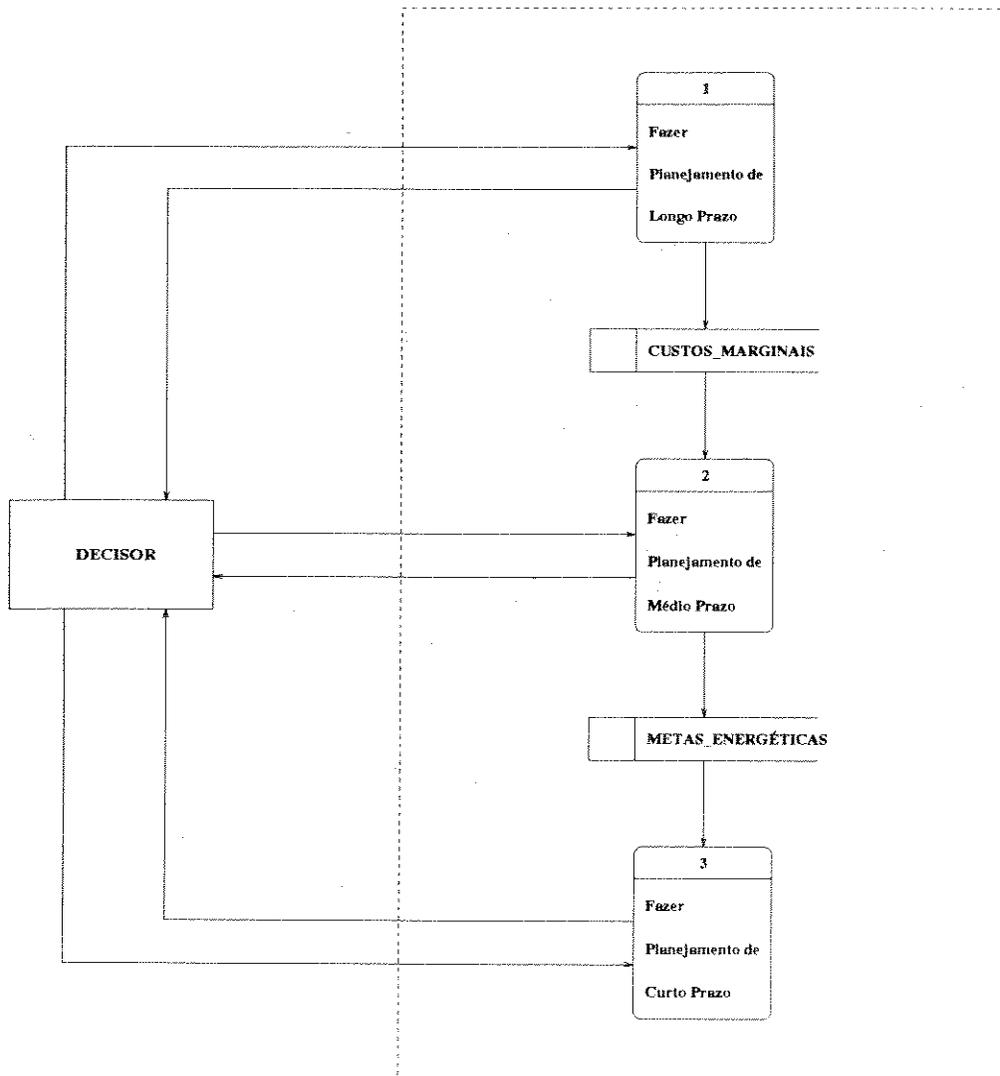


Figura 6.3: Detalhamento da Cadeia de Planejamento

O presente trabalho dá a visão do Planejamento de Curto Prazo e fornece meios que possibilitem a integração de todo o processo de planejamento.

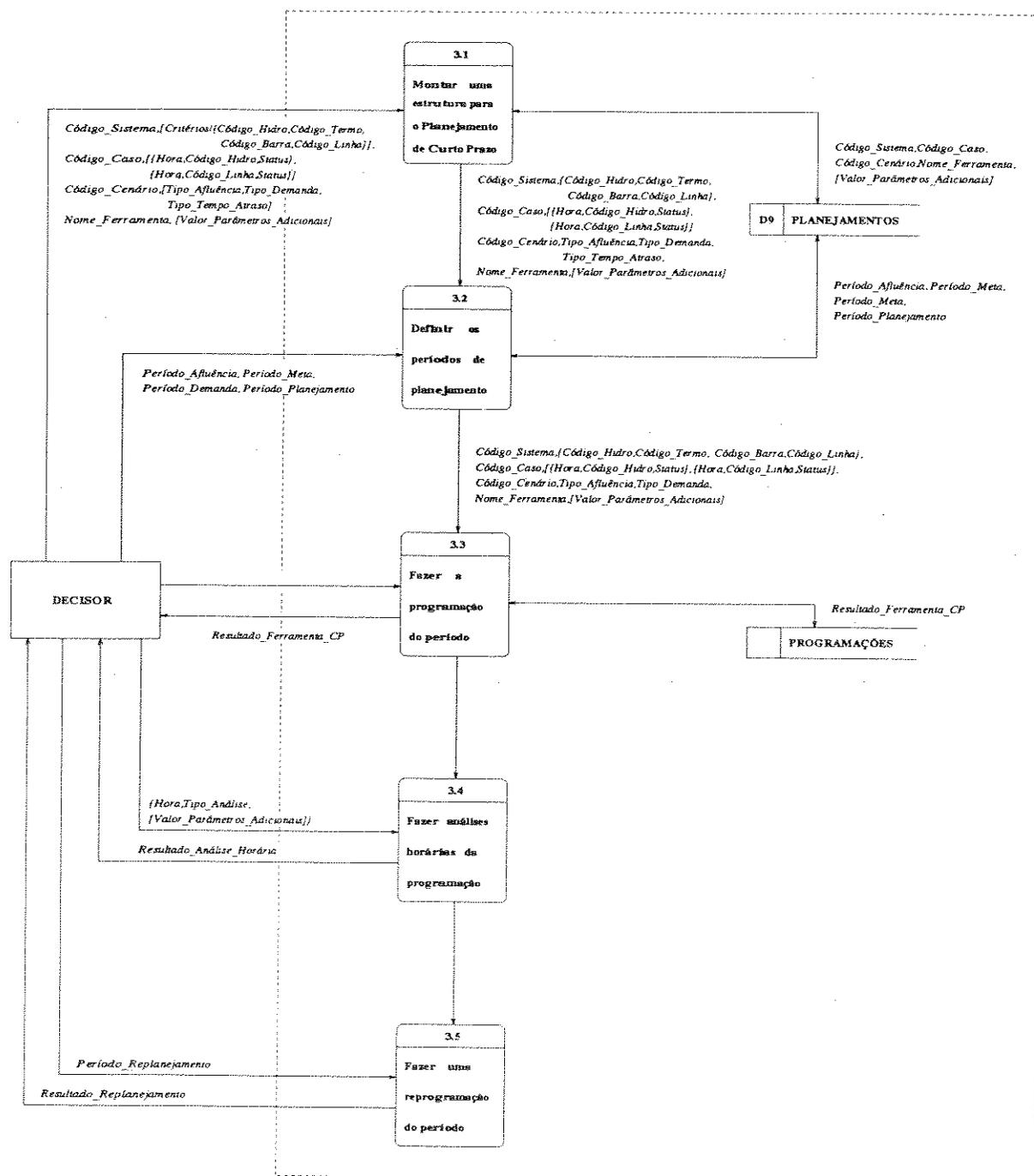


Figura 6.4: Detalhamento do Processo3 : Fazer o Planejamento de Curto Prazo

Considerações:

- O depósito **PROGRAMAÇÕES** é uma representação simbólica de todos os depósitos resultantes do Planejamento de Curto Prazo. Para o sistema em proposição, o único depósito definido foi o **Resultado do Pré-Despacho**.

O Planejamento de Curto Prazo é a atividade de elaboração de uma programação semanal ou diária confiável para um determinado conjunto de hidroelétricas, termoelétricas, barras e linhas de transmissão, sob certas condições operacionais. Para que seja elaborada esta programação (Processo3.3) é necessário que o usuário antes defina:

1. O seu objeto de estudo, ou seja, este conjunto de componentes físicos e as respectivas condições operacionais (Processo3.1).
2. O conjunto de parâmetros da programação (Process3.2). Este conjunto é formado pelo:
 - Período de Afluência (Semana/Ano).
 - Período de Demanda (Semana/Ano).
 - Período do Planejamento (Dia/Mês/Ano Inicial a Dia/Mês/Ano Final).
 - Período de Meta Energética (Semana/Ano).

Entretanto, esta programação só será de fato confiável se forem feitas certos tipos de análises, como verificação de pontos de fragilidade, por exemplo. Assim, faz-se necessário que o usuário realize algumas análises horárias (Processo3.4). Tais análises poderão acarretar que seja feita uma série de reprogramações (Processo3.5) no que fora determinado anteriormente. Porém, este processo não foi explorado neste trabalho.

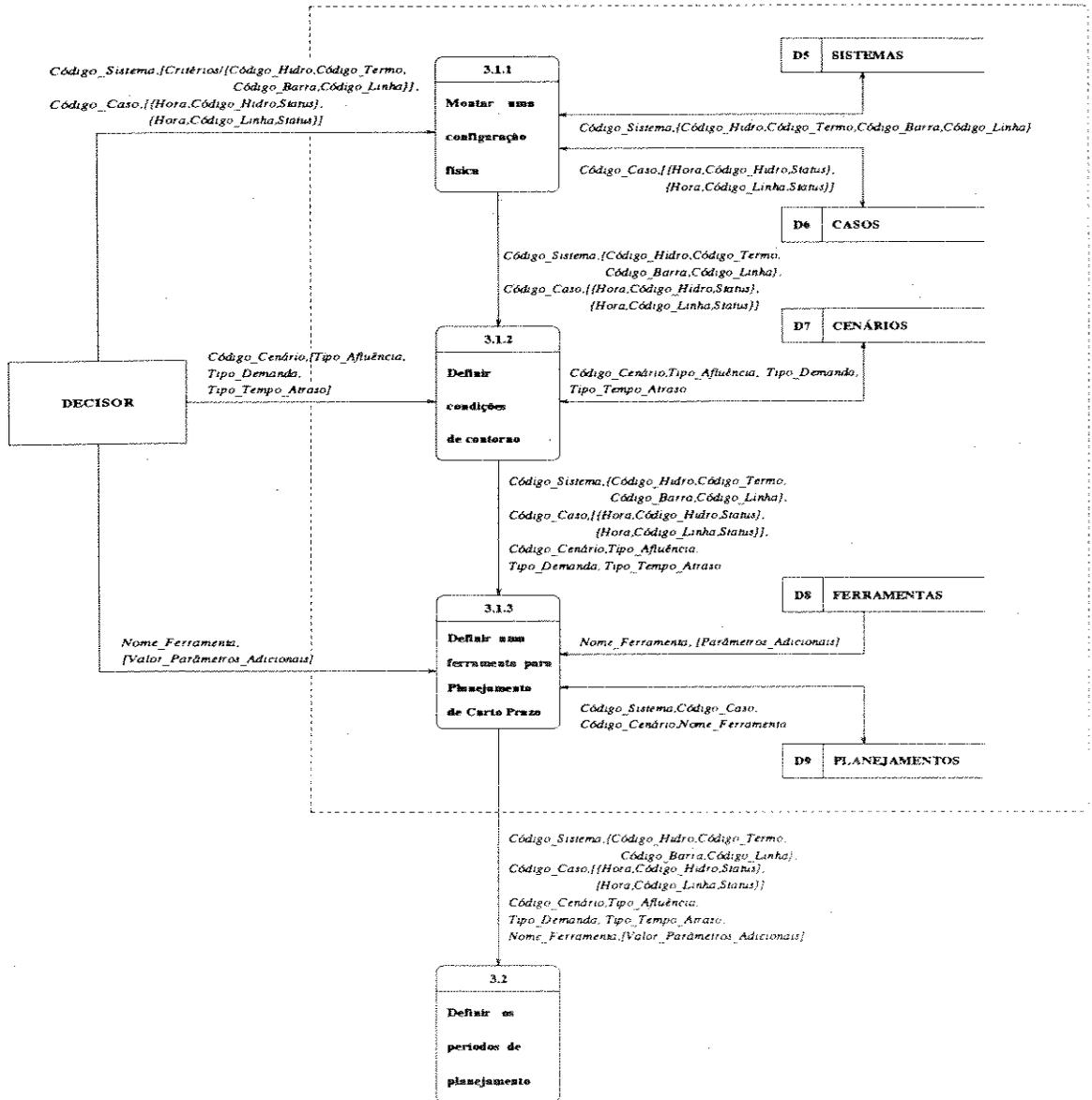


Figura 6.5: Detalhamento do Processo31: Montar uma Estrutura p/ o Planejamento de Curto Prazo

Este processo visa a formulação do objeto de estudo do usuário, o qual é melhor detalhado da seguinte forma:

1. O usuário deve inicialmente definir qual a configuração física que será estudada (Processo 3.1.1). Esta configuração é formada pelo conjunto de hidroelétricas, termoeleétricas, barras e linhas de transmissão, mais certas restrições operativas que este conjunto deve obedecer.
2. O usuário deve também declarar o que se chamou de Condições de Contorno (Processo 3.1.2). Estas condições incluem:
 - Tipo de Afluência: Histórica ou Prevista.
 - Tipo de Demanda: Carga Baixa, Carga Média ou Carga Alta, por exemplo.
 - Tipo de Tempo de Atraso: Período Seco, Período Médio (cheia) ou Período Cheio (cheia excepcional).
3. Por fim, deve ser definida a ferramenta de cálculo do Planejamento de Curto Prazo, com os seus respectivos parâmetros adicionais.

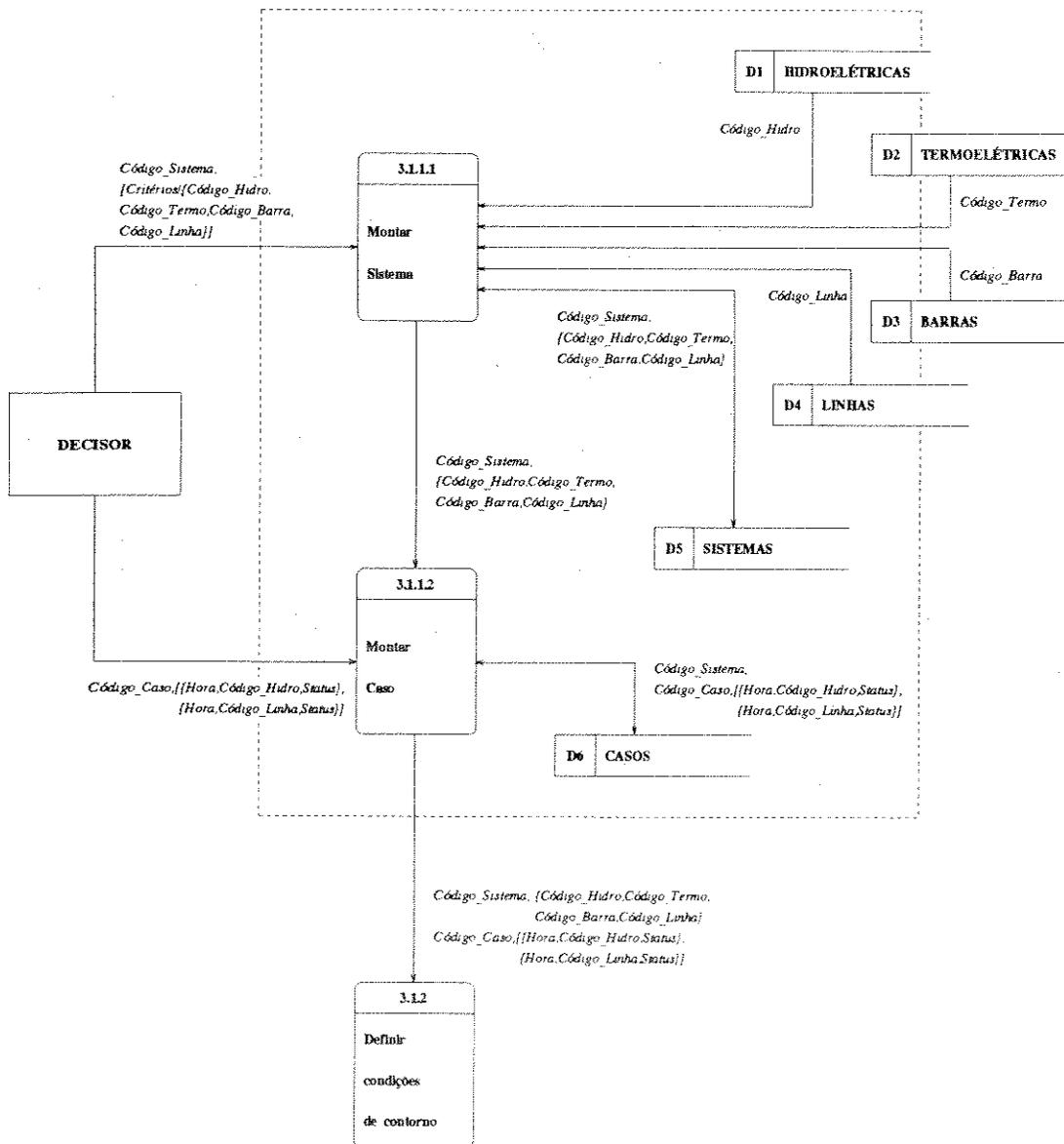


Figura 6.6: Detalhamento do Processo 311: Montar uma Configuração Física

Este processo permite que o usuário defina propriamente o seu objeto de estudo, o qual foi chamado de Configuração e é composta por:

1. Um conjunto de componentes físicas (hidroelétricas, termoelétricas, barras e linhas de transmissão) e, foi denominado de Sistema. Na definição de um Sistema, o usuário pode fazê-lo das seguintes formas:
 - (a) Escolher cada uma das componentes, informando o seu código ou o seu nome.
 - (b) Determinar critérios: por empresa, por região, por porte, dentre outros definidos pelo usuário.
 - (c) Combinar todos os critérios anteriores. Exemplo: deseja-se estudar o sistema CESP para as linhas de transmissão que operem numa tensão nominal maior que um certo valor.
2. Um conjunto de restrições operacionais que as componentes físicas devem obedecer. Cada conjunto, denominado Caso, contém as seguintes informações:
 - Quantidade de máquinas de uma determinada hidroelétrica que estão em funcionamento. O valor *default* é todas elas funcionando. O usuário deverá informar o período, a hidroelétrica, o conjunto de máquinas, a barra associada e a quantidade de máquinas que deverão funcionar.
 - Obediência aos limites operativos horários de algumas hidroelétricas. O valor *default* é a total obediência às estas restrições. No caso de haver uma possível não obediência, o usuário deverá definir a hidroelétrica, a hora e qual o limite a não ser obedecido: Limite Mínimo de Turbinagem, Limite Máximo de Turbinagem ou Degrau de Defluência, o(s) respectivo(s) valor(es).
 - Saída de linhas. O valor *default* é todas as linhas funcionando. Quando houver alguma saída, o usuário deverá informar qual a linha e o período de sua saída.

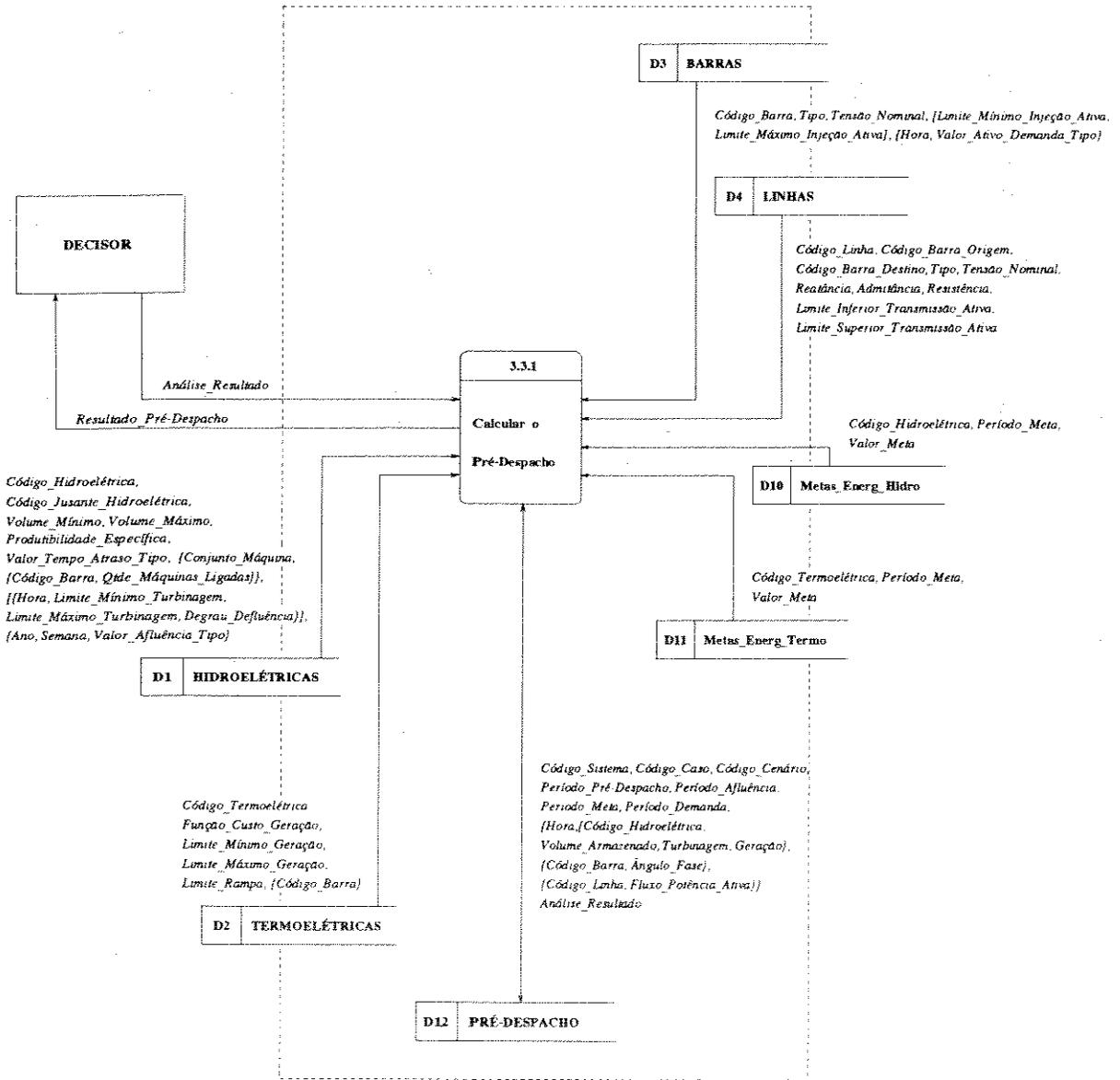


Figura 6.7: Detalhamento do Processo33: Fazer a programação do período

Atualmente a única ferramenta disponível para esta finalidade é o Pré-Despacho [6]. Esta ferramenta elabora uma programação diária ou semanal e foi o núcleo para a concepção deste sistema proposto. Posteriormente poderão ser incorporadas outras ferramentas que trabalhem conjuntamente com o Pré-Despacho, quando então poderá ser implementado o Gerenciador de Modelos, componente ainda não definido para o sistema.

A definição de todos os depósitos de dados está no Apêndice G.

Com os resultados obtidos nesta fase, pôde-se definir uma arquitetura básica, que está detalhada no próximo capítulo.

Capítulo 7

A ARQUITETURA DO SISTEMA

O objetivo deste capítulo é apresentar uma proposta de arquitetura para o SAD/POCP. Para facilitar a compreensão desta arquitetura, supõe-se um sistema hidrotérmico para o qual pretende-se determinar um plano de operação para a próxima semana.

7.1 O PROBLEMA

O sistema hidrotérmico tratado é constituído por um sistema de geração composto por m usinas hidráulicas, n usinas térmicas, e um sistema de transmissão composto por r barras e s linhas de transmissão.

Considerando-se uma discretização horária, tem-se 168 intervalos ($T = 168$) de tempo no período de uma semana, horizonte de curto prazo. Com isto, o planeamento da operação da semana em questão pode ser entendido como um problema de determinação das gerações horárias de todas as unidades geradoras, levando-se em conta as restrições dos sistemas de geração, de transmissão, e das demandas de carga. Supõe-se que este problema será tratado através do modelo apresentado na Seção 4.2, o qual é novamente descrito aqui:

$$MIN \sum_{t=1}^T \theta(\underline{g}^t, \underline{l}^t) \quad (7.1)$$

sujeito a:

restrições hidráulicas:

$$x_i^t = x_i^{t-1} + y_i^t + \sum_{j \in S_i} u_j^{t-\theta_{ji}} - u_i^t \quad i = 1, \dots, m \quad (7.2)$$

$$x_i^{min} \leq x_i^t \leq x_i^{max} \quad i = 1, \dots, m \quad (7.3)$$

$$u_i^{min} \leq u_i^t \leq u_i^{max} \quad (7.4)$$

$$|u_i^t - u_i^{t-1}| \leq \Delta_i \quad i = 1, \dots, m \quad (7.5)$$

$$u_i = q_i + v_i \quad i = 1, \dots, m \quad (7.6)$$

restrições térmicas:

$$p_k^{min} \leq p_k^t \leq p_k^{max} \quad k = 1, \dots, n \quad (7.7)$$

$$|p_k^t - p_k^{t-1}| \leq \Delta_k \quad k = 1, \dots, n \quad (7.8)$$

restrições de transmissão:

$$D^t \underline{p}^t = \underline{f}^t \quad t = 1, \dots, T \quad (7.9)$$

$$-\underline{f}^{max} \leq \underline{f}^t \leq \underline{f}^{max} \quad (7.10)$$

relação entre as variáveis elétricas e hidráulicas:

$$p_i^t = k_i (h_{m_i}(x_i^t) - h_{j_i}(u_i^t)) q_i^t \quad i = 1, \dots, m \quad (7.11)$$

Para a definição do planejamento da operação, o Decisor deve levar em consideração outros aspectos como solicitação de desligamento de equipamentos, incertezas nas demandas e vazões, dentre outros. Por exemplo, no caso de solicitações de paradas de máquinas feitas pelo setor de manutenções ocorre que, para um mesmo sistema físico (hidro-elétricas + termoelétricas + barras + linhas de transmissão), vários conjuntos com possíveis

combinações destas solicitações devem ser analisados, ou seja, para cada conjunto monta-se uma configuração de estudo, por exemplo: seja o sistema hidrotérmico da Figura 7.1, o qual é composto por duas unidades hidráulicas e duas unidades térmicas, conectadas a um sistema de transmissão com quatro barras e cinco linhas de transmissão. Supõe-se que existem duas solicitações de parada: a linha 1 estará fora na hora 4, e a linha 3, na hora 7. Admitindo-se que o Decisor opta por analisar todas as combinações destas duas solicitações, então serão analisadas três configurações distintas, ou seja:

- a linha 1 fora na hora 4.
- a linha 3 fora na hora 7.
- a linha 1 fora na hora 4 e a linha 3 fora na hora 7.

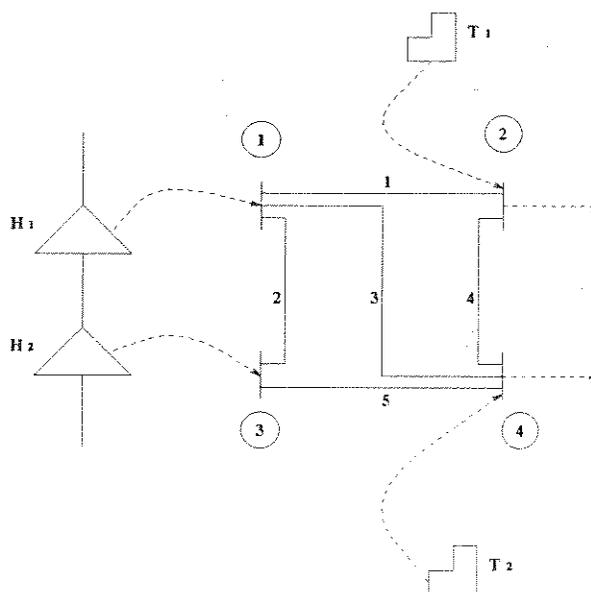


Figura 7.1: Exemplo de um sistema hidrotérmico

Em termos computacionais, isto equivale a serem criados três arquivos, cada um correspondendo a uma dada configuração, todos possuindo dados acerca do sistema físico e sendo diferenciados somente pelo conjunto de combinação das solicitações.

Note-se que, cada conjunto formado a partir destas solicitações de parada apresenta pouca variação de dados referentes ao sistema físico estudado, resultando em uma grande repetição (redundância) de dados entre cada configuração montada. Com isto, propõe-se que seja dado um tratamento diferenciado para os dados de acordo com a sua variabilidade, como mostra a Figura 7.2. Assim, pretende-se armazenar em cada uma das

alternativas somente os dados referentes às diversas combinações das solicitações de paradas do sistema físico, ou seja, no exemplo acima citado, tem-se três situações:

- para o primeiro conjunto, a linha 1 fora na hora 4, haverá alteração somente na matriz D^t (equação (7.9)) do quarto intervalo de tempo.
- para o segundo conjunto, a linha 3 fora na hora 7, haverá alteração somente na matriz D^t (equação (7.9)) do sétimo intervalo de tempo.
- para o terceiro conjunto, a linha 1 fora na hora 4 e a linha 3 fora na hora 7, haverá alteração somente na matriz D^t (equação (7.9)) do quarto e do sétimo intervalo de tempo.

Assim, o *sistema físico* (Figura 7.2) seria o conjunto das hidroelétricas, termoelétricas, barras e linhas de transmissão descrito, e em cada uma das *alternativas* (Figura 7.2) do sistema estariam armazenadas as combinações desejadas pelo Decisor das duas solicitações de parada determinadas para tal sistema, e a união dos dados do *sistema físico* (Figura 7.2) e dos dados de uma dada *alternativa* (Figura 7.2) determinaria uma dada configuração, três configurações neste caso.

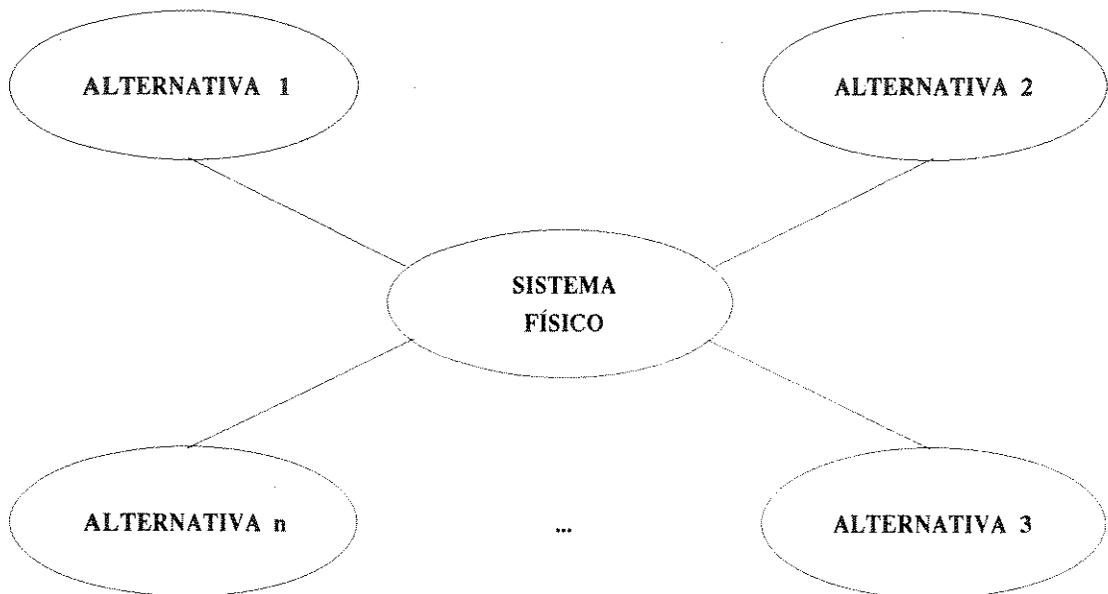


Figura 7.2: Estrutura de programações de parada

Entretanto, o Decisor também pode analisar outros eventos às vezes previsíveis, e que são passíveis de acontecer no período estudado, como demandas de carga atípicas, por exemplo. Isto vai acarretar no estudo de cada um destes *eventos* (Figura 7.3) de forma separada, ou seja, no exemplo acima, supõe-se que o Decisor queira analisar duas previsões de demanda (carga alta e carga média); assim, para cada uma das configurações montadas, são analisadas duas previsões de demanda, criando-se dois problemas distintos, nos quais a única alteração ocorre em algumas componentes do vetor p^t . Assim, ao final, para as três configurações montadas anteriormente, tem-se seis arquivos distintos.

Novamente, ocorrem poucas alterações nos dados entre cada cada um destes arquivos, ou seja, a estrutura da Figura 7.2 é estendida de forma a incorporar mais um nível, conforme a Figura 7.3.

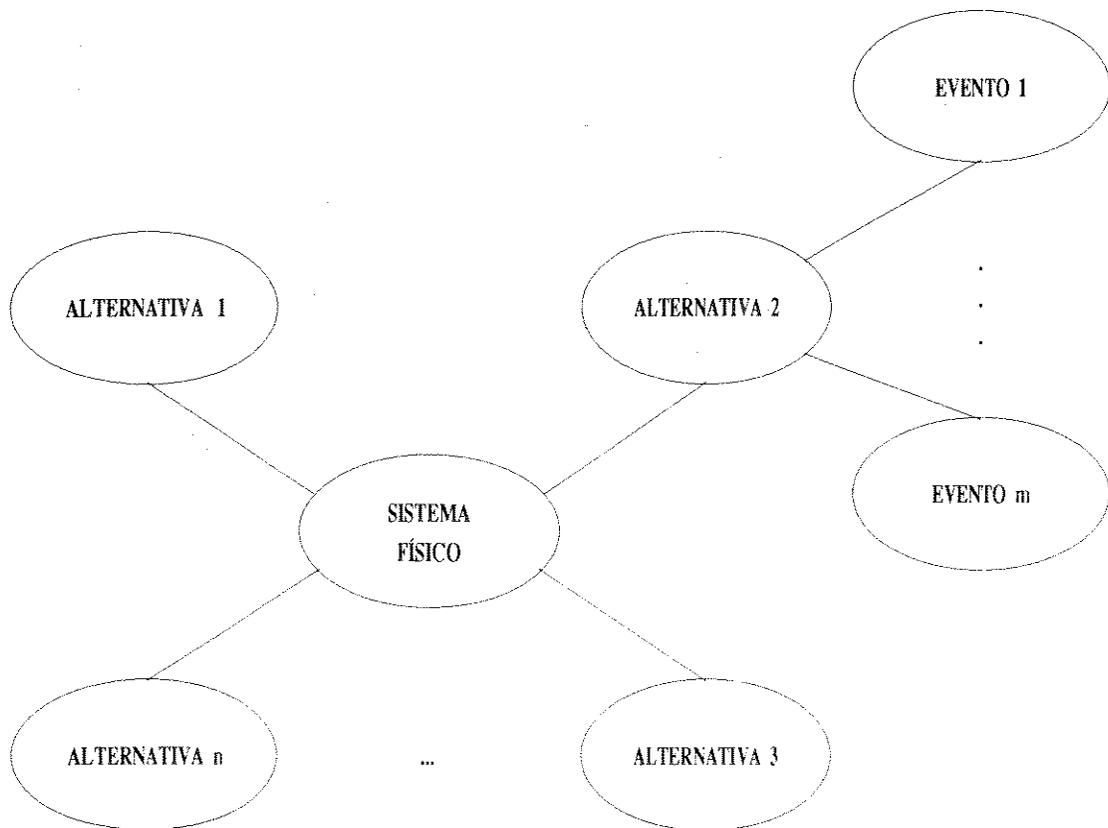


Figura 7.3: Estrutura de eventos de demanda, meta, afluência

Este segundo nível deve conter dados referentes à demanda de carga, à afluência e o tipo de tempo de atraso que o Decisor irá trabalhar para a elaboração da programação no período em questão. Entretanto, é suposto que estes dados estão disponíveis no sistema,

devendo o usuário declarar somente os respectivos períodos e tipos.

Portanto, a união dos dados de uma certa configuração, mais os dados de afluência, meta e demanda formam um problema de POCP (PPOCP). No entanto, eles só serão agregados no momento do processamento do problema, quando então este poderá ser resolvido através do software disponível para a elaboração do planejamento.

Pelo fato de tratar os dados através de níveis, esta estrutura visa minimizar redundâncias dos dados, bem como facilitar a sua manipulação, podendo ainda, ser estendida de forma a incorporar novos dados que se tornarão necessários à medida de incorporação de novos modelos matemáticos e de novas metodologias de planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos.

A seguir, define-se a estrutura básica inicial do sistema.

7.2 A ARQUITETURA

O núcleo do sistema proposto está concentrado na base de dados. É através de uma base de dados comum que ocorrerá a integração energética e elétrica, que objetiva:

1. Manter uma coerência das decisões dos horizontes de planejamento (Figura 7.4).



Figura 7.4: O Fluxo do Planejamento

2. Possibilitar possíveis *feedbacks* na necessidade de reprogramações das Metas Energéticas (Figura 7.5).

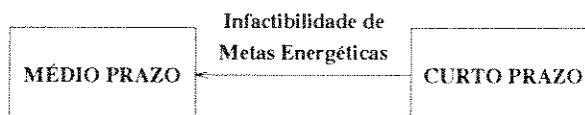


Figura 7.5: Os Feedbacks no Planejamento

3. Gerenciar os diferentes estudos em POCP.

Na visão de Curto Prazo, todas as informações referentes ao planejamento foram modeladas como um conjunto de dados e armazenadas nesta base de dados. Com isto, o Gerenciador de Dados torna-se o componente central do sistema.

A base de dados foi implementada segundo o Modelo Relacional (Apêndice E) e é composta pelos seguintes conjuntos de dados (Figura 7.6):

1. Dados do Sistema Hidrotérmico.

Contêm todos os dados que caracterizam o sistema hidrotérmico, desde os dados referentes ao sistema físico brasileiro (limites de transmissão de potência ativa de uma linha de transmissão, por exemplo) até os dados acerca de condições operacionais de um dado sistema (tipo de vazão afluyente, por exemplo).

Três tipos de dados foram modelados no que se refere a este conjunto:

(a) Dados Básicos.

Contêm todas as informações acerca do sistema hidrotérmico, as quais podem ser acessadas por todos os usuários dispostos em qualquer nível da Cadeia de Planejamento. Ex: sistema brasileiro - hidráulico, térmico e elétrico.

(b) Dados de Configuração.

Referem-se à estrutura apresentada no item anterior (Figura), sendo sub-divididos em 2 (dois) níveis de dados: SISTEMA e CASO.

O SISTEMA contém os dados referentes ao *sistema físico* da Figura 7.2, e pode ser composto por todo o sistema hidrotérmico contido na base de dados, ou por um sub-conjunto deste sistema, o sistema CESP, por exemplo.

O CASO contém todos os dados relativos a uma dada *alternativa* da Figura 7.2.

(c) Dados de Cenários.

Contém as informações referentes à vazão afluyente, à demanda de carga, ao tempo de atraso e à Meta Energética; estabelecendo as condições de contorno que uma dada configuração deverá obedecer. Cada *Cenário* corresponde a um *evento* (Figura 7.3), e é caracterizado pela combinação de cada um destes valores permitidos das informações de:

- Tipo de Vazão Afluyente: Histórica ou Prevista.
- Tipo de Demanda de Carga: Carga Baixa, Carga Média ou Carga Alta.
- Tipo de Tempo de Atraso: Período Seco, Período Médio ou Período Cheio.

2. Dados de Ferramentas.

Contém as informações referentes às ferramentas matemáticas que estão disponíveis para os usuários, que podem ser de 2 (dois) tipos:

(a) **Ferramentas de Planejamento.**

Constituem os modelos matemáticos que fazem o planejamento da operação de Curto Prazo. Cada modelo é caracterizado basicamente pelo horizonte que trabalha e pelo período de planejamento. No caso dos modelos de Curto Prazo, existem os modelos de programação semanal e os modelos de programação diária.

(b) **Ferramentas de Análises.**

Em geral, são modelos para análise das soluções obtidas pelos modelos de planejamento, como por exemplo o modelo de análise de contingência e o modelo de fluxo de carga ótimo. Estas ferramentas só analisam a solução para um dado intervalo de tempo (análises horárias).

3. **Dados do Planejamento de Curto Prazo.**

Ao configurar um *Sistema* (*Sistema Físico* da Figura 7.2), o usuário define os componentes físicos que serão estudados, ou seja, as Usinas Hidroelétricas, as Usinas Termoelétricas, as Barras e as Linhas de Transmissão. A partir desta rede (geração + transmissão) montada, vários casos podem ser elaborados; cada *Caso* (*Alternativa* da Figura 7.2) define uma programação de indisponibilidade de equipamentos ao longo do horizonte de Curto Prazo.

Todavia, ainda é preciso definir as condições de contorno que a *Configuração* (*Sistema + Caso*) deve obedecer. Tais condições de contorno formam o *Cenário* que é constituído pelo tipo de vazão afluente (histórica/prevista), pelo tipo de demanda de carga (baixa/média/alta) e pela Meta Energética.

O conjunto de informações contidas em *Configuração* mais as informações a respeito do *Cenário* constituem um problema de Curto Prazo. Porém, ainda é preciso definir qual a *Ferramenta* de planejamento a ser utilizada para a programação da operação, bem como os períodos de vazão, de planejamento e de meta energética. Com isto, define-se um problema de Planejamento de Curto Prazo (Figura 7.6).

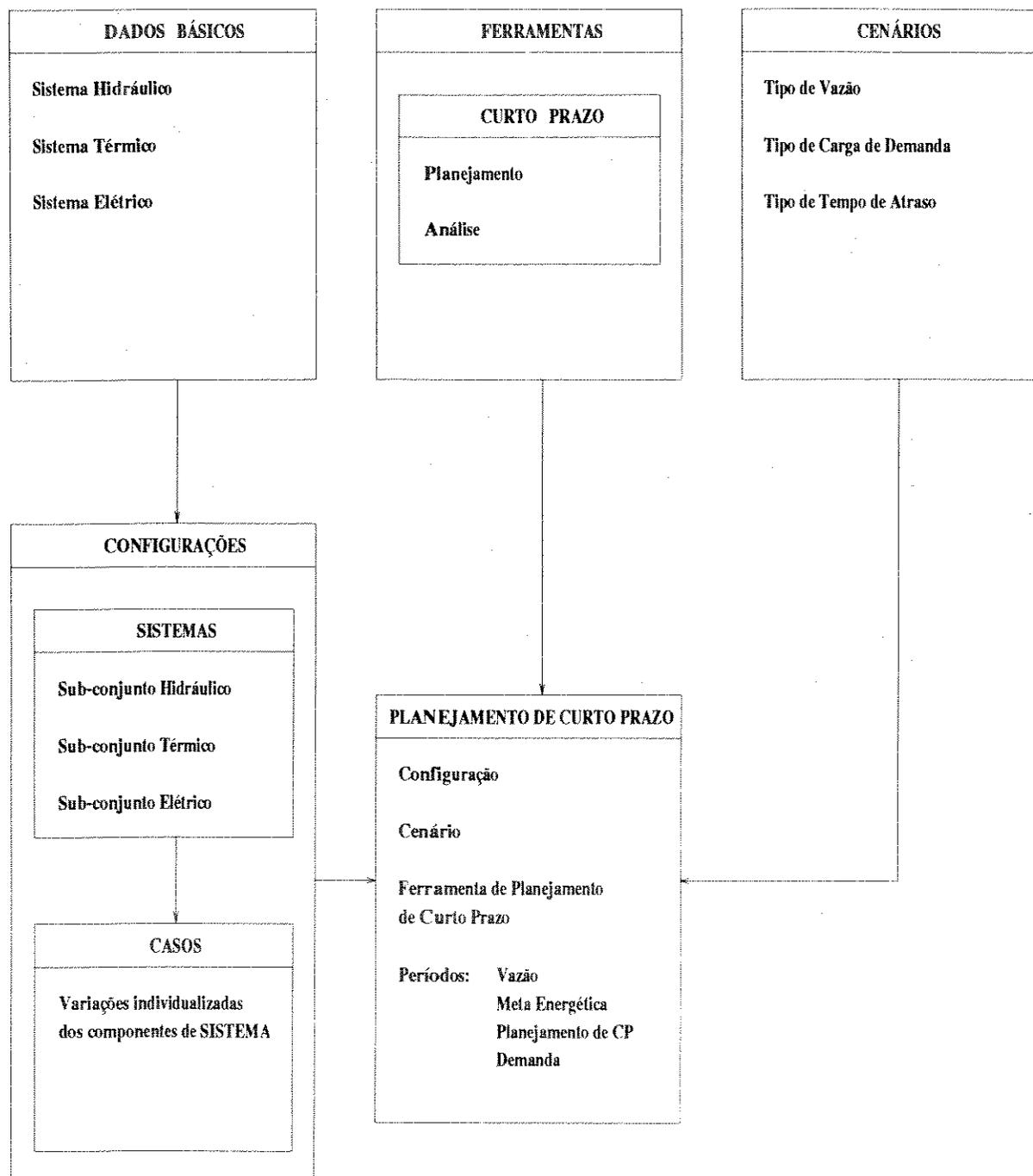


Figura 7.6: Arquitetura para formulação de problemas de Planejamento de Curto Prazo

Esta arquitetura possibilita a estruturação dos dados na forma de árvore (Figura 7.7). Optou-se por esta estrutura pelo fato de:

1. Permitir o acesso aos dados à medida de sua necessidade.
2. Facilitar o gerenciamento dos dados, já que eles são acessados segundo níveis de escopo.
3. Melhorar a visualização dos dados por parte dos usuários.

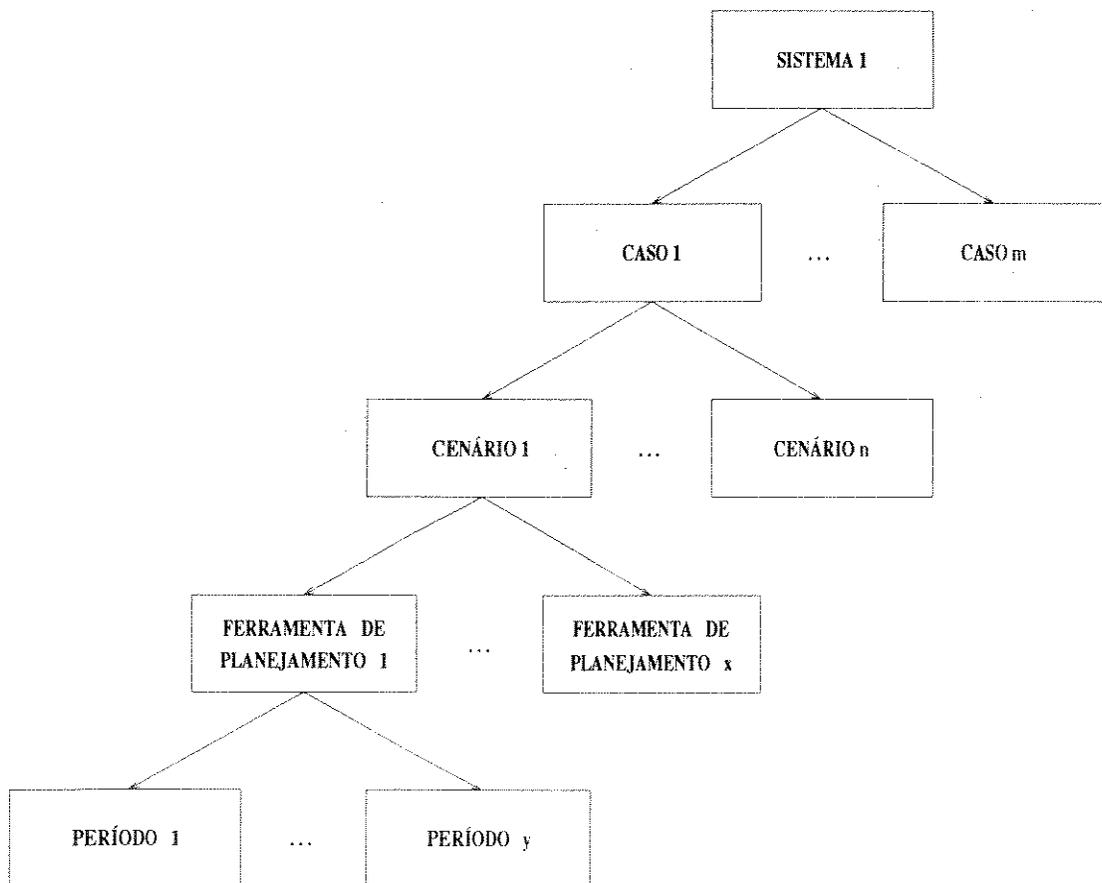


Figura 7.7: Estrutura em árvore para o Planejamento

Conforme já mencionado, a definição desta árvore de planejamento não é definitiva, é apenas uma sugestão de como o usuário poderá organizar os seus dados, podendo ainda, ser modificada de acordo com a necessidade de uma melhor manipulação destes dados, fato que irá acontecer à medida da utilização do sistema.

Entretanto, esta arquitetura refere-se somente ao âmbito do Planejamento de Curto Prazo, havendo ainda necessidade de serem definidas as análises horárias. Com isto, a arquitetura foi ampliada de modo a incorporar este recurso (Figura 7.8) acarretando no acréscimo de 1 (um) nível da árvore de planejamento (Figura 7.9).

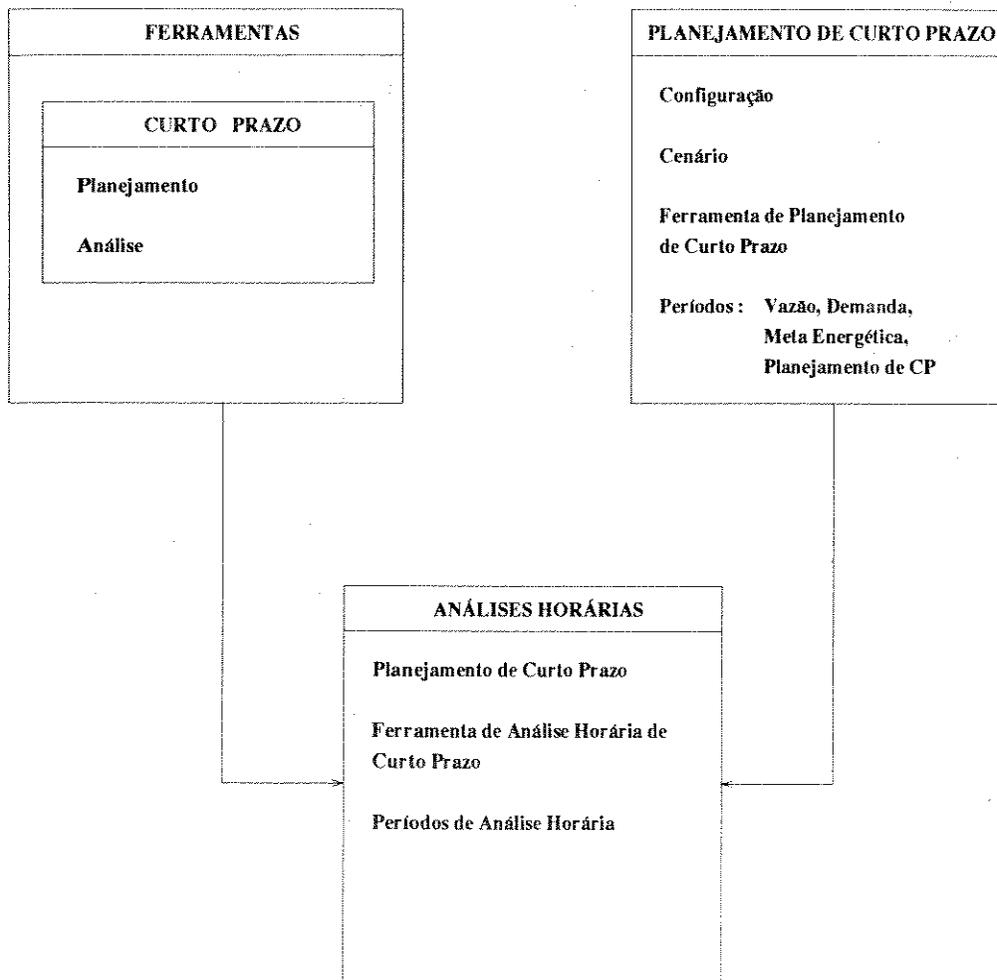


Figura 7.8: Arquitetura para a formulação de problemas de Análises Horárias

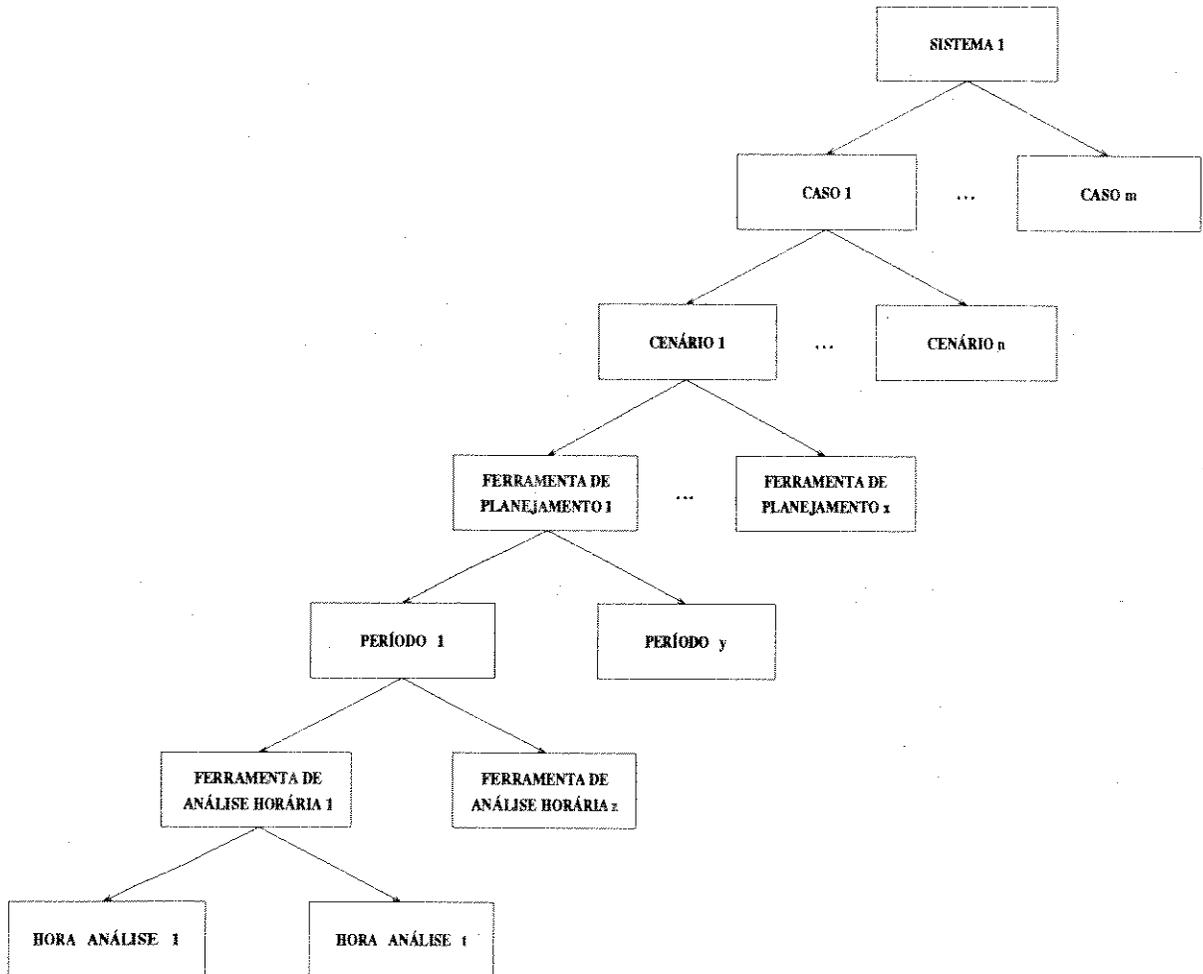


Figura 7.9: Árvore para Análises Horárias

Vale salientar, que a arquitetura-objeto do trabalho não considerou a Análise Horária.

No Apêndice G estão os MER's resultantes desta proposição.

Capítulo 8

O DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Como já citado, desenvolveu-se um protótipo para o sistema sem capacidade de processamento, o qual objetivou principalmente validar a arquitetura concebida para o Planejamento de Curto Prazo.

Através do desenvolvimento deste protótipo e de um estudo mais minucioso da arquitetura concebida, verificou-se que diversos estudos podem ser formulados a partir da devida manipulação dos dados que caracterizam o planejamento (*Sistema, Caso, Cenário, Ferramenta de POCP*), dentre os quais citam-se:

1. Estudos de Programação de Paradas.

O usuário faz análise da viabilidade do cumprimento da programação de paradas estabelecida para um determinado período, podendo até fornecer um cronograma que não desestabilize o sistema.

2. Estudos para Eficiência de Ferramentas.

Este tipo de estudo é útil para a fase de testes de novas ferramentas a serem incorporadas ao sistema. Será possível fazer comparações entre ferramentas, e até mesmo determinar quais ferramentas são mais eficazes para uma dada situação.

3. Estudos para Diferentes Condições de Contorno.

Neste tipo de estudo, o usuário pode analisar o comportamento da configuração escolhida em diferentes cenários hidrológicos e de demanda. É útil para a situação em que não se tem uma previsão precisa a respeito destes dados.

4. Estudos de diferentes Períodos.

Este estudo será útil para fazer análises da in factibilidade da Meta Energética estabelecida pelo Planejamento de Médio Prazo. Neste caso, é interessante analisar diferentes alternativas de correção nas Metas.

Cada um destes estudos irá gerar um tipo de árvore diferente, semelhante àquela definida no capítulo anterior para o planejamento. Entretanto, a geração de cada uma destas árvores dependerá muito do usuário que está interagindo com o sistema, ou seja, é particular de cada usuário a definição dos níveis das árvores referentes aos seus estudos. Devido a isto, a definição destas árvores não será consolidada neste trabalho, sendo deixada inicialmente a critério dos usuários, devendo ser posteriormente estudada a manipulação destes dados.

Outra consideração refere-se ao fato de haver a necessidade de um maior controle quanto ao desenvolvimento das ferramentas matemáticas para o ambiente da Cadeia de Planejamento. Este controle visa uma padronização do desenvolvimento destas ferramentas, desde a normalização de nomes de variáveis, telas e documentação, até a definição de uma metodologia de desenvolvimento de software a ser adotada. Com isto, o entendimento e a própria manipulação das ferramentas desenvolvidas não será exclusivo de seu projetista, podendo ser feita por outros usuários, leigos ou não.

A seguir são apresentadas algumas telas do protótipo.

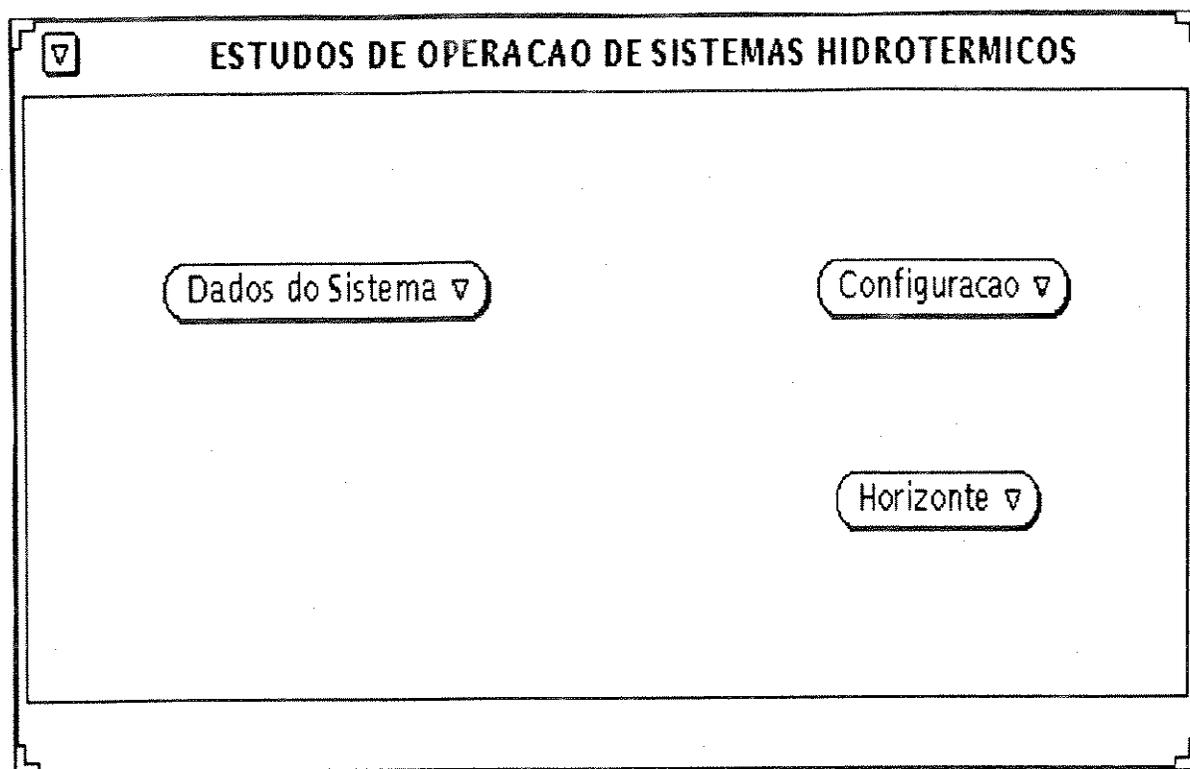


Figura 8.1: Tela Principal do Protótipo

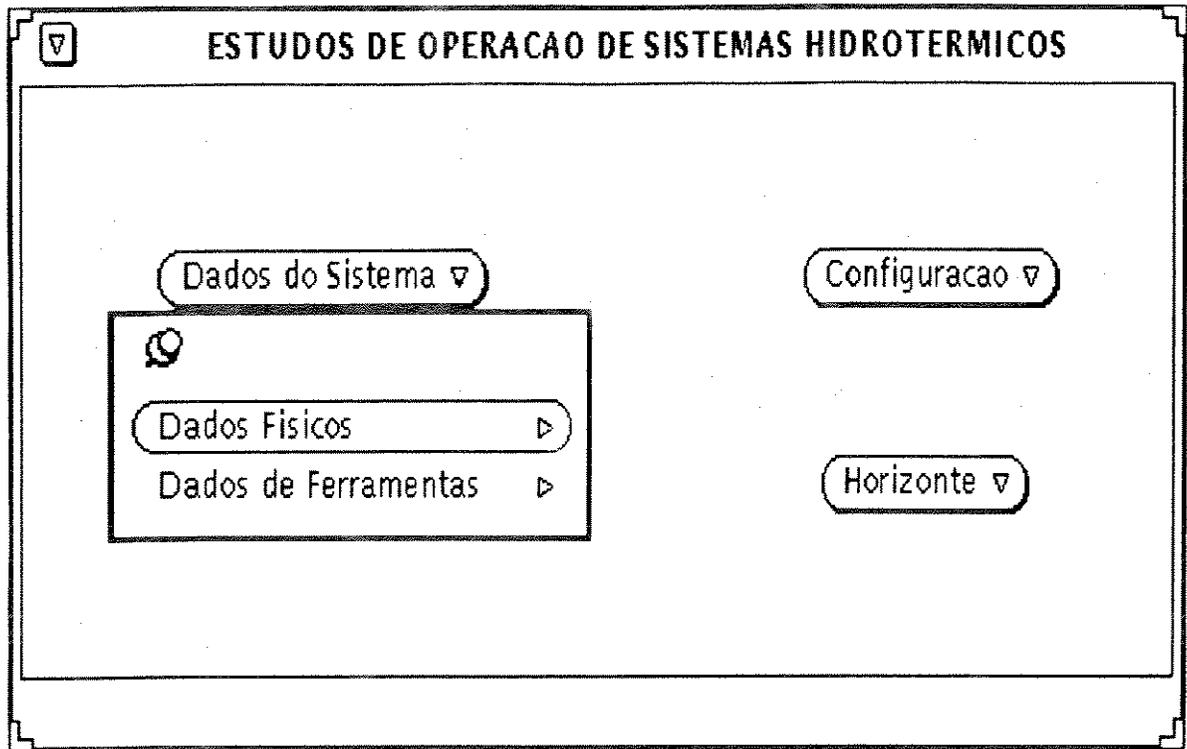


Figura 8.2: Menu de Dados do Sistema

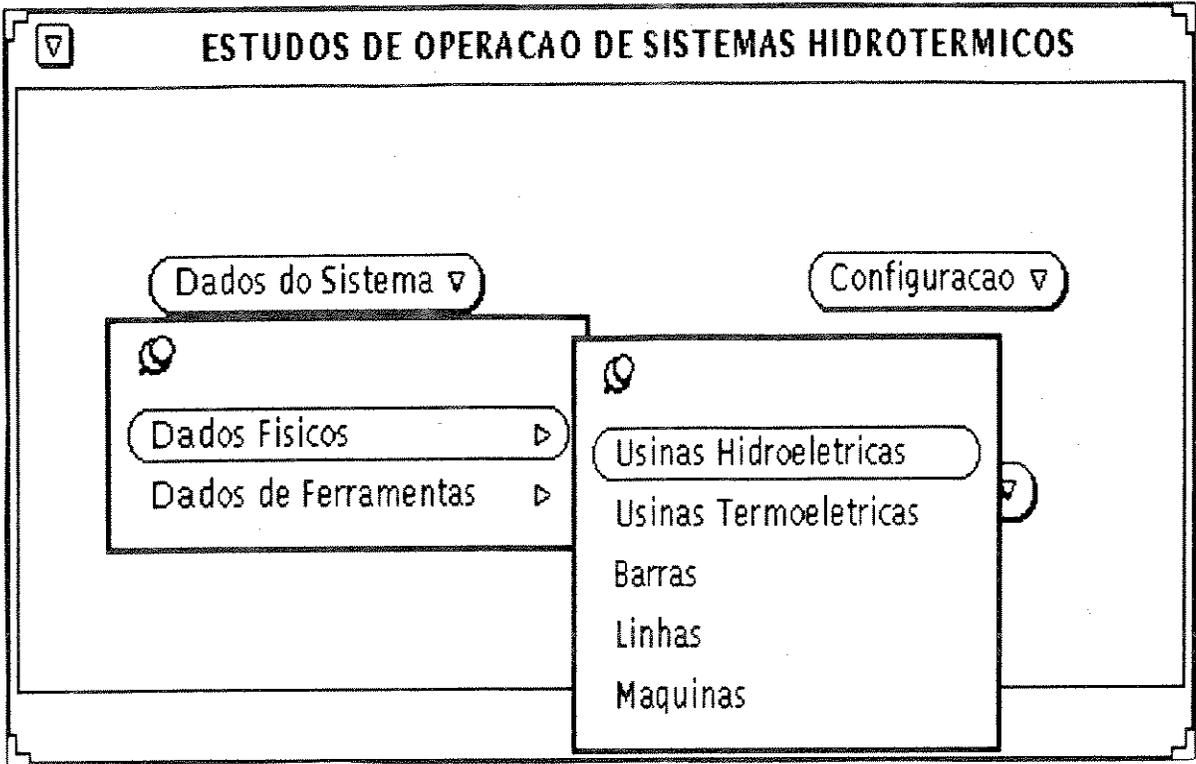


Figura 8.3: Sub-Menu de **Dados Físicos**

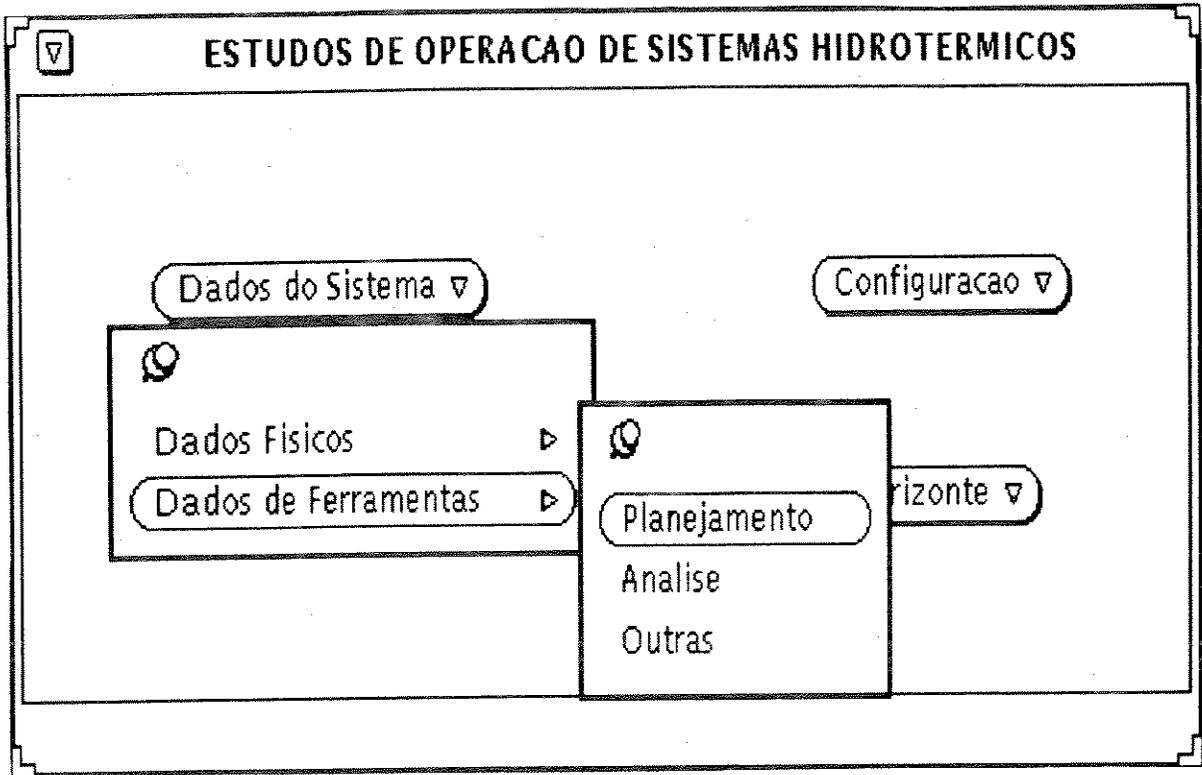


Figura 8.4: Sub-Menu de **Dados de Ferramentas**

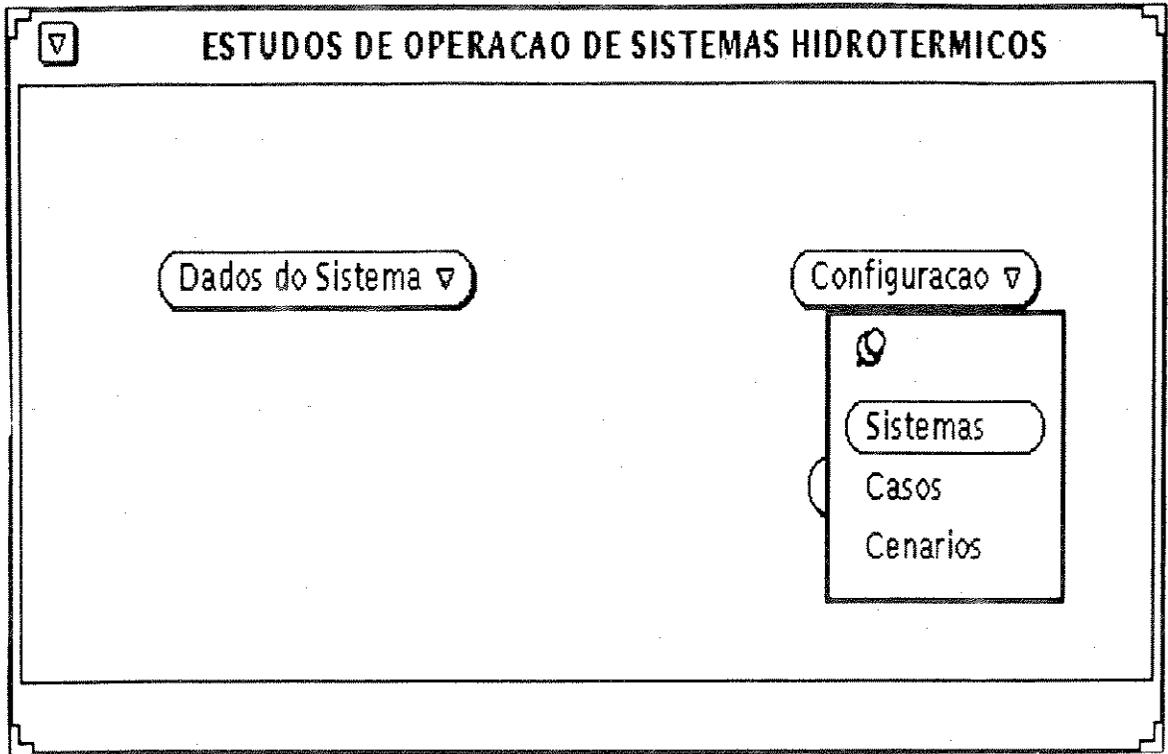


Figura 8.6: Menu de Configuração

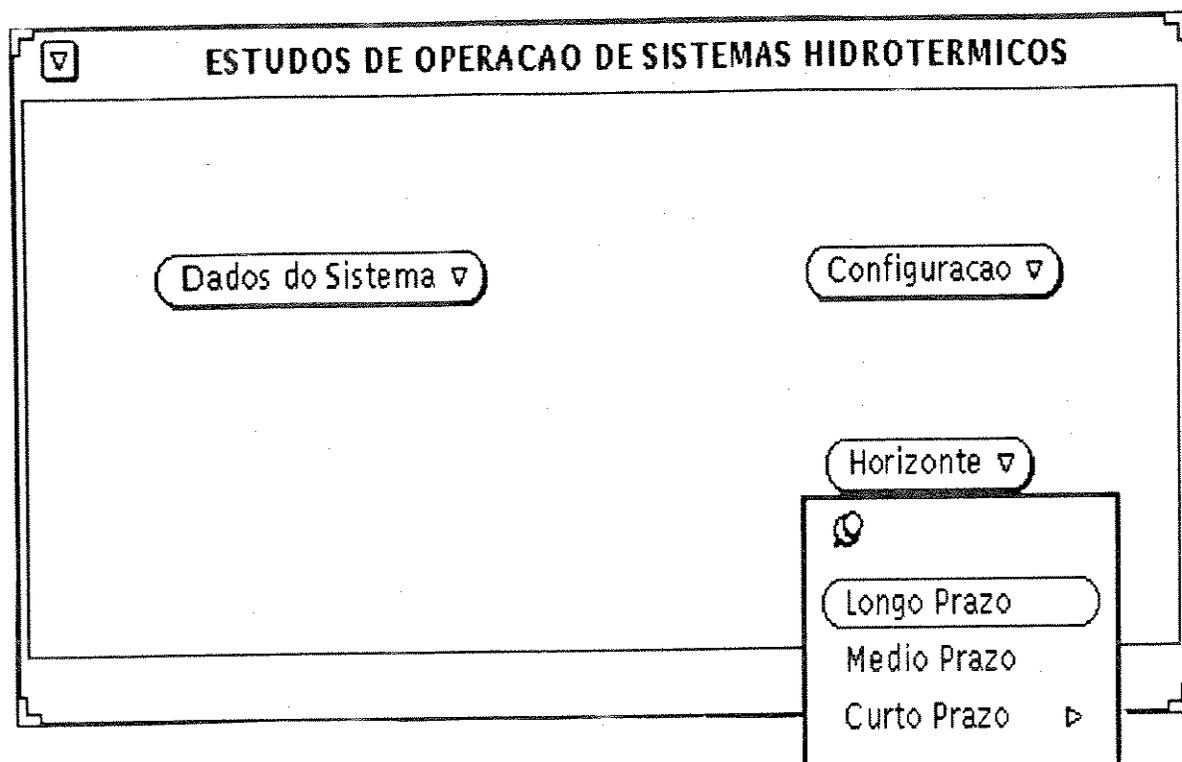


Figura 8.7: Menu de **Horizonte**

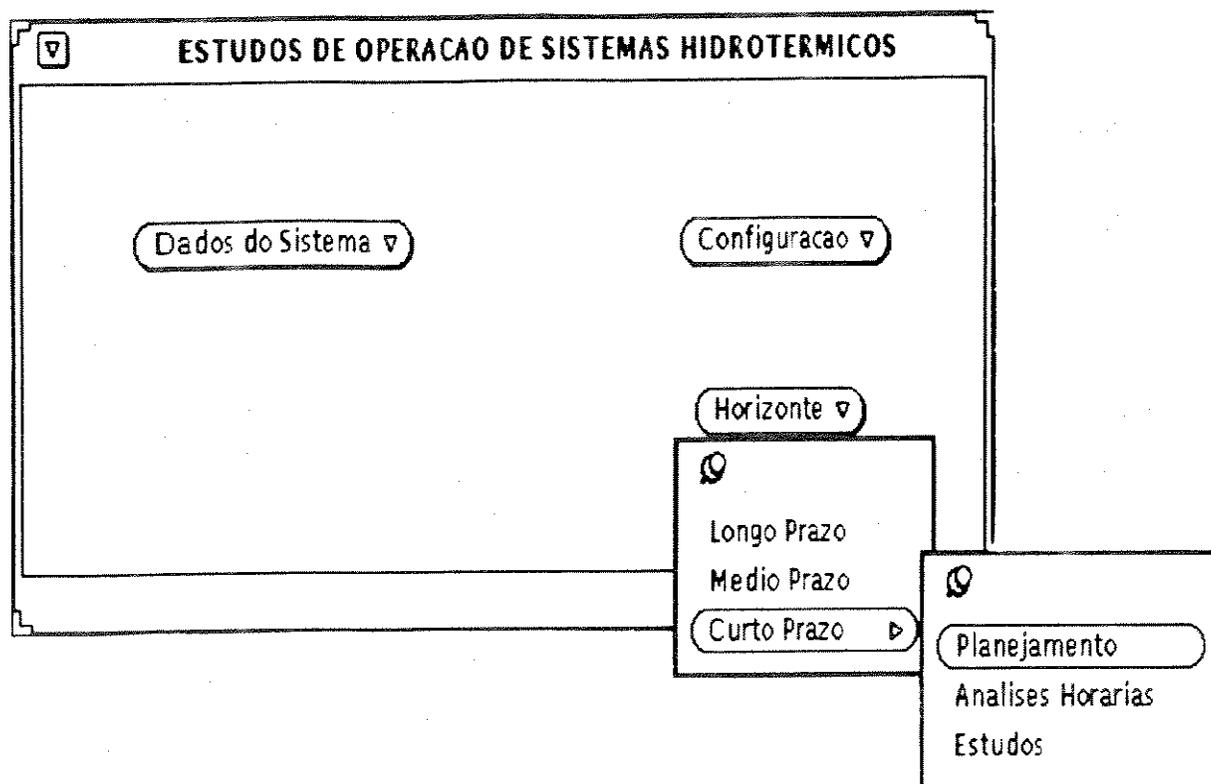


Figura 8.8: Sub-Menu de **Horizonte de Curto Prazo**

A opção **Estudos** refere-se à definição de outras análises possivelmente desejadas pelos usuários, conforme discutido no início deste capítulo.

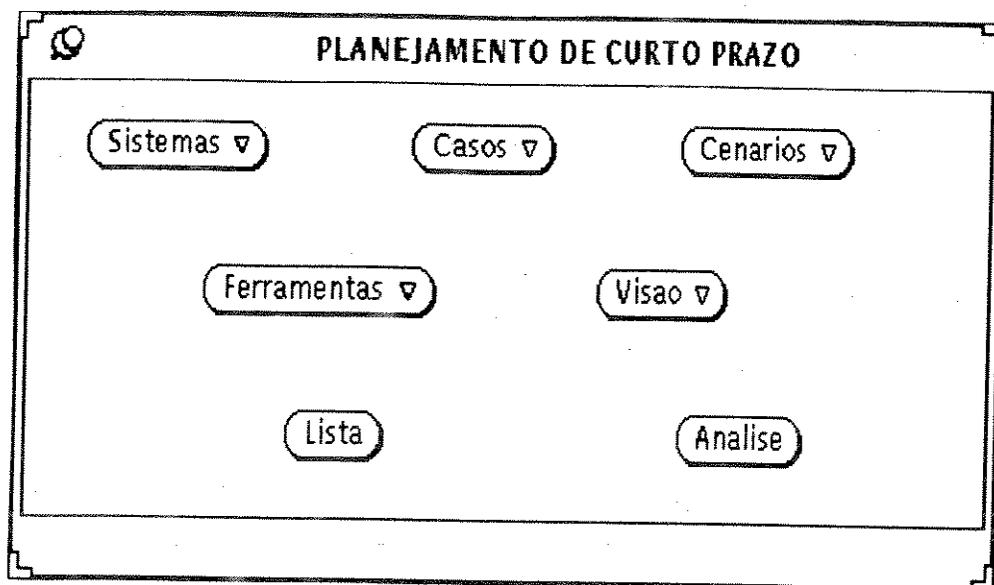
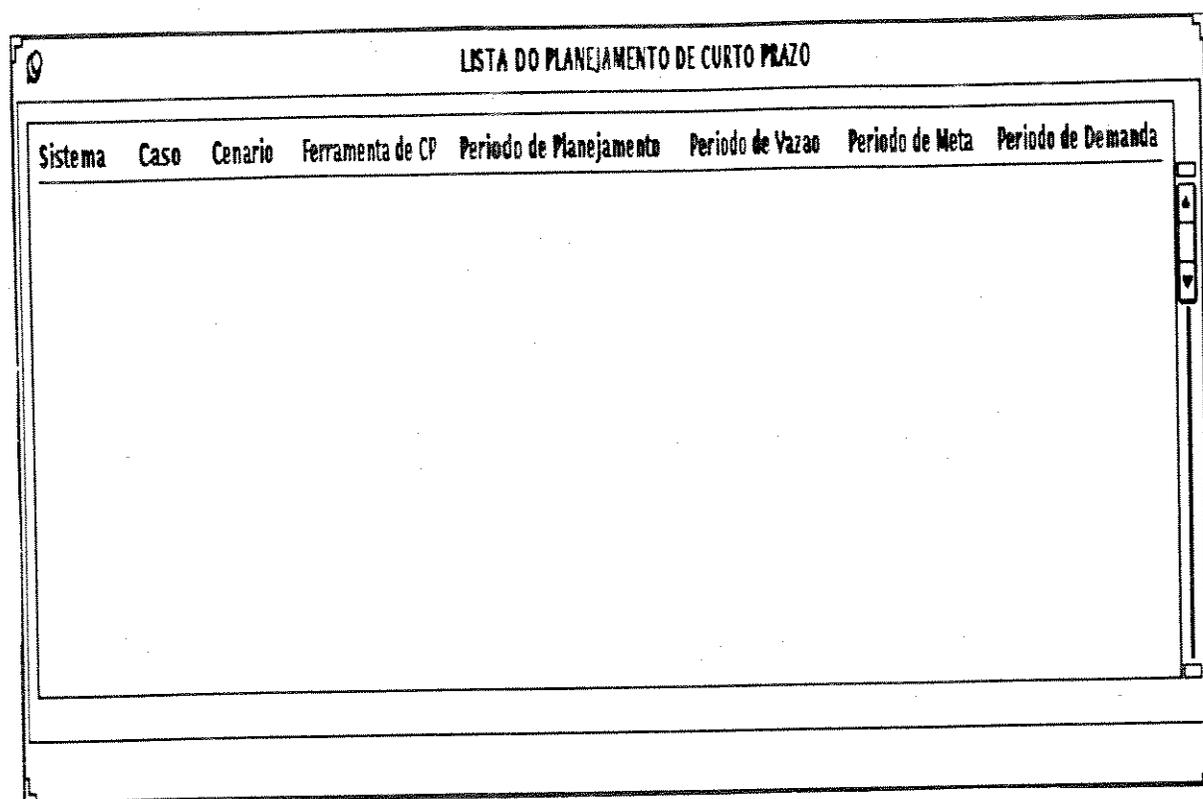


Figura 8.9: Tela de Planejamento de Curto Prazo

O usuário seleciona cada um dos dados que caracterizam o Planejamento de Curto Prazo: *Sistema*, *Caso*, *Cenário*, *Ferramenta de Planejamento de Curto Prazo*. Cada um destes dados serão armazenados em uma fila, quando então são definidos os respectivos períodos. Com isto, poderão ser calculadas as programações definidas pelo usuário, as quais, à medida que forem sendo calculadas, poderão ser analisadas de acordo com a visão desejada: *Numérica*, *Gráfica*.



Sistema	Caso	Cenario	Ferramenta de CP	Período de Planejamento	Período de Vazao	Período de Meta	Período de Demanda
---------	------	---------	------------------	-------------------------	------------------	-----------------	--------------------

Figura 8.10: Tela da Lista de Planejamento de Curto Prazo

Novamente enfatiza-se que o desenvolvimento deste protótipo não objetivou mostrar como será o sistema computacional mas sim, sugerir alguns recursos a serem implementados quando for desenvolvido o sistema para a Cadeia de Planejamento.

Capítulo 9

CONCLUSÕES

Neste trabalho fez-se uma proposição de um **Sistema de Apoio à Decisão** para o **Planejamento da Operação de Curto Prazo de Sistemas Hidrotérmicos**. Esta proposição concentrou-se em 2 (dois) aspectos: **Dados e Processos**.

Com relação ao primeiro aspecto, fez-se um levantamento dos dados e características do sistema hidrotérmico brasileiro, os quais foram denominados **Dados Básicos**. Em paralelo, especificou-se os dados que caracterizam um problema de planejamento da operação de Curto Prazo, os quais foram organizados segundo níveis de escopo: *Sistema, Caso, Cenário, Ferramenta de Planejamento*, formulando-se assim, uma estrutura em árvore destes dados.

Todos os dados foram modelados de forma a serem manipulados por um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional (SGBDR). Entretanto, a organização relacional mostrou-se falha na manipulação de exceções. Assim, supondo que um usuário deseja trabalhar com dois sistemas físicos: o primeiro sistema é composto por 5 hidroelétricas mais um conjunto de barras e linhas de transmissão; o segundo é composto pelo mesmo conjunto de barras e linhas, porém, o usuário modela apenas 4 hidroelétricas. Com isto, dois sistemas diferentes são manipulados e armazenados na base de dados pelo SGBDR. Desta forma, propõe-se uma organização orientada a objeto, conforme Figura 9.1.

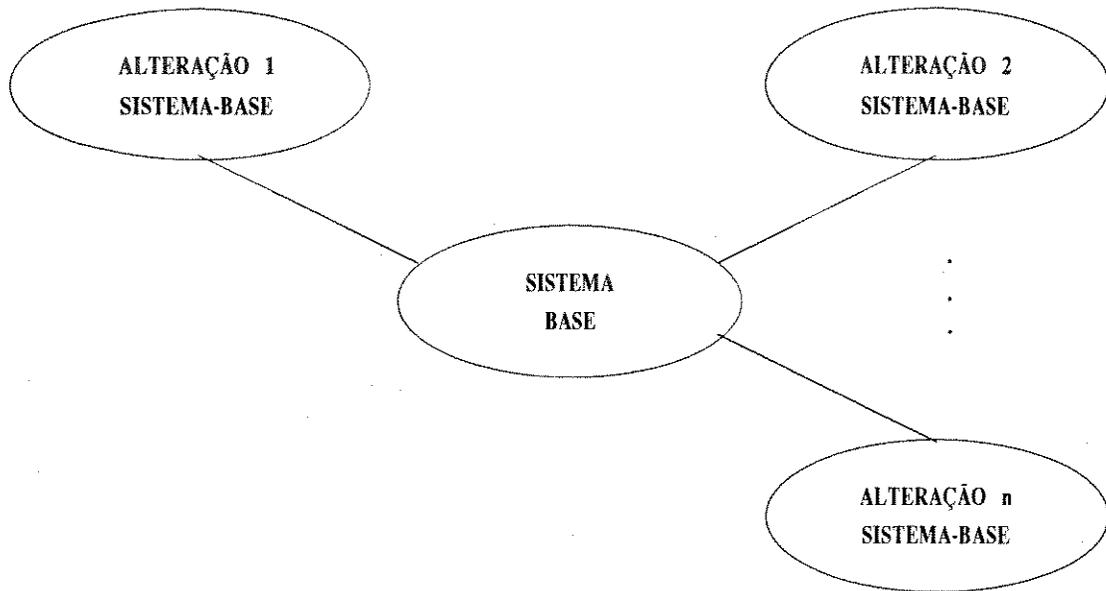


Figura 9.1: Proposição de uma organização orientada a objeto

Em cada *Alteração* (Figura 9.1) seriam especificadas somente as diferenças em relação ao *Sistema Base* (Figura 9.1), por exemplo: exclusão de uma hidroeétrica, como no exemplo acima. Isto possibilita a definição da operação (inclusão/exclusão) e o objeto desta operação (hidroeétrica/termoeétrica/barra/linha), e pode ser estendida a outros dados modelados.

Ainda com relação aos dados, mostrou-se que novas visões da estrutura em árvore proposta podem ser definidas pelo usuário, que possibilitam a elaboração de diferentes estudos do sistema hidrotérmico, os quais permitem que o usuário adquira mais "feeling" do problema e assim, possa levantar regras de operação.

No que tange aos processos, estes foram definidos de uma forma *macro* com o intuito de elaborar um esquema de manipulação dos dados de forma a ser implementada a estrutura em árvore proposta.

Para finalizar esta discussão acerca da concepção do sistema, propõe-se as seguintes atividades a serem desenvolvidas posteriormente:

- Definição de uma metodologia de desenvolvimento de software, conforme discutido no capítulo anterior.
- Implementação dos dados que caracterizam o problema de planejamento de Curto Prazo, bem como um estudo mais detalhado da orientação a objeto.

- Definição dos dados referentes às Análises Horárias e às Reprogramações.
- Desenvolvimento do Sub-Sistema de Modelos.
- Definição do Sub-Sistema de Conhecimento.

Outras atividades, como incorporação de técnicas de Inteligência Artificial, poderiam ser também definidas aqui, porém, elas são dependentes da utilização do sistema por parte do usuário, como já citado.

Apêndice A

MODELO ENTIDADE-RELACIONAMENTO

O **Modelo Entidade-Relacionamento (MER)** é uma representação gráfica dos dados que caracterizam um sistema e dos relacionamentos entre tais dados. Esta representação é independente dos processos que transformam tais dados e é composta por 5 (cinco) elementos:

1. **Entidade.**

É um objeto concreto ou abstrato que possui características que o distinguem de outros objetos. Exemplos: Usinas Hidroelétricas, Usinas Termoelétricas.

Símbolo:

NOME DA ENTIDADE

Uma Entidade que tem existência própria é chamada **Entidade Fundamental**.

2. **Atributo.**

É a menor decomposição de uma informação apresentando significado próprio. Exemplos: Volume Mínimo do Reservatório de uma Usina Hidroelétrica, Produtibilidade Específica de uma Usina Hidroelétrica.

3. **Tupla.**

É uma ocorrência de uma Entidade, ou seja, é a valoração dos seus atributos. Exemplo:

Nome_Hidroelétrica = *Ilha Solteira*
 Região = *Sudeste*
 Bacia = *Rio Paraná*
 Empresa = *CESP*
 Usina_Jusante = *Jupia*
 Volume_Mínimo = *12.750*
 Volume_Máximo = *21.160*
 Produtibilidade_Específica = *.8899E-02*
 Tempo_Atraso_Seco = *3*
 Tempo_Atraso_Médio = *2*
 Tempo_Atraso_Cheio = *1*

Na conceitualização física, uma tupla é um registro de uma arquivo (entidade).

4. Chave.

É um conjunto de atributos que personaliza e individualiza a tupla de uma determinada entidade, apresentando um valor fixo que não se altera no decorrer do tempo.

Exemplo:

MÁQUINAS

Tipo_Máquina
 Potência_Efetiva_Máquina
 Engolimento_Efetivo_Máquina
 Queda_Efetiva_Máquina

Aqui o atributo *Tipo_Máquina* é a chave da tupla da *Máquinas*.

Dois conceitos de chaves foram tratados neste trabalho:

- Chave Concatenada é a união de dois ou mais atributos que conjuntamente personalizam a tupla.
- Chave Estrangeira é um atributo herdado de uma entidade relacionada, onde era chave da tupla.

Exemplo:

LIMITES HORÁRIOS DE HIDROELÉTRICAS

Nome_Hidroelétrica
 Hora
 Limite_Mínimo_Turbinagem_Hidroelétrica

Limite_Máximo_Turbinagem_Hidroelétrica

Degrau_Defluência_Hidroelétrica

Nesta entidade, existe uma chave concatenada formada por {*Nome_Hidroelétrica + Hora*} que individualiza a tupla. O atributo *Nome_Hidroelétrica* é a chave estrangeira, pela associação com a entidade *Hidroelétricas*.

5. Relacionamento.

É a interdependência de duplo sentido entre duas entidades. Um Relacionamento é identificado pela existência de atributos comuns nas entidades. Exemplo:

HIDROELÉTRICAS

Nome_Hidroelétrica

Região_Hidroelétrica

Bacia_Hidroelétrica

Empresa_Hidroelétrica

Nome_Jusante_Hidroelétrica

Volume_Mínimo_Hidroelétrica

Volume_Máximo_Hidroelétrica

Produtibilidade_Específica_Hidroelétrica

Polinômios_Hidroelétrica

Tempo_Atraso_Seco_Hidroelétrica

Tempo_Atraso_Médio_Hidroelétrica

Tempo_Atraso_Cheio_Hidroelétrica

VAZÃO HISTÓRICA DE HIDROELÉTRICAS

Nome_Hidroelétrica

Ano

Mês

Valor_Afluência_Histórica_Hidroelétrica

Note-se que o atributo *Nome_Hidroelétrica* se repete nas duas entidades, caracterizando o relacionamento entre *Hidroelétricas* e *Vazão Histórica de Hidroelétricas*.

6. Cardinalidade.

É a quantificação do relacionamento entre duas entidades. Existem 4 tipos de cardinalidade:

- 0 ou 1 ocorrência, indicando que o relacionamento é opcional e, se existir, associará uma única tupla. Exemplo:



Um transformador pode ser representado como uma linha de transmissão. Neste caso, a linha que o representa possuirá atributos adicionais, caso contrário, tais atributos serão nulos para uma linha comum.

- 1 e somente 1 ocorrência, indicando que a tupla relacionada é única e sempre existirá. Exemplo:



Um dado transformador é uma linha de transmissão, possuindo obrigatoriamente os atributos que caracterizam esta entidade.

- 0 a n ocorrências, indicando que o relacionamento é opcional e, se existir, associará várias tuplas. Exemplo:



Um Barra pode não necessariamente estar conectada a vários Conjuntos de Máquinas de uma Hidroelétrica.

- 1 a n ocorrências, indicando que sempre há o relacionamento, podendo associar de 1 a várias tuplas. Exemplo:



Os Conjuntos de Máquinas de uma Hidroelétrica devem necessariamente estar conectados a pelo menos uma Barra.

Esta quantificação é unilateral, devendo-se assim, ao analisar um relacionamento, verificar a cardinalidade em ambos os sentidos, da entidade A para a entidade B, e vice-versa. Os tipos de relacionamentos mais comuns neste trabalho foram:

- **Relacionamento 1:N.**

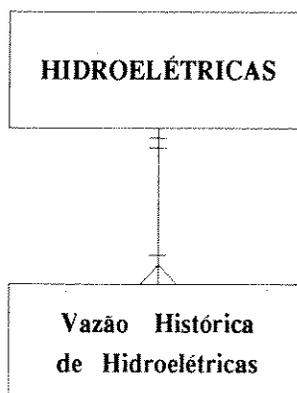


Figura A.1: Representação do Relacionamento 1:N

Uma *Hidroelétrica* possui vários dados acerca de sua *Vazão Histórica*, mas um dado de *Vazão Histórica* refere-se a somente uma *Hidroelétrica*.

- Relacionamento M:N.

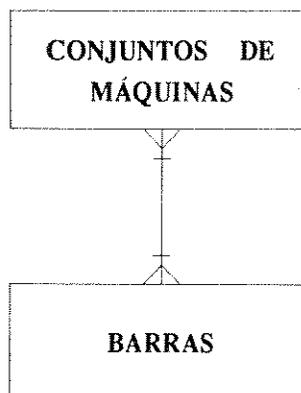


Figura A.2: Representação do Relacionamento M:N

Um *Conjunto de Máquinas* de uma Hidroelétrica pode estar conectado a várias *Barras*, e uma *Barra* pode estar conectada a vários *Conjunto de Máquinas* de uma Hidroelétrica.

Um relacionamento M:N irá originar uma entidade chamada **Entidade Associativa**, que irá possibilitar o estabelecimento de um relacionamento biunívoco entre as entidades (Figura A.3).

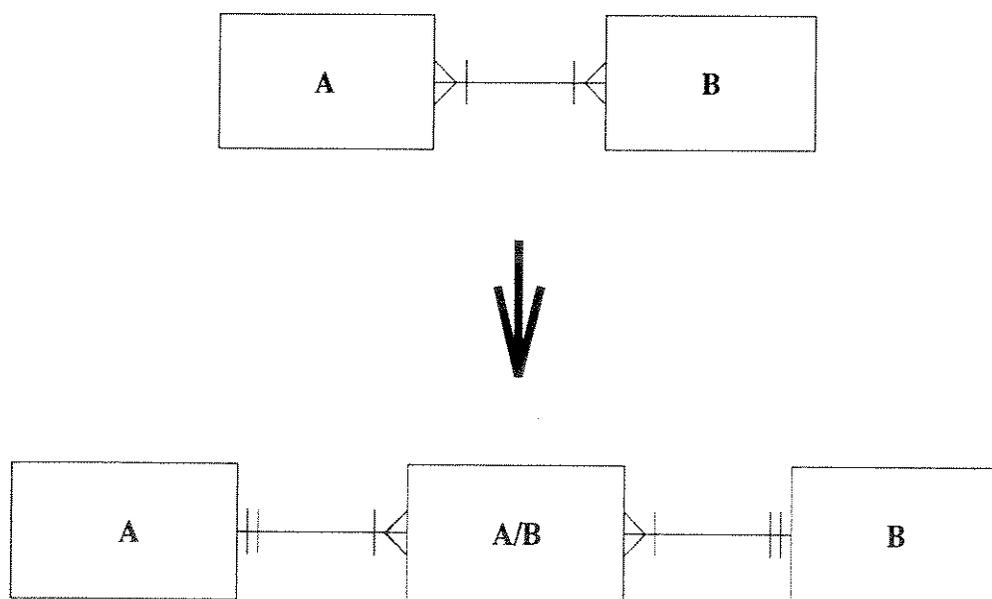


Figura A.3: Representação da Entidade Associativa

O relacionamento M:N do exemplo (Figura A.2) seria modelado para incorporar a Entidade Associativa *Máquinas por Barra*, de acordo com a Figura A.4.

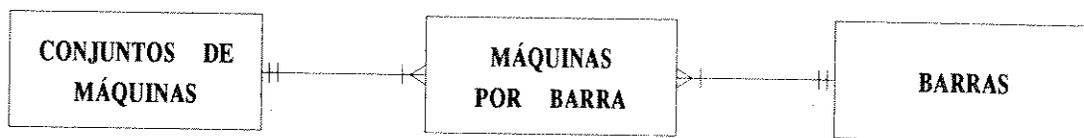


Figura A.4: Representação da Entidade Associativa Máquinas por Barra

Apêndice B

DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

O Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) é uma técnica gráfica utilizada para especificação dos processos e do fluxo de informações em um sistema. Consiste de um grafo direcionado no qual os nós são atividades de processamento e os arcos contêm os itens de dados que circulam entre os nós. É composto pelos seguintes elementos:

1. Entidades Externas.

Representam as fontes e/ou os destinos dos dados.

Símbolo:



NOME DA
ENTIDADE EXTERNA

2. Fluxos de Dados.

Representam os dados circulando pelo sistema.

Símbolo:



DADOS

Neste trabalho foram adotadas as seguintes convenções quanto à representação do fluxo de dados:

- (a) {} significa que contém um conjunto de dados que se repete 1 a n vezes.
- (b) [] significa que é um dado opcional.

(c) — significa "ou".

(d) , significa "e".

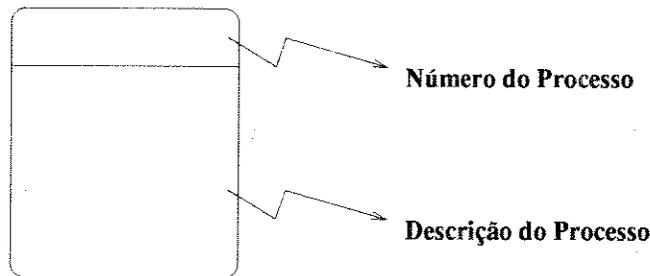
Exemplo:

$[\{a, b-c, \{d\}\}]$ mostra que trata-se de um conjunto de dados opcional e que se repete n vezes. Este conjunto é formado por um dado do tipo a , um dado tipo b ou c e um conjunto de dados repetitivo tipo d .

3. Processos.

Representam os agentes que transformam os dados.

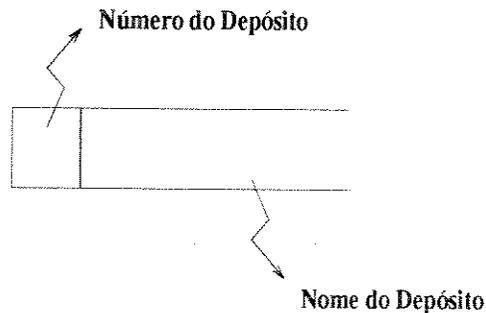
Símbolo:



4. Depósitos de Dados.

Armazenam temporariamente ou não os dados.

Símbolo:



Um DFD pode ser usado para representar um sistema em qualquer nível de abstração. No nível mais abstrato, chamado Diagrama de Contexto, todo o sistema computacional é representado como um simples processo que interage com as entidades externas (Figura B.1). Este processo é particionado em outros processos de forma a mostrar maiores detalhes de funcionalidade e de fluxo de informações (Figura B.2). Este procedimento de

partição é repetido até que seja alcançado um grau de detalhamento, que depende do nível de detalhe desejado [23].

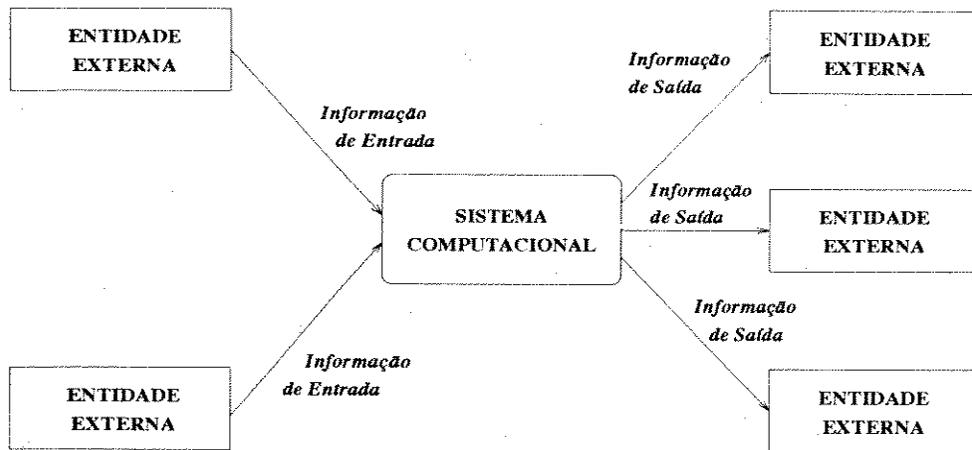


Figura B.1: Diagrama de Contexto Geral

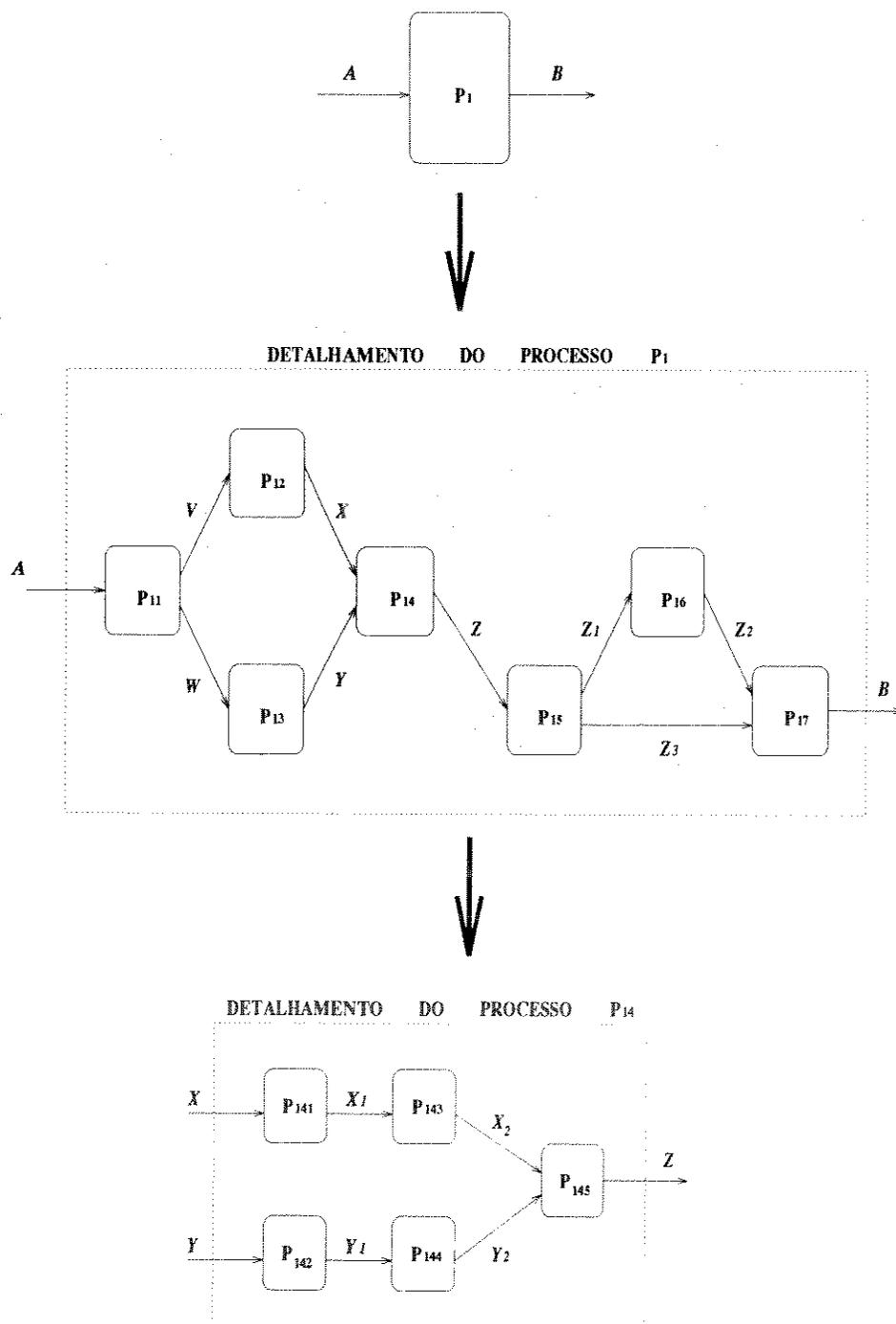


Figura B.2: Partição dos Processos

Apêndice C

NORMALIZAÇÃO

A *Normalização* é um processo passo a passo que examina os atributos de uma entidade e que objetiva retirar possíveis anomalias do modelo de dados e assim, reduzir as necessidades de futuras modificações substanciais em tal modelo.

É uma técnica interessante sobretudo quando o banco de dados utilizado para a implementação física do modelo de dados é o Modelo Relacional (Apêndice E).

A *Normalização* é composta por etapas de tratamento dos dados as quais foram chamadas *Formas Normais*:

1. Primeira Forma Normal.

Esta forma normal objetiva que o relacionamento entre a chave e os atributos de uma tupla seja unívoca, ou seja, para cada chave há a ocorrência de uma e somente uma informação de cada atributo. Ela é formada pelos seguintes passos:

- verificar se há ocorrências repetitivas de atributos dentro da tupla A analisada;
- destacar os atributos repetitivos, criando uma nova tupla B, que absorverá esses itens e herdará também a chave da tupla A;
- estabelecer o relacionamento natural e a cardinalidade entre a entidade A e a entidade B, que contém respectivamente a tupla A e a tupla B.

Exemplo:

HIDROELÉTRICAS

Nome_Hidroelétrica

Região_Hidroelétrica

Bacia_Hidroelétrica
 Empresa_Hidroelétrica
 Nome_Jusante_Hidroelétrica
 Volume_Mínimo_Hidroelétrica
 Volume_Máximo_Hidroelétrica
 Produtibilidade_Específica_Hidroelétrica
 Polinômios_Hidroelétrica
 Tempo_Atraso_Seco_Hidroelétrica
 Tempo_Atraso_Médio_Hidroelétrica
 Tempo_Atraso_Cheio_Hidroelétrica
 Hora
 Limite_Mínimo_Turbinagem_Hidroelétrica
 Limite_Máximo_Turbinagem_Hidroelétrica
 Degrau_Defluência_Hidroelétrica

O conjunto de dados {*Hora, Limite_Mínimo_Turbinagem_Hidroelétrica, Limite_Máximo_Turbinagem_Hidroelétrica, Degrau_Defluência_Hidroelétrica*} varia de 0 a n vezes de acordo com a Hidroelétrica em questão.

Com isto, haverá uma repetição desnecessária dos dados {*Nome_Hidroelétrica, Região_Hidroelétrica, Bacia_Hidroelétrica, Empresa_Hidroelétrica, Nome_Jusante_Hidroelétrica, Volume_Mínimo_Hidroelétrica, Volume_Máximo_Hidroelétrica, Produtibilidade_Específica_Hidroelétrica, Polinômios_Hidroelétrica, Tempo_Atraso_Seco_Hidroelétrica, Tempo_Atraso_Médio_Hidroelétrica, Tempo_Atraso_Cheio_Hidroelétrica*} para o caso de uma Hidroelétrica possuir n limitantes horários. Portanto, deve-se criar uma nova entidade que conterá {*Hora, Limite_Mínimo_Turbinagem_Hidroelétrica, Limite_Máximo_Turbinagem_Hidroelétrica, Degrau_Defluência_Hidroelétrica*}. Em termos de entidades:

HIDROELÉTRICAS

Nome_Hidroelétrica
 Região_Hidroelétrica
 Bacia_Hidroelétrica
 Empresa_Hidroelétrica
 Nome_Jusante_Hidroelétrica
 Volume_Mínimo_Hidroelétrica

Volume_Máximo_Hidroelétrica
 Produtibilidade_Específica_Hidroelétrica
 Polinômios_Hidroelétrica (são 3 de quinto grau)
 Tempo_Atraso_Seco_Hidroelétrica
 Tempo_Atraso_Médio_Hidroelétrica
 Tempo_Atraso_Cheio_Hidroelétrica

LIMITES HORÁRIOS DE HIDROELÉTRICAS

Nome_Hidroelétrica
 Hora
 Limite_Mínimo_Turbinagem_Hidroelétrica
 Limite_Máximo_Turbinagem_Hidroelétrica
 Degrau_Defluência_Hidroelétrica



Figura C.1: O Modelo Entidade-Relacionamento dos Dados Básicos

2. Segunda Forma Normal.

Objetiva verificar se uma tupla que está na **Primeira Forma Normal** possui atributos não-chaves que dependem parcialmente da chave concatenada da tupla analisada. Ela deverá ser aplicada através dos seguintes passos:

- verificar se a tupla C analisada possui chave concatenada;
- destacar os atributos que dependem parcialmente da chave concatenada, criando uma nova tupla D, que absorverá esses itens e herdará a chave parcial componente da tupla C;
- estabelecer o relacionamento natural e a cardinalidade entre a entidade C e a entidade D, que contêm respectivamente a tupla C e a tupla D.

Não foi encontrado exemplos desta normalização no modelo de dados elaborado para o sistema.

3. Terceira Forma Normal.

Objetiva identificar dependências transitivas, ou seja, dependências indiretas que um determinado atributo tem com a chave da tupla, através de um outro atributo não-chave, do qual é diretamente dependente. É composto pelos seguintes passos:

- verificar se a tupla E analisada possui atributos que são dependentes de outros atributos também contidos nela. Essa relação de dependência pode ser com um atributo que seja chave estrangeira ou transposta não componente da chave da tupla E ou com atributos que, participantes de um cálculo específico, resulta no atributo dependente;
- destacar os atributos dependentes da chave estrangeira e incorporar na tupla F, de onde foi herdada a referida chave;
- eliminar os atributos obtidos por cálculo a partir de outros atributos da tupla E.

Exemplo:

CONJUNTOS DE MÁQUINAS

Nome_Hidroelétrica
 Nome_Conjunto_Máquinas
 Tipo_Máquina
 Quantidade_Máquinas_Conjunto
 Potência_Efetiva_Máquina
 Engolimento_Efetivo_Máquina
 Queda_Efetiva

Nesta entidade o conjunto de atributos {*Potência_Efetiva_Máquina, Engolimento_Efetivo_Máquina*} dependem de fato do atributo *Tipo_Máquina*. Com isto, se uma usina tiver 2 (dois) conjuntos diferentes com máquinas do mesmo tipo, o conjunto de atributos citados será repetido desnecessariamente, ou seja:

Mostra-se interessante criar uma entidade que contenha estes atributos, até mesmo como um melhor forma de atualização dos dados das máquinas que estão sendo lançadas no mercado. Em termos de entidades:

CONJUNTOS DE MÁQUINAS

Nome_Hidroelétrica
 Nome_Conjunto_Máquinas

Tipo_Máquina
Quantidade_Máquinas_Conjunto
Queda_Efetiva

MÁQUINAS

Tipo_Máquina
Potência_Efetiva_Máquina
Engolimento_Efetivo_Máquina

4. Quarta Forma Normal.

Objetiva verificar dependências multivaloradas, ou seja, existem múltiplos valores para um mesmo valor de chave. É composta pelos seguintes passos:

- verificar se a tupla G analisada possui atributos não-chaves multivalorados e independentes, associados ao mesmo valor de chave;
- destacar os atributos não-chaves multivalorados, criando novas tuplas individualizadas para cada um deles, residentes em entidades distintas, herdando também a chave original.

Não foi encontrado nenhum exemplo no modelo do sistema.

Muitos profissionais optam por analisar os dados até a **Terceira Forma Normal**, que já se mostrou ser suficiente em muitos casos.

Deve-se enfatizar que por questão de eficiência computacional do sistema, pode-se optar por sacrificar algumas das formas normais, principalmente a primeira, permitindo a vetorização de certos atributos.

Apêndice D

DICIONÁRIO

O **Dicionário** é uma ferramenta útil para o gerenciamento dos dados que fazem parte das atividades de uma organização.

Neste trabalho foram especificados 2 (dois) tipos de dicionários:

1. O dicionário referente aos dados.

Detalha os atributos de todas as entidades do modelo de dados. O modelo deste dicionário está na Figura D.1.

2. O dicionário referente aos processos.

Detalha a lógica dos processos do modelo de processos. O modelo deste dicionário está na Figura D.2.

Estes dicionários foram concebidos de acordo com o nível de detalhamento exigido pelas fases de desenvolvimento do sistema concluídas. À medida da conclusão de novas etapas do ciclo de desenvolvimento, novas informações poderão incorporadas nestes dicionários.

DICIONÁRIO DE DADOS	
NOME:	_____
DESCRIÇÃO:	_____ _____
SINÔNIMOS:	_____ _____
FONTE (FORNECIDO/ORIGINADO/DERIVADO):	_____
TIPO DO DADO (ALFABÉTICO/ALFANUMÉRICO/LÓGICO/REAL/INTEIRO):	_____
DOMÍNIO (DISCRETO/CONTÍNUO):	_____
ENTIDADE RELACIONADA:	_____

Figura D.1: Modelo do Dicionário de Dados

DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS	
NOME DO PROCESSO:	_____
DFD CORRESPONDENTE (COM O RESPECTIVO No. DO PROCESSO):	_____
DESCRIÇÃO BREVE:	_____ _____ _____
ENTRADAS:	_____ _____ _____
SAÍDAS:	_____ _____ _____
LÓGICA DETALHADA:	

Figura D.2: Modelo do Dicionário de Processos

Apêndice E

BANCO DE DADOS

Uma organização seja qual for o seu tipo, gera informação e usa tal informação para a sua operação diária. Com a introdução dos computadores para processar dados, o sistema de gerência de arquivos tem sido usado tradicionalmente como um veículo para armazenar, recuperar e manter os dados. Entretanto, tal sistema não fornece uma visão integrada dos dados de toda a organização, além de fazer com que a aplicação dependa de como os dados estão armazenados e acessados pelo sistema gerenciador de arquivos. Um Sistema de Banco de Dados oferece um melhoramento significativo sobre as falhas do sistema gerenciador de arquivos.

Um Sistema de Banco de Dados é basicamente um sistema cujo propósito geral é manter as informações relevantes da organização disponíveis para utilização pelos diversos usuários. Esta informação é armazenada na *Base de Dados* e o software que permite que os usuários manipulem os dados é chamado *Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD)*. O principal objetivo deste sistema gerenciador é permitir ao usuário tratar com o dado em termos abstratos, ou seja, ele age de tal forma a permitir ao usuário especificar o que deve ser feito, com pouca ou nenhuma preocupação por parte deste usuário com algoritmos detalhados ou representação dos dados usados pelo sistema.

E.1 PROJETO CONCEITUAL DO BANCO DE DADOS

Foi visto que na fase de Análise é feito o levantamento das necessidades de informação da organização. Este levantamento não considera qualquer aspecto físico computacional dos dados. Ao passar para a fase de Projeto, o analista deve considerar este aspecto, pois assim ele poderá propor uma organização física que atenda aos requisitos definidos pelos usuários e da mesma forma levando em consideração o tipo de modelo de Banco

de Dados que será utilizado para a implementação física dos dados.

Existem 3 (três) tipos de modelos: o *Modelo Relacional*, o *Modelo Hierárquico*, o *Modelo em Redes*, os quais diferem pela forma de implementação das tuplas e pela forma de acesso a elas.

E.1.1 BANCO DE DADOS RELACIONAL

Este modelo tem a fundamentação teórica no Cálculo Relacional e na Álgebra Relacional, e representa o banco de dados como uma coleção de tabelas, cada uma das quais associadas a nomes únicos. Cada tabela é tratada como uma **Relação**, onde cada linha é uma **Tupla** e cada tupla é formada por **Itens de Dados**, os quais pertencem a um **Domínio**, ou seja, possuem uma combinação de valores.

Um exemplo desta estrutura está representada na Figura E.1.

TABELA DE CONJUNTO_MÁQUINAS

NOME_HIDROELÉTRICA	NOME_CONJUNTO	TIPO_MÁQUINA	QUEDA_EFETIVA

TABELA DE MÁQUINAS

TIPO_MÁQUINA	POTÊNCIA_EFETIVA	ENGOLIMENTO_EFETIVO

Figura E.1: O Modelo Relacional para Conjunto_Máquinas/Máquinas

E.1.2 BANCO DE DADOS DE REDE

Consiste numa coleção de registros conectados entre si através de ligações. Um registro é uma coleção de campos (atributos), cada um dos quais contendo somente uma informação. Uma ligação é uma associação entre exatamente dois registros. Este modelo pode ser visto como um grafo direcionado (Figura E.2).

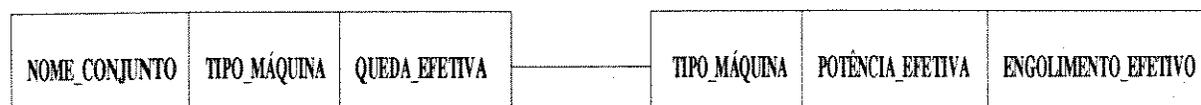


Figura E.2: O Modelo de Redes para Conjunto_Máquinas/Máquinas

E.1.3 BANCO DE DADOS HIERÁRQUICO

Este modelo é uma particularidade do Modelo em Redes, e consiste na organização dos registros como coleções de árvores, sendo estabelecida uma ordem hierárquica entre elas (Figura E.3).

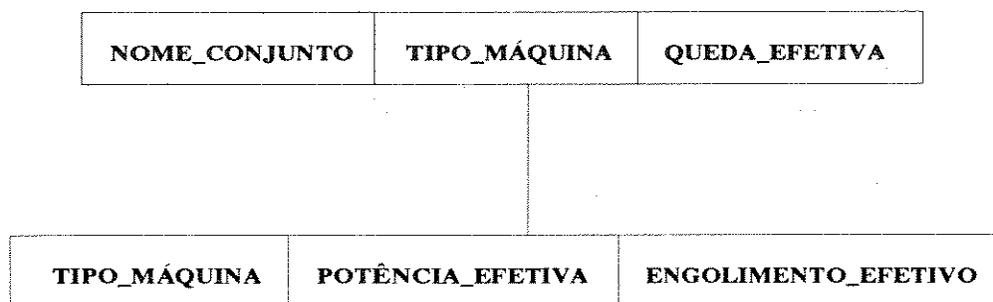


Figura E.3: O Modelo Hierárquico para Conjunto_Máquinas/Máquinas

A escolha de uma dada estrutura deve ser feita levando-se em consideração as necessidades do usuário em termos de rapidez, segurança e facilidade no acesso aos dados. Após esta decisão, se procederá a escolha de um sistema gerenciador específico, a qual deve considerar muito o aspecto de disponibilidade para manutenção do software por parte da empresa vendedora do produto.

Apêndice F

RESULTADOS DA ANÁLISE

DESCRIÇÃO DAS ENTIDADES

HIDROELÉTRICAS

Código_Hidroelétrica

Código_Subistema_Hidroelétrica

Empresa_Usina_Hidroelétrica

Rio_Usina_Hidroelétrica

Código_Jusante_Hidroelétrica

Volume_Mínimo_Hidroelétrica

Volume_Máximo_Hidroelétrica

Produtibilidade_Hidroelétrica

Polinômios_Hidroelétrica

Tempos_Atraso_Hidroelétrica

Conjunto_Máquinas_Hidroelétrica

Código_Barra_Hidroelétrica

Qtde_Máquinas_Barra_Hidroelétrica

Hora_Hidroelétrica

Potência_Mínima_Geração_Hidroelétrica

Potência_Máxima_Geração_Hidroelétrica
 Variação_Máxima_Hidroelétrica
 Limite_Inferior_Turbinagem_Hidroelétrica
 Limite_Superior_Turbinagem_Hidroelétrica
 Ano_Hidroelétrica
 Mês_Hidroelétrica
 Afluências_Hidroelétrica

Considerações quanto aos atributos:

- *Polinômios_Hidroelétrica*
 É formado por 3 (três) polinômios do quinto grau que caracterizam uma determinada Hidroelétrica:
- *Tempos_Atraso_Hidroelétrica*
 São 3 (três) tipos de tempos considerados nas análises hidráulicas: tempo de atraso no período seco, tempo de atraso no período de cheia (médio) e tempo de atraso no período de cheia excepcional (cheio).
- { *Conjunto_Máquinas_Hidroelétrica, Código_Barra_Hidroelétrica, Qtde_Máquinas_Barra_Hidroelétrica* }
 Este conjunto representa como é a ligação entre uma Hidroelétrica e uma Barra. A Hidroelétrica tem vários conjuntos de máquinas, cada conjunto contém um certo número de máquinas de um mesmo tipo, e pode estar conectado a várias Barras.
- { *Hora_Hidroelétrica, Potência_Mínima_Geração_Hidroelétrica, Potência_Máxima_Geração_Hidroelétrica, Variação_Máxima_Hidroelétrica, Limite_Inferior_Turbinagem_Hidroelétrica, Limite_Superior_Turbinagem_Hidroelétrica* }
 Este conjunto representa os limitantes horários que certas Hidroelétricas possuem. Tais limitantes dependem de outros fatores que não a característica da Hidroelétrica em questão.
- { *Ano_Hidroelétrica, Mês_Hidroelétrica, Afluências_Hidroelétrica* }
 Este conjunto representa os valores de afluências das Hidroelétricas. Existem 3 (três) tipos de afluências utilizadas: afluência histórica, afluência sintética e afluência prevista.

TERMOELÉTRICAS

Código_Termoelétrica
Empresa_Termoelétrica
Função_Custo_Geração_Termoelétrica
Limite_Mínimo_Geração_Termoelétrica
Limite_Máximo_Geração_Termoelétrica
Limite_Rampa_Termoelétrica
Código_Barra_Termoelétrica

Considerações quanto aos atributos:

- *Código_Barra_Termoelétrica*
Um Termoelétrica pode estar conectada a várias barras.

BARRAS

Código_Barra
Empresa_Barra
Estado_Barra
Tipo_Barra
Tensão_Nominal_Barra
Limite_Inferior_Injeção_Ativa_Barra
Limite_Superior_Injeção_Ativa_Barra
Limite_Inferior_Injeção_Reativa_Barra
Limite_Superior_Injeção_Reativa_Barra
Hora_Barra
Demandas_Ativas_Barra
Demandas_Reativas_Barra

Considerações quanto aos atributos:

- *Tipo_Barra*

Este atributo vai definir qual o tipo de barra que se está trabalhando. Existem 4 tipos de barra: Barra de Geração de Potência Ativa e Reativa, Barra de Carga com Controle de Tensão, Barra de Carga sem Controle de Tensão e Barra de Ligação.

- {*Limite_Inferior_Injeção_Ativa_Barra, Limite_Superior_Injeção_Ativa_Barra, Limite_Inferior_Injeção_Reativa_Barra, Limite_Superior_Injeção_Reativa_Barra*}

Este conjunto de atributos define os limites de injeção de potência de cada barra. Tais limites são dependentes do tipo de barra tratado, assim:

- Barra de Geração de Potência Ativa e Reativa pode possuir estes quatro valores de limites, ou só os limites ativos, ou só os limites reativos.
- Barra de Carga com Controle de Tensão possui só os limites reativos.
- Barra de Carga sem Controle de Tensão possui só os limites ativos.
- Barra de Ligação não possui quaisquer destes limites.

- {*Hora_Barra, Demandas_Ativas_Barra, Demandas_Reativas_Barra*}

Este conjunto de atributos define o valor das demandas ativa e reativa horária de cada barra que tiver carga. Três tipos de carga são avaliadas nestes valores: carga baixa, carga média e carga alta.

LINHAS

Código_Linha

Empresa_Linha

Código_Barra_Origem_Linha

Código_Barras_Destino_Linha

Tipo_Linha

Tensão_Nominal_Linha

Reatância_Linha

Admitância_Linha

Resistência_Linha

Limite_Inferior_Transmissão_Ativa_Linha

Limite_Superior_Transmissão_Ativa_Linha

Limite_Inferior_Transmissão_Reativa_Linha

Limite_Superior_Transmissão_Reativa_Linha

Tap_Linha

Considerações quanto aos atributos:

- *Tipo_Linha*

Este atributo determina o tipo da linha que se está trabalhando. Existem 2 (dois) tipos de linhas: linha de transmissão e transformador.

- *Tap_Linha*

Este atributo é específico de transformadores.

SISTEMAS

Código_Sistema

Tempo_Atraso_Sistema

Afluência_Sistema

Demanda_Sistema

Código_Hidroelétrica_Sistema

Conjunto_Máquinas_Hidroelétrica_Sistema

Código_Barra_Associada_Hidroelétrica_Sistema

Qtde_Máquinas_Funcionando_Conjunto_Sistema

Meta_Energética_Hidroelétrica_Sistema

Código_Termoelétrica_Sistema

Meta_Energética_Termoelétrica_Sistema

Código_Barra_Associada_Termoelétrica_Sistema

Código_Barra_Sistema

Código_Linha_Sistema

Considerações quanto aos atributos:

- { *Tempo_Atraso_Sistema, Afluência_Sistema, Demanda_Sistema* }

Este conjunto define as condições que todos os componentes do sistema em estudo deverão obedecer: o tempo de atraso de cada Hidroelétrica, o tipo de afluência do reservatório de cada Hidroelétrica e o tipo de demanda das barras.

- { *Código_Hidroelétrica_Sistema, Conjunto_Máquinas_Hidroelétrica_Sistema, Código_Barra_Associada_Hidroelétrica_Sistema, Qtde_Máquinas_Funcionando_Conjunto_Sistema, Meta_Energética_Hidroelétrica_Sistema* }

Este conjunto define as condições operacionais de cada Hidroelétrica, quantas máquinas estão funcionando e em quais Barras estão conectadas, e as metas energéticas de cada Hidroelétrica.

- { *Código_Termoelétrica, Meta_Energética_Termoelétrica, Código_Barra_Associada_Termoelétrica* }

Este conjunto define as condições de cada Termoelétrica participante do sistema. Estas condições definem a meta energética e a Barra ligada a respectiva Termoelétrica.

RESULTADO PRÉ-DESPACHO

Código_Sistema

Hora

Código_Hidroelétrica

Volume

Turbinagem

Geração_Potência_Ativa

Multiplicador_Lagrange

Código_Linha

Fluxo_Potência_Ativa

Código_Barra

Ângulo_Fase

DESCRIÇÃO DOS DEPÓSITOS DE DADOS

D1 - HIDROELÉTRICAS

Código_Hidroelétrica

Código_Jusante

Volume_Mínimo

Volume_Máximo

Produtibilidade_Específica

Conjunto_Máquinas

Código_Barra_Associada

Qtde_Máquinas_Barra_Hidroelétrica

Hora

Limites_Horários

Ano

Semana

Afluências

D2 - TERMOELÉTRICAS

Código_Termoelétrica

Função_Custo_Geração

Limite_Mínimo_Geração

Limite_Máximo_Geração

Limite_Rampa

Código_Barra_Associada

D3 - BARRAS

Código_Barra

Tensão_Nominal

Limites_Injeção_Ativa

Hora

Demandas_Ativas

D4 - LINHAS

Código_Linha

Código_Barra_Origem

Código_Barras_Destino

Tensão_Nominal

Reatância

Admitância

Resistência

Limites_Transmissão_Ativa

D5 - SISTEMAS

Código_Sistema

Tipo_Afluência

Tipo_Demanda

Código_Hidroelétrica

Conjunto_Máquinas

Apêndice G

RESULTADOS DO PROJETO

DESCRIÇÃO DAS ENTIDADES

1. Dados Básicos

MÁQUINAS

Tipo_Máquina (*)
Potência_Efetiva_Máquina
Engolimento_Efetivo_Máquina

HIDROELÉTRICAS

Código_Hidroelétrica (*)
Nome_Hidroelétrica
Região_Hidroelétrica
Bacia_Hidroelétrica
Empresa_Hidroelétrica
Código_Jusante_Hidroelétrica
Volume_Mínimo_Hidroelétrica
Volume_Máximo_Hidroelétrica
Produtibilidade_Específica_Hidroelétrica
Polinômios_Hidroelétrica
Tempo_Atraso_Seco_Hidroelétrica
Tempo_Atraso_Médio_Hidroelétrica

VAZÃO PREVISTA DE HIDROELÉTRICAS

Código_Hidroelétrica (*)
Ano (*)
Semana (*)
Valor_Afluência_Prevista_Hidroelétrica

TERMOELÉTRICAS

Código_Termoelétrica (*)
Nome_Termoelétrica
Função_Custo_Geração_Termoelétrica
Limite_Mínimo_Geração_Termoelétrica
Limite_Máximo_Geração_Termoelétrica
Limite_Rampa_Termoelétrica

BARRAS

Código_Barra (*)
Nome_Barra
Estado_Barra
Empresa_Barra
Tipo_Barra
Tensão_Nominal_Barra

LIMITES ATIVOS BARRAS

Código_Barra (*)
Limite_Inferior_Injeção_Ativa_Barra
Limite_Superior_Injeção_Ativa_Barra

LIMITES REATIVOS BARRAS

Código_Barra (*)
Limite_Inferior_Injeção_Reativa_Barra
Limite_Superior_Injeção_Reativa_Barra

2. Dados de Configuração

SISTEMAS

Código_Sistema (*)

Título_Sistema

Descrição_Sistema

HIDROELÉTRICAS DE SISTEMAS

Código_Sistema (*)

Código_Hidroelétrica_Sistema (*)

TERMOELÉTRICAS DE SISTEMAS

Código_Sistema (*)

Código_Termoelétrica_Sistema (*)

BARRAS DE SISTEMAS

Código_Sistema (*)

Código_Barra_Sistema (*)

LINHAS DE SISTEMAS

Código_Sistema (*)

Código_Linha_Sistema (*)

CASOS

Código_Sistema (*)

Código_Caso (*)

Título_Caso

Descrição_Caso

HIDROELÉTRICAS DE CASOS

Código_Sistema (*)

Código_Caso (*)

Código_Hidroelétrica_Caso (*)

Hora_Hidroelétrica_Caso (*)

Status_Hidroelétrica_Caso

LINHAS DE CASOS

Código_Sistema (*)

Código_Caso (*)

Código_Linha_Caso (*)

Hora_Linha_Caso (*)

Status_Linha_Caso

3. Dados de Ferramentas

FERRAMENTAS

Nome_Ferramenta (*)

Descrição_Ferramenta_Planejamento

Horizonte_Ferramenta_Planejamento

4. Dados de Cenários

CENÁRIOS

Código_Cenário (*)

Tipo_Afluência_Cenário

Tipo_Demanda_Cenário

Tipo_Tempo_Atraso

5. Dados do Problema de Planejamento de Curto Prazo

PLANEJAMENTO

Usuário (*)

Código_Sistema (*)

Código_Caso (*)

Código_Cenário (*)

Nome_Ferramenta_Planejamento_Curto_Prazo (*)

Período_Planejamento (*)

Período_Vazão (*)

Período_Meta (*)

Período_Demanda (*)

Descrição

6. Dados do Resultado do Planejamento de Curto Prazo**RESULTADO DO PRÉ-DESPACHO**

Usuário (*)
Código_Sistema (*)
Código_Caso (*)
Código_Cenário (*)
Período_PréDespacho (*)
Período_Afluência (*)
Período_Meta (*)
Período_Demanda (*)
Análise_Resultado_Final_Período

RESULTADO DAS HIDROELÉTRICAS DO PRÉ-DESPACHO

Usuário (*)
Código_Sistema (*)
Código_Caso (*)
Código_Cenário (*)
Período_PréDespacho (*)
Período_Afluência (*)
Período_Meta (*)
Período_Demanda (*)
Hora (*)
Código_Hidroelétrica (*)
Volume
Turbinagem
Geração_Potência_Ativa
Multiplicador_Lagrange

RESULTADO DAS BARRAS DO PRÉ-DESPACHO

Usuário (*)
Código_Sistema (*)
Código_Caso (*)
Código_Cenário (*)

Período_PréDespacho (*)

Período_Afluência (*)

Período_Meta (*)

Período_Demanda (*)

Hora (*)

Código_Barra (*)

Ângulo_Fase

RESULTADO DAS LINHAS DO PRÉ-DESPACHO

Usuário (*)

Código_Sistema (*)

Código_Caso (*)

Código_Cenário (*)

Período_PréDespacho (*)

Período_Afluência (*)

Período_Meta (*)

Período_Demanda (*)

Hora (*)

Código_Linha (*)

Fluxo_Potência_Ativa

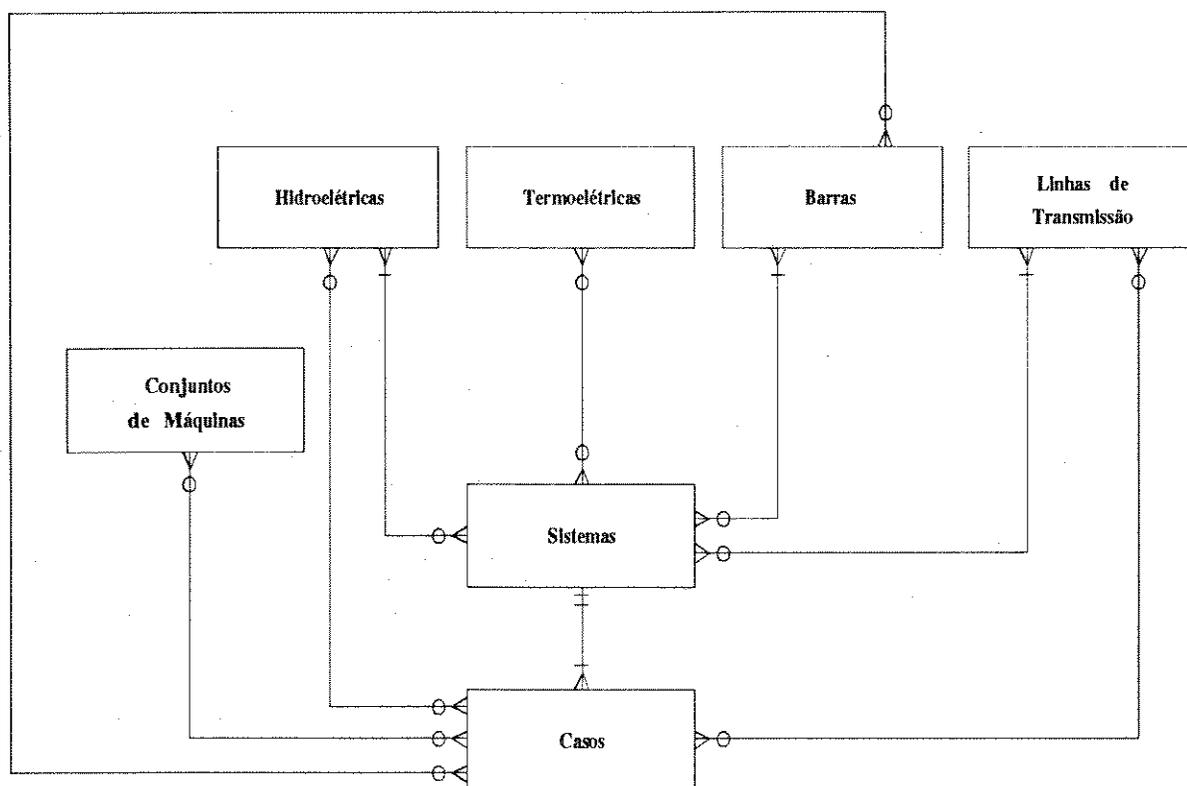


Figura G.1: O Modelo Entidade-Relacionamento da Configuração

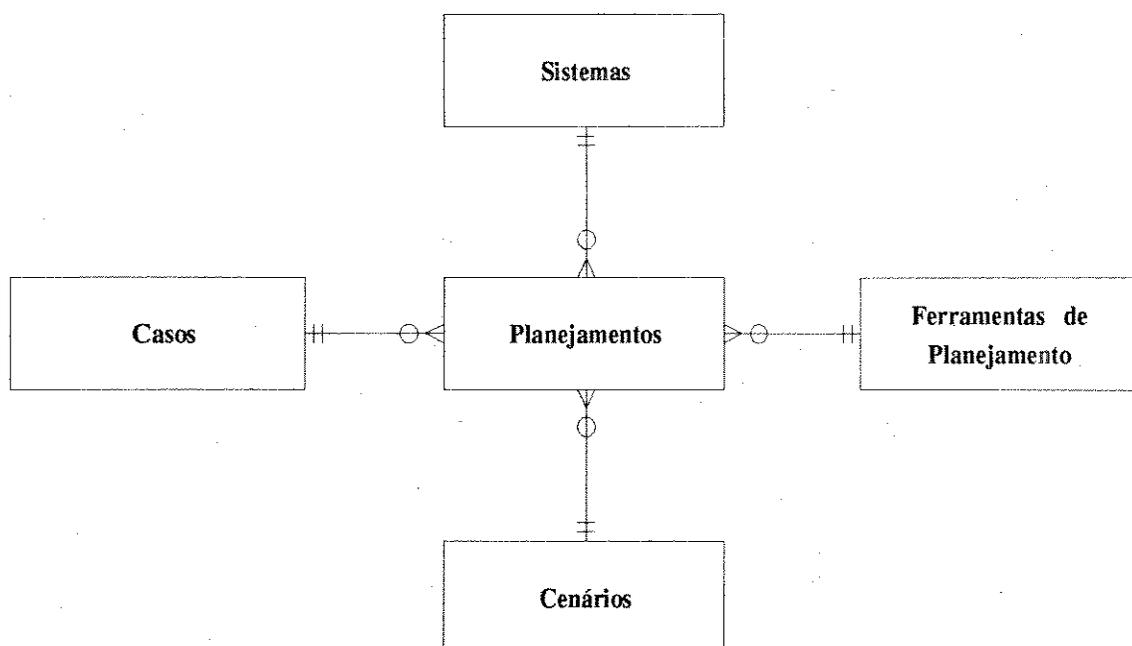


Figura G.2: O Modelo Entidade-Relacionamento do Planejamento

DESCRIÇÃO DOS DEPÓSITOS DE DADOS

D1 - HIDROELÉTRICAS

Código_Hidroelétrica

Código_Jusante_Hidroelétrica

Volume_Mínimo

Volume_Máximo

Produtibilidade_Específica

Tempos_Atraso

Conjunto_Máquina

Código_Barra_Associada

Qtde_Máquina_Ligada

Hora

Limite_Mínimo_Turbinagem

Limite_Máximo_Turbinagem

Degrau_Defluência

Ano

Semana

Afluências

D2 - TERMOELÉTRICAS

Código_Termoelétrica

Função_Custo_Geração

Limite_Mínimo_Geração

Limite_Máximo_Geração

Limite_Rampa

D3 - BARRAS

Código_Barra

Tipo

Tensão_Nominal

Limites_Injeção_Ativa

Hora

Demanda_Ativa

D4 - LINHAS

Código_Linha

Tipo_Linha

Tensão_Nominal

Resistência

Reatância

Admitância

Limites_Transmissão_Ativa

Código_Barra_Origem_Linha

Código_Barra_Destino_Linha

D5 - SISTEMAS

Código_Sistema

Código_Hidroelétrica

Código_Termoelétrica

Código_Barra

Código_Linha

D6 - CASOS

Código_Sistema

Código_Caso

Código_Hidroelétrica

Hora

Status_Hidroelétrica

Código_Linha

Hora

Status_Linha

D7 - CENÁRIOS

Código_Cenário
Tipo_Afluência
Tipo_Demanda
Tipo_Tempo_Atraso

D8 - FERRAMENTAS

Nome_Ferramenta
Parâmetros_Adicionais

D9 - PLANEJAMENTO

Código_Sistema
Código_Caso
Código_Cenário
Nome_Ferramenta_Planejamento_Curto_Prazo
Período_Planejamento
Período_Vazão
Período_Meta
Período_Demanda

D10 - METAS ENERGÉTICAS DE HIDROELÉTRICAS

Código_Hidroelétrica
Período_Meta
Valor_Meta

D11 - METAS ENERGÉTICAS DE TERMOELÉTRICAS

Código_Termoelétrica

Período_Meta

Valor_Meta

D12 - RESULTADO DO PRÉ-DESPACHO

Código_Sistema

Código_Caso

Código_Cenário

Período_PréDespacho

Período_Afluência

Período_Meta

Período_Demanda

Hora

Código_Hidroelétrica

Volume Armazenado

Turbinagem

Geração_Potência_Ativa

Multiplicador_Lagrange

Código_Barra

Ângulo_Fase

Código_Linha

Fluxo_Potência_Ativa

Análise_Resultado_Final_Período

BIBLIOGRAFIA

- [1] NIEVA,R.;INDA,A.;FRAUSTO,J. "CHT: A Digital Computer Package for Solving Short-Term Hydro-Thermal Coordination and Unit Commitment Problems". *IEEE Transactions on Power Systems*. Vol.1 No.3, Ago/86
- [2] PAPADAKIS,M.E.;HATZIARGYRIOU;GAZIDELIS,D.K. "Interactive Data Management System for Power Planning Studies". *IEEE Transactions on Power Systems*. Vol.4 No.1, Fev/89
- [3] HARHAMMER,P.G.;INFANGER,G.M. "Decision Support System - Operation Planning". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. Vol.11 No.3, Jul/89
- [4] BERTRAM,T.J.;DEMAREE,K.D.;DANGELMAIER,L.C. "An Integrated Package for Real-Time Security Enhancement". *IEEE Transactions on Power Systems*. Vol.5 No.2, Mai/90
- [5] OHISHI,T; SOARES,S; CARVALHO,M.F.H. "A Short Term Hidrotermal Scheduling Approach Dominatly Hidro-Systems". *IEEE Summer Meeting*, Mineapolis, Jul/90
- [6] OHISHI,T. *Planejamento de Curto Prazo de Sistemas Hidrotérmicos predominantemente Hidráulicos*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP, Dez/90
- [7] SAXENA,P.;MUKERJI,R.;NEUGEBAUER,W. "Information-Oriented Architecture Adds New Flavor to Optimal Power Flow". *IEEE Computer Applications In Power*. Abr/91
- [8] LIMA,F.G.M. *Estudos de Fluzo de Potência Ótimo via Otimização Paramétrica*. Projeto de Mestrado a ser defendido na Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP
- [9] FONTANINI,W. *Um Modelo de Dados para Estudos de Planejamento de Operação do Sistema Hidroelétrico Brasileiro*. Projeto de Mestrado a ser defendido na Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP

- [10] FRACARO, A.V. *Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos com Restrições de Segurança*. Projeto de Mestrado a ser defendido na Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP
- [11] SIMON, H. *The New Science of Management Decision*. First Edition. New York: Harper&Row. 1960
- [12] EDELMAN, F. "They Went Thataway". *Interfaces*. Mai/70
- [13] SCOTT-MORTON, M.S. *Management Decision Systems: Computer-Based Support for Decision-Making*. Cambridge, MA: Division of Research, Harvard University, 1971
- [14] MINTZBERG, H. *The Nature of the Managerial Work*. New York: Harper&Row, 1973
- [15] DIAS, D.S.;GAZZANEO, G. *Projeto de Sistemas de Processamento de Dados*. LTC, 1975
- [16] GORDON, L.A. et al. *Normative Models in Managerial Decision Making*. New York: National Association Of Accounting, 1975
- [17] HARRISON, E.F. *The Managerial Decision-Making Process*. Second Edition. Houghton Mifflin Company. 1981
- [18] FELICIANO, A.;FURLAN, J.D.;HIGA, W. *Engenharia da Informação: Metodologia, Técnicas e Ferramentas*. McGraw-Hill, 1988
- [19] KENDALL, K.E.; KENDALL, J.E. *Systems Analysis and Design*. Prentice Hall, 1988
- [20] PETERS, L. *Advanced Analysis and Design*. Prentice Hall International Editions, 1988
- [21] TURBAN, E. *Decision Support and Expert Systems*. MacMillan International Editions, Second Edition, 1990
- [22] SPRAGUE, R.H.; Watson, H.J. *Sistema de Apoio à Decisão: colocando a teoria em prática*. Editora Campus, 1991
- [23] PRESSMAN, R.S. *Software Engineering: a practitioner's approach*. McGraw-Hill International Editions, Third Edition, 1992
- [24] TURBAN, E. *Decision Support and Expert Systems*. MacMillan International Editions. Third Edition, 1993