

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

*Utilização de Software Livre na  
Reengenharia de um Sistema de  
Apoio ao Planejamento  
Energético*

Wosley da Costa Arruda

Orientador: Profº. Dr. Gélson da Cruz Júnior

Goiânia

2007

©Copyright 2007  
Wosley da Costa Arruda

WOSLEY DA COSTA ARRUDA

*Utilização de Software Livre na  
Reengenharia de um Sistema de  
Apoio ao Planejamento  
Energético*

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica e da Computação.

**Área de Concentração:** Engenharia da Computação

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr. Gélson da Cruz Júnior

Goiânia

2007

Universidade Federal de Goiás  
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica e de Computação - CPPEEC

# FOLHA DE APROVAÇÃO

“Utilização de Software Livre na  
Reengenharia de um Sistema de Apoio ao  
Planejamento Energético”

**WOSLEY DA COSTA ARRUDA**

Dissertação defendida e aprovada em 28 de Setembro de 2007, pela banca  
examinadora constituída pelos professores:

---

Prof. Dr. Gélson da Cruz Júnior, Orientador -  
EEEC/UFG

---

Prof. Dr. Cássio Dener Noronha Vinhal - EEEEC/UFG

---

Prof. Dr. Thyago Carvalho Marques - CEFET-GO

# *Dedicatória*

Aos meus pais, que me ensinaram a ser o que sou hoje.

# *Agradecimentos*

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro.

Agradeço principalmente a Deus, maior responsável por todas as vitórias que conquistei, sempre me guiando por bons caminhos e oferecendo grandes oportunidades, tais como esta, um dos meus maiores sonhos, o mestrado em engenharia.

Esta dissertação foi fruto de pesquisa em área multidisciplinar, envolvendo diversas pessoas as quais gostaria de homenagear. Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, José da Costa Arruda e Luzia Maria Arruda; irmãos, Warley, Wesley e Rosângela, e demais familiares, pelo suporte psicológico, emocional e afetivo, sem os quais nenhuma página deste documento seria escrita.

O meio acadêmico também proveu personalidades essenciais à construção desta obra, podendo citar meu orientador Gélson da Cruz Júnior, cujas palavras e ensinamentos iluminaram o caminho percorrido para a elaboração e construção das idéias desta dissertação. Neste período, tive o prazer e a satisfação de contar com excelentes docentes, podendo mencionar Prof. Cássio Dener Noronha Vinhal, Prof. Wagner da Silva Lima, Prof. Pedro Abraão, Prof. Marco Antônio Assfalk de Oliveira, Prof. Reinaldo Gonçalves Nogueira entre outros. Estes foram responsáveis diretos pelo meu amadurecimento como pesquisador e aluno, ampliando minhas fronteiras do conhecimento.

Não poderia deixar de mencionar meus amigos, colegas de profissão e alunos. A convivência diária com o Núcleo de Estudo e Pesquisa em Energia - NEPE me fez entender o valor da união entre as pessoas. Gustavo Dias Nascimento (Pará) e Yroá Robledo Ferreira, o nosso grande Manga, foram meus companheiros inseparáveis durante o mestrado.

Além destes gostaria de mencionar todos os companheiros do Laboratório de Simulação - LABSIM.

Gostaria de agradecer aos funcionários da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, cujo empenho e dedicação proporcionaram qualidade ao ambiente de trabalho. Dentre estes, gostaria de citar João Antônio dos Reis.

Agradeço a toda a comunidade acadêmica por contribuir e apoiar a pesquisa.

*“Quem, revendo o antigo, aprende o novo pode ser considerado mestre.”*

***Confúcio***



## *Resumo*

O presente estudo foi desenvolvido no sentido de se obter um Sistema de Apoio a Decisão - SAD que integre o trabalho com os diversos modelos do Planejamento Energético da Operação - PEO a longo e médio prazo, utilizando uma base de dados e interfaces amigáveis.

Um dos principais objetivos para o desenvolvimento foi a criação de um sistema totalmente baseado nos conceitos de Análise e Programação Orientados a Objetos e na utilização de software livres em toda a estrutura do sistema desenvolvido, deixando assim uma liberdade para os usuários executarem, copiarem, distribuírem, estudarem e modificarem, possibilitando o aperfeiçoamento contínuo.

O Sistema de Apoio ao Planejamento Energético - SAPE 2007, foi desenvolvido em Java e C++.

**Palavras-Chave:** Planejamento Energético, Sistema Hidrotérmico de Geração, Java, C++.

# *Abstract*

The present study was developed in order to reengineer and obtain a Decision Support System - SAD - which integrates the work with many different long and medium term models from the Hydrothermal Energetic Operation Planning chain, using a database and friendly interfaces.

One main purpose for developing such a system was the use of concepts from Object-Oriented Analysis and Programming and Free Software, while abstracting components and architecture. This will give potential users the freedom to execute, copy, distribute, study and modify case studies, delivering a continuous feedback and meliorating the computational system as well.

The Energetic Planning Decision Support System - SAPE - 2007 was implemented using Java and C++

**Key words:** Energetic Planning, Hydrothermal Generation Systems, Java, C++

# *Sumário*

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Lista de Tabelas</b>                                | <b>xi</b> |
| <b>Lista de Siglas</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>1 Introdução</b>                                    | <b>3</b>  |
| 1.1 Motivação . . . . .                                | 3         |
| 1.2 Objetivo . . . . .                                 | 4         |
| 1.3 Estrutura da Dissertação . . . . .                 | 5         |
| <b>2 A Tomada de Decisão</b>                           | <b>7</b>  |
| 2.1 Problema . . . . .                                 | 7         |
| 2.2 Processos de tomada de decisão . . . . .           | 8         |
| 2.3 Classificação dos Problemas . . . . .              | 9         |
| 2.4 Modelos . . . . .                                  | 12        |
| <b>3 Sistemas de Apoio à Decisão</b>                   | <b>13</b> |
| 3.1 Definição . . . . .                                | 13        |
| 3.2 Evolução dos Sistemas de Apoio à Decisão . . . . . | 14        |
| 3.3 Características e capacidades de um SAD . . . . .  | 16        |
| 3.4 Arquitetura do SAD . . . . .                       | 18        |

|          |                                                                  |           |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>O Problema de Planejamento da Operação Energética</b>         | <b>25</b> |
| 4.1      | Setor Elétrico . . . . .                                         | 25        |
| 4.2      | Características do Sistema Elétrico Brasileiro . . . . .         | 25        |
| 4.3      | O Planejamento da Operação Energética . . . . .                  | 27        |
| 4.3.1    | A cadeia de planejamento da operação . . . . .                   | 28        |
| 4.3.2    | Modelos utilizados no planejamento da operação . . . . .         | 30        |
| <b>5</b> | <b>Concepção do Sistema</b>                                      | <b>32</b> |
| 5.1      | SAPE 2007: Sistema de Apoio ao Planejamento Energético . . . . . | 32        |
| 5.2      | O Software Livre . . . . .                                       | 33        |
| 5.3      | Ferramentas Utilizadas . . . . .                                 | 35        |
| 5.4      | Engenharia de Software . . . . .                                 | 36        |
| 5.5      | O que é Engenharia de Software? . . . . .                        | 37        |
| 5.6      | Por que usar Engenharia de Software? . . . . .                   | 37        |
| 5.7      | Paradigmas da Engenharia de Software . . . . .                   | 38        |
| 5.8      | Gerenciamento de Projetos . . . . .                              | 40        |
| 5.9      | Requisitos e Análise . . . . .                                   | 40        |
| 5.10     | Projeto e Implementação . . . . .                                | 41        |
| 5.11     | Teste de Software . . . . .                                      | 42        |
| 5.12     | Manutenção . . . . .                                             | 42        |
| 5.13     | Qualidade de Software . . . . .                                  | 43        |
| 5.14     | Ferramentas CASE . . . . .                                       | 43        |
| 5.15     | O Paradigma da Programação Orientada a Objetos . . . . .         | 44        |

|          |                                                                                     |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.16     | Por que usar Orientação a Objetos ? . . . . .                                       | 44        |
| 5.17     | Modelagem do Sistema . . . . .                                                      | 45        |
| 5.18     | Linguagem de modelagem UML <i>Unified Modeling Language</i> . . . . .               | 46        |
| 5.19     | A Linguagem de Programação Java . . . . .                                           | 49        |
| 5.20     | Características . . . . .                                                           | 50        |
| <b>6</b> | <b>Apresentação do Sistema</b>                                                      | <b>52</b> |
| 6.1      | Análise do Sistema Computacional . . . . .                                          | 52        |
| 6.1.1    | Identificação das Necessidades . . . . .                                            | 52        |
| 6.1.1.1  | Domínio do sistema . . . . .                                                        | 52        |
| 6.1.1.2  | Requisitos do sistema . . . . .                                                     | 53        |
| 6.2      | Visão de Caso de Uso . . . . .                                                      | 53        |
| 6.2.1    | Diagrama de Classes do SAPE 2007 . . . . .                                          | 65        |
| 6.2.2    | Modelo Relacional do Banco de Dados . . . . .                                       | 66        |
| <b>7</b> | <b>Estudo de Caso - SAPE</b>                                                        | <b>67</b> |
| 7.0.3    | Planejamento de Médio Prazo: Estudo de Caso . . . . .                               | 67        |
| 7.0.4    | Estudo de Caso com o Sistema de Varredura do Otimizador<br>Determinístico . . . . . | 74        |
| 7.0.5    | Estudo de Caso com o Despacho Econômico Termoelétrico . . . . .                     | 76        |
| 7.0.6    | Estudo de Caso com o Otimizador de Longo Prazo . . . . .                            | 78        |
| <b>8</b> | <b>Conclusões</b>                                                                   | <b>82</b> |
|          | <b>Referências</b>                                                                  | <b>84</b> |

## *Lista de Tabelas*

|    |                                                                    |    |
|----|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Categoria de Controle X Tipos de Decisão = Suporte Necessário . .  | 11 |
| 2  | Evolução do Conceito de SAD . . . . .                              | 16 |
| 3  | Cadastrar Usuários . . . . .                                       | 55 |
| 4  | Gerenciar Cenário . . . . .                                        | 55 |
| 5  | Configurar Otimizador . . . . .                                    | 56 |
| 6  | Configurar Mercado . . . . .                                       | 56 |
| 7  | Configurar Otimizador Determinístico . . . . .                     | 57 |
| 8  | Configurar Varredura do Otimizador Determinístico . . . . .        | 57 |
| 9  | Configurar Otimizador de Longo Prazo . . . . .                     | 58 |
| 10 | Configurar Simulador . . . . .                                     | 58 |
| 11 | Executar Otimizador Determinístico . . . . .                       | 59 |
| 12 | Executar Varredura do Otimizador Determinístico . . . . .          | 59 |
| 13 | Executar Otimizador de Longo Prazo . . . . .                       | 60 |
| 14 | Executar Simulador . . . . .                                       | 60 |
| 15 | Visualizar Gráficos do Otimizador Determinístico . . . . .         | 61 |
| 16 | Visualizar Gráficos Varredura do Otimizador Determinístico . . . . | 61 |
| 17 | Visualizar Gráficos Varredura do Otimizador de Longo Prazo . . . . | 62 |
| 18 | Visualizar Gráficos do Simulador . . . . .                         | 62 |

|    |                                                                     |    |
|----|---------------------------------------------------------------------|----|
| 19 | Visualizar Relatório do Otimizador Determinístico . . . . .         | 63 |
| 20 | Visualizar Relatório Varredura do Otimizador Determinístico . . . . | 63 |
| 21 | Visualizar Relatório do Otimizador de Longo Prazo . . . . .         | 64 |
| 22 | Visualizar Relatório do Simulador . . . . .                         | 64 |

## *Lista de Siglas*

**SAD** - Sistema de Apoio à Decisão

**SIG** - Sistemas de Informação Gerencial

**MIS** - Management Information Systems

**SDG** - Sistema de Decisão Gerencial

**SIE** - Sistemas de Informação Executiva

**ES** - Engenharia de Software

**OLAP** - On-Line Analytical Processing

**SGDB** - Sistema de Gerenciador de Banco de Dados

**PDE** - Programação Dinâmica Estocástica

**DET** - Despacho Econômico Termoelétrico

**FSF** - Free Software Foundation

**RAD** - Rapid Application Development

**ASP** - Active Server Pages

**CASE** - Computer Aided Software Engineering

**OO** - Orientação a Objetos

**UML** - Unified Modeling Language



**UM** - Unified Method

**OMG** - Object Management Group

**RUP** - Rational Unified Process

# ***1 Introdução***

Este capítulo apresenta o propósito e as motivações para o desenvolvimento deste trabalho.

## **1.1 Motivação**

Antes de os meios de comunicação divulgarem notícias sobre a possibilidade da falta de energia elétrica no ano de 2002, acontecimento que foi batizado de “Apagão”, muito se falava e pouco se fazia sobre economia de energia, previsão de consumo, aumento no setor de geração de energia elétrica. Mediante os problemas apresentados, podem ser traduzidos como a determinação de uma estratégia de geração que minimize o custo de operação em cada unidade do sistema durante o horizonte de planejamento. Tal estratégia deve assegurar o atendimento da demanda ao sistema de maneira econômica e confiável minimizando o custo da complementação termoelétrica. Pois um erro, por menor que seja, acarretará em grandes prejuízos para a empresa distribuidora de energia que refletirá na tarifa ao usuário final. Com isso, desenvolveu-se inúmeras técnicas de previsão de carga utilizando várias áreas do conhecimento que vão desde a Estatística até sistemas que usam Inteligência Artificial.

A energia elétrica está absolutamente incorporada ao cotidiano das pessoas, trazendo conforto e desenvolvimento, dando suporte aos avanços tecnológicos e processos industriais, fato que torna imprescindível o planejamento e a regulação

da oferta deste produto.

Para se ter um planejamento da operação energética de um sistema de geração de energia elétrica é preciso definir estratégias para atender as necessidades do mercado ao menor custo, considerando aspectos de qualidade e confiabilidade. As estratégias estabelecidas devem assegurar o atendimento da demanda ao sistema de maneira econômica e confiável, minimizando a geração e o custo da complementação termoelétrica, e devem contemplar desde a otimização plurianual dos reservatórios até o despacho horário das usinas, levando em conta restrições operativas.

O sistema brasileiro apresenta grandes bacias hidrográficas interligadas e reservatórios de capacidade e regularização plurianual e uma dependência entre as decisões tomadas ao longo do horizonte de planejamento. Como toda energia hidráulica disponível é limitada, uma decisão tomada no presente deve assegurar uma menor complementação de geração térmica não só no presente, mas também deve garantir que a geração futura não estará comprometida. O estado atual do sistema depende do passado, podendo afetar estados futuros.

O Brasil tem um sistema que se caracteriza como um problema de grande porte, ou seja, existe uma necessidade muito grande de estudo para o planejamento, caracterizando-se como um problema estocástico, devido a aspectos como dependência das condições climáticas e do mercado a ser atendido.

Não se deve esquecer também das restrições de uso da água para navegação, irrigação, controle de cheias e saneamento. A interdependência operativa entre usinas da mesma bacia hidrográfica deve ser respeitada.

## **1.2 Objetivo**

Neste trabalho, apresenta-se um Sistema de Apoio à Decisão - SAD para suporte ao planejamento da operação energética, denominado SAPE 2007 (Sistema

de Apoio ao Planejamento Energético) que tem como fonte de inspiração o SAPE, que pode ser conhecido em detalhes em Vinhal(1994).

O objetivo é construir um sistema para agregar os modelos utilizados na resolução dos problemas do planejamento da operação energética, com enfoque nos planejamentos de médio e longo prazos. O sistema é desenvolvido sob o paradigma da programação orientada a objetos, utilizando software livre.

Deve-se destacar que os algoritmos de otimização e simulação aqui utilizados, eram anteriormente dependentes de compiladores específicos, foram recompilados em compiladores de uso livre. Não foi feita nenhuma alteração de estrutura nestes, tarefa que pode ser objetivos de trabalhos futuros.

O SAPE 2007 utiliza-se de modelos matemáticos para apresentar seus resultados. O sistema apresenta uma interface amigável e de fácil interação com o usuário. Foi concebido sob o paradigma da orientação a objetos, levando em consideração a utilização de software livre em todas as etapas do processo, exceção do sistema operacional, caso em que se utiliza o Windows mas podendo ser utilizado em sistemas operacionais Linux.

Com relação à implementação, optou-se pela linguagem de programação Java pelo fato de ser uma linguagem orientada a objeto, facilitando o desenvolvimento.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho é composto de duas partes. Uma parte contém todo o embasamento teórico para entendimento do trabalho, enquanto a outra parte apresenta a implementação da solução proposta. Com isso este trabalho se estendeu para o desenvolvimento de oito capítulos no total, descritos a seguir.

O Capítulo 1 refere-se à motivação e objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento do trabalho. No capítulo 2 são apresentados os conceitos da tomada de decisão. Em seguida, no Capítulo 3 é mostrada uma estrutura conceitual, bem

como uma metodologia para que se classifique e justifique o uso de um Sistema de Apoio à Decisão.

O Capítulo 4 apresenta o problema do planejamento da operação, bem como as características do sistema elétrico brasileiro e o planejamento da operação energética. Em seguida, o Capítulo 5 trata da concepção do sistema, abordando conceitos sobre o software livre, ferramentas utilizadas, o paradigma da orientação a objetos, engenharia de software e conceitos sobre as linguagens de modelagem e de programação utilizadas.

O Capítulo 6 traz a parte de análise de todo o sistema computacional e, no capítulo 7, apresenta-se o sistema com os diagramas referentes à sua modelagem, um estudo de caso para o planejamento a médio prazo, um estudo utilizando a Programação Dinâmica Estocástica.

O Capítulo 8 apresenta uma série de conclusões sobre o projeto e possibilidades de melhorias em trabalhos futuros.

## 2 *A Tomada de Decisão*

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a tomada de decisão, teoria utilizada no desenvolvimento do trabalho.

### 2.1 Problema

O processo de decisão inicia-se com a existência de um problema, que se caracteriza quando há insatisfação gerada por diferença de estados <sup>1</sup>. Resolver problema significa eliminar a insatisfação e ao mesmo tempo atingir o estado desejado. O estado desejado se constitui no objetivo central da decisão. Pode ocorrer que o estado desejado inclua uma série de estados de um conjunto de objetos que caracterizem conflitos. A presença de objetivos conflitantes tende a dificultar a solução de um problema e, por isso, nem sempre uma solução é capaz de resolvê-lo. Apenas parte do problema é considerado resolvido se o nível de insatisfação for apenas reduzido pela solução implementada e o estado desejado for atingido apenas parcialmente. Neste caso a solução encontrada pode ter sido apenas “satisfatória”.

---

<sup>1</sup>Os estados definem a situação dos componentes dos sistemas num dado momento, incluindo suas propriedades e suas respectivas associações.

## 2.2 Processos de tomada de decisão

Simon (1960) descreveu o processo de tomada de decisão compondo-o em três fases: inteligência, projeto e escolha. Posteriormente, foi incluída uma quarta fase, a implementação, que também pode ser encontrada em Sprague (1980). A inteligência é utilizada na procura por problemas no ambiente de análise, isto é, a necessidade de tomar uma decisão. A fase de projeto engloba o desenvolvimento de caminhos alternativos para a resolução de um problema. Já a escolha consiste na análise de alternativas e na seleção de uma alternativa para a implementação.

Assim, pode-se pensar em uma sequência que começa na Inteligência e chega na Implementação. Neste percurso entre uma fase e outra pode existir um feedback para as fases anteriores. Dentro de cada fase pode-se encontrar outras divisões. A Figura 1 apresenta o processo de tomada de decisão.

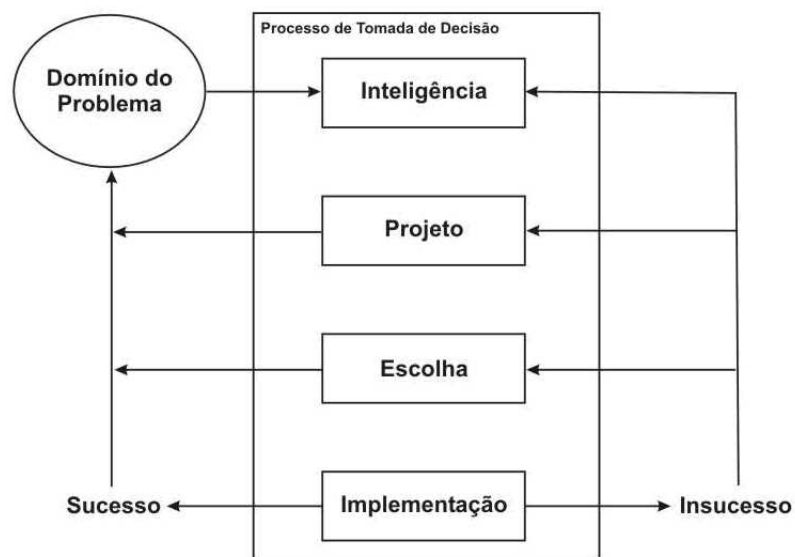


Figura 1: Processo de Tomada de Decisão

A etapa de **Inteligência** é a etapa em que se procura diagnosticar o problema e classificá-lo, utilizando os padrões propostos por Gorry e Scott (1971). É nesta etapa que mais se necessita de informações sobre o problema.

Na etapa de **Projeto** procura-se por cursos de ação ou alternativas de solução, construindo um modelo que descreva o problema real. Nesta etapa é importante obter modelos simplificados, quantitativos e/ou qualitativos do problema. Estes modelos, juntamente com informação, serão os insumos básicos para gerar as alternativas ou cursos de ação.

Na etapa de **Escolha** as alternativas ou cursos de ação passam por um processo de seleção, conduzido pelo tomador de decisões, visando eleger a solução mais adequada. Nesta etapa é fundamental o papel de metodologias de escolha formal que, inclusive, captem as preferências e minimizem os riscos da decisão.

A etapa de **Implementação** é a fase em que se executa a solução escolhida na fase anterior através de uma ferramenta adequada.

Como foi mostrado na fase de Inteligência, uma boa definição do problema garante uma certa segurança nas informações obtidas para as etapas posteriores. Assim, a fase de Inteligência é uma das mais importantes, pois todas as outras dependem dos seus resultados.

Deve-se ter bem claro que uma fase não elimina a outra. O processo pode ser adaptativo e, após a implementação das soluções, pode-se criar uma estratégia de correção e desvio, em que os resultados obtidos são analisados e correções são implementadas para desviar ou alterar as soluções numa direção desejada (TURBAN, 1998).

## 2.3 Classificação dos Problemas

Uma estrutura de classificação clássica, proposta por Gorry e Scott (1971), combina a classificação baseada em grades de tempo proposta por Antony (1965) com uma classificação baseada no grau de estruturação (estruturados e não-estruturados) dos problemas de decisão proposta por Simon (1960).

Os problemas a serem resolvidos podem ser:



1. Estruturados;
2. Não-estruturados;
3. Semi-estruturados.

Um problema é dito estruturado se sua definição e fases de operação para atingir os resultados desejados estão bem definidas, sendo que sua repetida execução é sempre possível. Um problema semi-estruturado possui operações bem conhecidas, mas contém algum fator ou critério variável que pode influir em seu resultado. Finalmente, um problema é considerado não-estruturado se tanto os cenários quanto os critérios de decisão não estiverem fixados ou conhecidos.

As atividades gerenciais, consistindo em três componentes, podem ser descritas da seguinte forma:

1. O **Planejamento Estratégico** que envolve as políticas de longo termo (um ano ou mais). A informação é geralmente agregada e o problema é caracterizado por um alto grau de incerteza com relação ao futuro;

2. O **Controle Tático** envolve a utilização eficiente de recursos, o horizonte de tempo é mais curto (alguns meses a 1 ano). Existe uma pequena incerteza;

3. O **Controle operacional** envolve uma distribuição eficiente e efetiva dos recursos da forma prevista no Planejamento estratégico. Os horizontes de tempo se resumem a dias ou mesmo horas e o nível de incerteza é baixo. As informações necessitam ser extremamente detalhadas revelando especificidades do problema.

Por Gorry e Scott (1971) integrar as categorias de atividades gerenciais e as descrições de tipos de decisão. A Tabela 1 mostra essa integração e o tipo de sistema que pode ser utilizado para a resolução de cada tipo de problema.

Tabela 1: Categoria de Controle X Tipos de Decisão = Suporte Necessário

|                                  | Operacional                                                | Gerencial                                                                                                          | Estratégico                                                                   | Tipo de Suporte                                                               |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Estruturado                      | Contas a receber, contas a pagar e ordem de compra.        | Análise de orçamento, previsão a curto prazo, relatório personalizado.                                             | Gerenciamento financeiro, localização do depósito, sistema de distribuição.   | Sistema de informação gerencial, modelos científicos e processo de transação. |
| Semi-Estruturado                 | Programação de produção, controle de inventário.           | Avaliação de crédito, de orçamento, layout da fábrica, projeto de sistema de recompensa, inventário por categoria. | Construção de uma nova fábrica, plano de fusão e aquisição de novos produtos. | SAD, KMS, GSS, CRM e SCM                                                      |
| Não-Estruturado                  | Escolher um assunto para uma revista, comprar um software. | Negociação, recrutar um executivo, comprar um hardware.                                                            | Desenvolvimento de nova tecnologia, plano de responsabilidade social.         | GSS, KMS, ES e redes neurais.                                                 |
| Suporte de Tecnologia Necessária | Sistema de informação gerencial, gerenciamento científico. | Gerenciamento científico, SAD, ES, EIS, SCM, CEM, GSS, SCM.                                                        | GSS, CRM, EIS, ES, redes neurais e KMS.                                       |                                                                               |

## 2.4 Modelos

Um modelo é uma representação simplificada ou abstração da realidade. Ele é normalmente simplificado porque a realidade pode ser muito complexa para se descrever exatamente e porque muitos aspectos são irrelevantes para a resolução de um problema específico. Modelos podem representar problemas com vários níveis de abstração e podem ser classificados como:

1. **Modelos de Escala:** é o modelo menos abstrato, uma réplica física do sistema. Pode ser tridimensional, como um avião, um carro ou linha de produção, como também pode ser bidimensional, como uma fotografia;

2. **Modelos Analógicos:** o modelo analógico se comporta como um sistema real, mas não se parece com ele. É mais abstrato que o modelo de escala e é uma representação simbólica da realidade. Podem ser modelos físicos, mas a forma do modelo difere do sistema atual. Pode ser um diagrama de fluxo, um mapa geográfico, uma animação, vídeos, etc e

3. **Modelos Matemáticos (Quantitativos):** A complexidade muitas vezes não pode ser representada por modelos de escala ou analógicos. Então, modelos mais abstratos são descritos matematicamente.

Alguns dos benefícios dos modelos são:

1. O custo de experiências virtuais é muito mais baixo que em um real sistema;
2. Modelos permitem a compressão simulada de tempo. Anos de operação podem ser simulados em segundos;
3. Manipular o modelo (mudando variável) é muito mais fácil que manipulando o sistema real, e
4. O modelo permite ao gerente melhorar negociações duvidosas introduzindo muitas condições e calculando os riscos envolvidos em ações específicas.

## ***3    Sistemas de Apoio à Decisão***

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre sistemas de apoio à decisão, teoria utilizada no desenvolvimento do trabalho.

### **3.1   Definição**

A literatura disponível sobre Sistemas de Apoio à Decisão não apresenta um consenso sobre a definição dos mesmos. Alguns autores definem como apresentado a seguir:

Para Efraim Turban,

“Um Sistema de Apoio à Decisão - SAD é um sistema (de informação) baseado em computadores que combina modelos e dados, com grande envolvimento dos utilizadores, e que visa resolver problemas flexível e adaptável, desenvolvido para auxiliar na solução de um problema particular de planeamento e melhorar o processo de tomada de decisão pouco/não estruturados ” (TURBAN, 1998).

Já para R.H Sprague,

“Um SAD é um sistema de informação que apóia qualquer processo de tomada de decisão em áreas de planeamento estratégico, controle gerencial e controle operacional ” (SPRAGUE, 1980).

## 3.2 Evolução dos Sistemas de Apoio à Decisão

Até a década de 60 a preocupação existente estava relacionada com a capacidade de armazenar e recuperar os dados. Em meados dessa mesma década surgem os primeiros Sistemas de Informação Gerencial - SIG do inglês *Management Information Systems - MIS* criados pelas grandes empresas para gerar relatórios periódicos.

Na década 70, Peter Keen e Stabell foram os primeiros a utilizarem o conceito de Suporte à Decisão, apoiados nos estudos de Organização na Tomada de Decisão nas décadas de 50 e 60 no *Carnegie Institute of Technology* e Técnicas de Trabalho em Sistemas Interativos de Computação no *Massachusetts Institute of Technology* na década de 60.

Em 1971, o livro *Management Decision Systems: Computer-Based Support for Decision Making* foi publicado por M. S. Scott. O autor foi o pioneiro a publicar um modelo-básico de sistema de apoio à decisão, criando a implementação pioneira que foi o Sistema de Decisão Gerencial - SDG, utilizado para coordenar o plano de produção de equipamentos de lavanderia.

Neste mesmo ano T. P. Gerrity publica o artigo *The Design of Man-Machine Decision Systems: An Application to Portfolio Management* no qual desenvolve um sistema para gerenciar as contas de investimentos dos seus clientes no dia-a-dia.

Em 1974 G. Davis publica *Management Information Systems: Conceptual Foundations, Structure, and Development*, que reafirma os conceitos do SIG e inclui substanciais extensões dos conceitos já existentes. Este autor define o Sistema de Informação Gerencial, fornece os conceitos para a transformação dos Sistemas de Informação Gerenciais em Sistemas de Apoio à Decisão.

Em 1975, J. D. C. Little expande as teorias existentes sobre os modelos de apoio computacional. O autor identifica critérios para o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão, tais como: robustez, simplicidade, fácil controle e detalhes

relevantes e completos. Desenvolve o *braindaid*, um dos primeiros SAD.

Peter G. W. Keen e Michael Scott Morton publicaram o livro escolar *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*, livro que compreendia desde análise, projeto, implementação até avaliação e desenvolvimento de SAD.

Em 1980, Steven Alter publicou sua tese de doutorado que resultou no livro *Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenge*. O estudo de Alter expande a idéia de Framework para a de gerenciamento de SAD.

Em 1981, Bonczek, Holsapple e Whinston's publicaram um livro em que teorizam sobre a criação de um *Framework* que comportasse todos os aspectos dos SAD existentes. Esses autores identificam os componentes comuns a todos os SAD.

Em 1982, Ralph Sprague e Eric Carlson, publicaram o livro *Building Effective Decision Support Systems*, que foi um marco prático para o entendimento em construção de um SAD.

Após um período de dez anos, em que os pesquisadores estudaram os Sistema de Apoio à Decisão Gerenciais, os Sistemas de Informação Executiva - SIE do inglês *Executive Information Systems - EIS* foram o novo marco na evolução dos SAD. Esse tipo de sistema baseia-se na capacidade de utilização de uma interface para compartilhamento de informações entre diferentes bancos de dados relacionais.

Na década de 90, surge o conceito de *Data Warehousing*<sup>1</sup> que foi definido por Ralph Kimball como “um *data warehouse* deve ter os dados corretos para apoiar a tomada de decisão sendo parte significativa de um SAD” (KIMBALL, 1998), e *On-Line Analytical Processing* - OLAP e a partir desse ponto começam a reinar os SIE e surge uma grande categoria de sistemas que utilizam interface de comunicação para acesso de dados em outros.

---

<sup>1</sup>É um processo em andamento que aglutina dados de fontes heterogêneas, incluindo dados históricos e dados externos.

Tabela 2: Evolução do Conceito de SAD

| Evolução dos Conceitos de SAD |          |               |                |
|-------------------------------|----------|---------------|----------------|
| 1960s                         | 1970s    | 1980s         | 1990s          |
| SIG e Relatórios Estruturados | brandaïd | Livros Chaves | Data Warehouse |

### 3.3 Características e capacidades de um SAD

Não há um consenso na definição exata de um SAD. A Figura 2 trata de uma lista com características e capacidades ideais dos SADs, talvez por excesso, mas com a importância de chamar a atenção para aspectos relevantes, baseadas nas definições de Turban (2004).

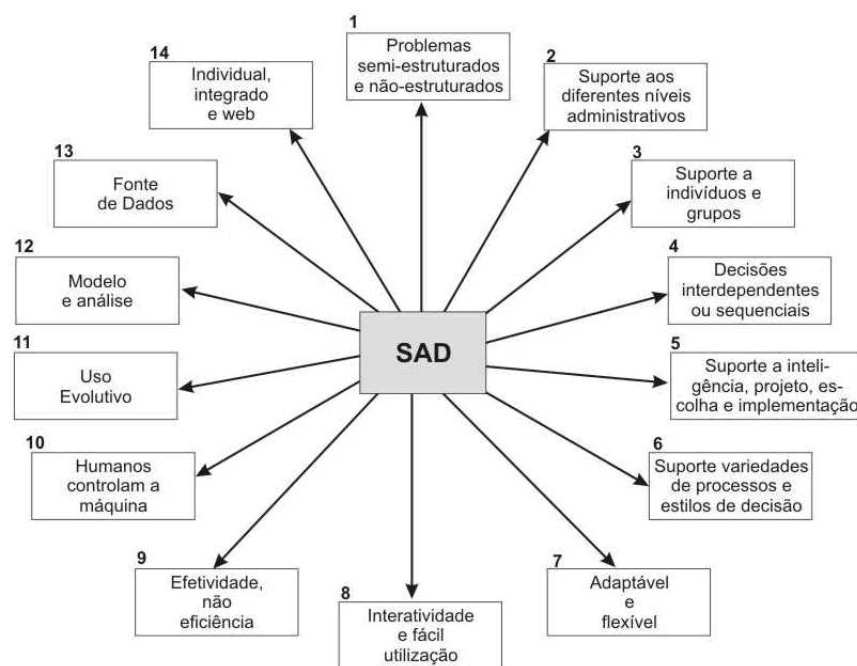


Figura 2: Características e capacidades ideais de um SAD

Onde:

1. Apoio à tomada de decisão, principalmente em processos semi-estruturados

e não-estruturados, reunindo julgamento humano e informação computadorizada.

2. Suporte aos vários níveis da cadeia administrativa.
3. Suporte estendido tanto a indivíduos quanto a grupos. Problemas menos estruturados requerem freqüentemente o envolvimento de vários indivíduos de diferentes departamentos e níveis organizacionais, ou até mesmo organizações diferentes. Suportam equipes virtuais através de ferramentas WEB.
4. Apoio à decisões interdependente e/ou seqüenciais.
5. Apoio a todas as fases do processo de tomada de decisão: inteligência, projeto, escolha e implementação.
6. Suporte a uma variedade de processos e estilos de tomada de decisão.
7. O SAD deve ser adaptável. A tomada de decisão deve ser reativa, capaz confrontar condições variáveis rapidamente. Um SAD deve ser flexível, assim os usuários podem adicionar, excluir, combinar, mudar ou reorganizar elementos básicos.
8. O SAD deve apresentar uma interface amigável, com boa interatividade.
9. O SAD deve melhorar a efetividade da tomada de decisão (precisão, oportunidade e qualidade) e não sua eficiência (custo de tomada de decisão).
10. O tomador de decisão tem controle completo sob todos os passos do processo. O SAD deve apoiar e não substituir o julgamento humano.
11. O usuário final deve poder construir e modificar sistemas simples. Sistemas maiores podem ser construídos com a ajuda de especialistas em sistemas de informação.
12. Um SAD normalmente utiliza modelos para analisar situações.



13. O SAD tem acesso a uma variedade de fontes de dados que podem ser de diferentes formatos e tipos.
14. Pode ser empregado como uma ferramenta individual de tomada de decisão, integrado com outro SAD e/ou aplicação, pode ser usado em rede e tecnologias *Web*.

## 3.4 Arquitetura do SAD

Uma aplicação SAD pode ser composta dos seguintes subsistemas:

1. **Subsistema de Gerenciamento de Dados.** Inclui um banco de dados que deverá conter os dados relevantes para a situação/problema em questão. A base de dados é gerida por software designado por Sistema de Gerenciador de Banco de Dados - SGDB.

O **Subsistema de Gerenciamento de Dados** é composto pelos seguintes elementos:

1. Banco de Dados do SAD;
2. SGDB;
3. Diretório de dados;
4. Facilitador de consultas.

Um **banco de dados** é uma coleção de dados relacionados e organizados para representar as necessidades e estrutura de uma organização, podendo ser usado por mais de um usuário e para mais de uma aplicação. Os dados podem ser extraídos de fontes internas e/ou externas.

Um **banco de dados** é criado, acessado e alterado através de um SGDB. A maioria dos SAD são construídos em um SGDB relacional padrão com as ca-

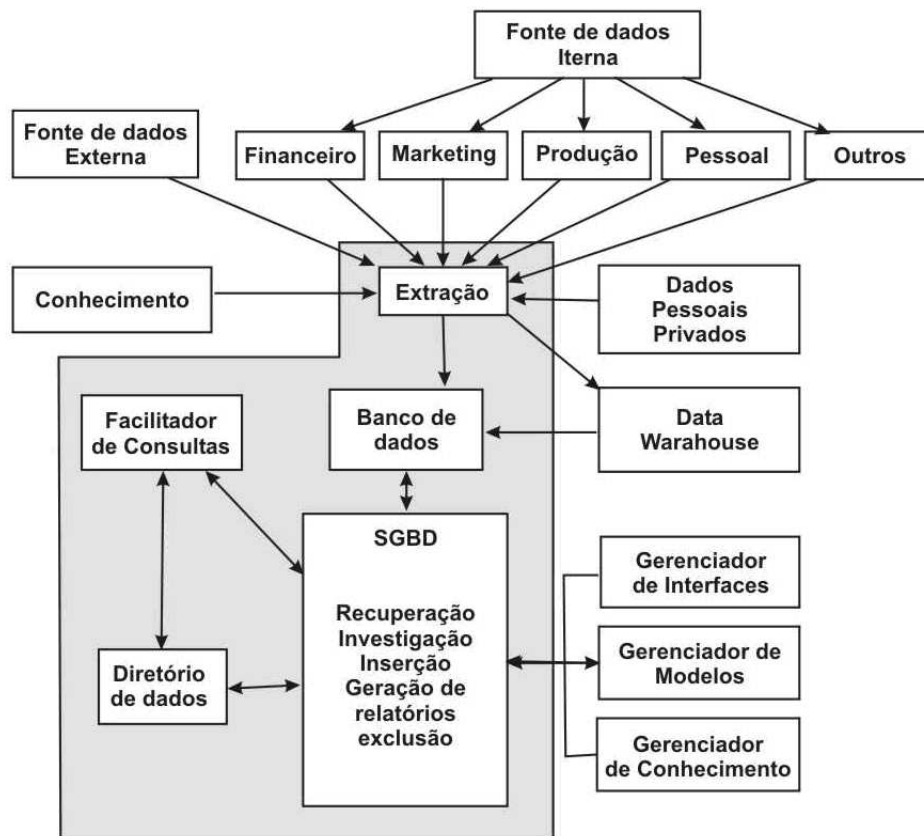


Figura 3: Subsistema de Gestão de Dados

pacidades convencionais, tais como extração de dados, *updates*, relacionamentos, manipulação via *System Query Language - SQL* entre outras.

O **diretório de dados** é um catálogo de todos os dados no banco de dados. Contém definições de dados e sua função principal é responder perguntas sobre a disponibilidade de cada item, sua fonte e seu significado exato. O **diretório** é especialmente apropriado para apoiar a fase de inteligência do processo de tomada de decisão. Como qualquer outro catálogo, o diretório de dados permite a adição, exclusão e recuperação de informação.

O **facilitador de consultas** realiza as tarefas de acesso, manipulação e consultas de dados através de instruções SQL.

Os elementos do Subsistema de Gerenciamento de Dados são mostrados esquematicamente na Figura 3. A figura ilustra a interação entre o subsistema e outras partes do SAD.

2. **Subsistema de Gerenciamento de Modelos.** Poderá incluir modelos diversos como estatísticos, de otimização, de gestão e outros modelos quantitativos, proporcionando ao sistema capacidade analítica fundamental e o software adequado de gestão. O software é frequentemente apelidado de Sistemas de Gestão de Modelos.

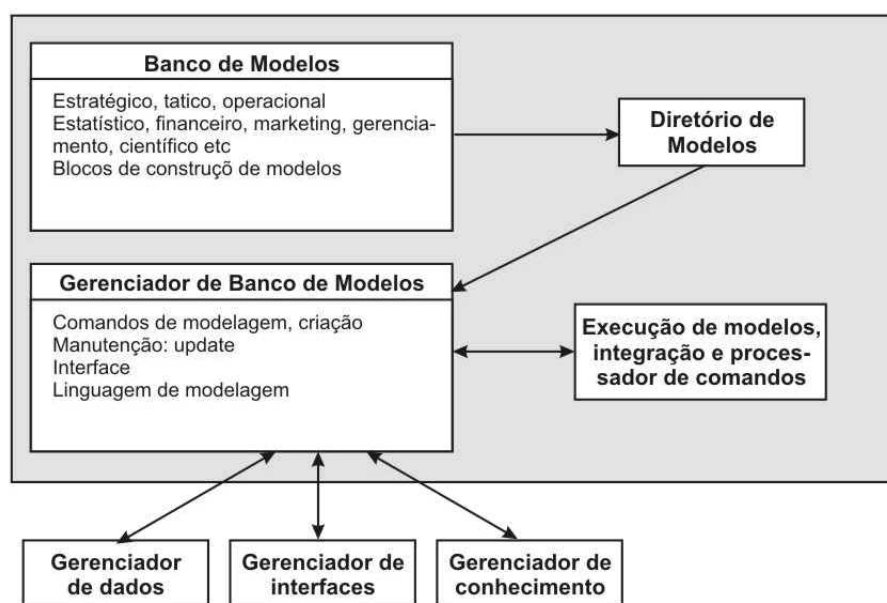


Figura 4: Subsistema de Gestão de Modelos

O Subsistema de Gerenciamento de Modelos é composto pelos seguintes elementos:

1. Banco de modelos;
2. Gerenciador de Banco de Modelos;
3. Linguagem de modelagem;

4. Diretório de Modelos;
5. Execução de modelo, integração e processador de comandos.

Um **banco de modelos** contém rotinas e modelos estatísticos, financeiros, administrativos e outros modelos quantitativos que provêm as capacidades de análise em um SAD. A habilidade para invocar, executar, mudar, combinar e inspecionar modelos é uma das capacidades chaves do SAD em quatro categorias principais: estratégica, tática, operacional e analítica.

A função básica do software **gerenciador do banco** de modelos é a criação de modelos utilizando linguagem de programação, manipulação de dados em modelos e criação de rotinas novas.

O papel do **diretório de modelos** é semelhante ao do diretório de banco de dados. É um catálogo de todos os modelos e outros softwares na base de modelos. Contém definições de modelos e sua função principal é responder questões sobre a disponibilidade e capacidade dos modelos.

A execução de modelo é o processo de controlar a operação atual do modelo. Integração de modelo envolve combinação entre as operações de vários modelos ou quando é preciso integrar o SAD com outras aplicações. O processador de comandos recebe instruções através de interface de usuário e dirige instruções para o gerenciador do banco de modelos, execução do modelo ou integração do modelo.

**3. Subsistema de interface com o usuário.** É por este subsistema que o utilizador comunica e comanda o SAD. De qualquer modo, o utilizador é considerado como parte do sistema, dada a forte (e necessária) interação existente.

O Subsistema de interface com o usuário cobre todos os aspectos de comunicação entre um usuário e do SAD.

Não só inclui o hardware e software, mas também fatores que tratam de facilidade de uso, acessibilidade e interações do homem com a máquina. A interface é o componente que permite flexibilidade e facilidade de uso do SAD. As capaci-

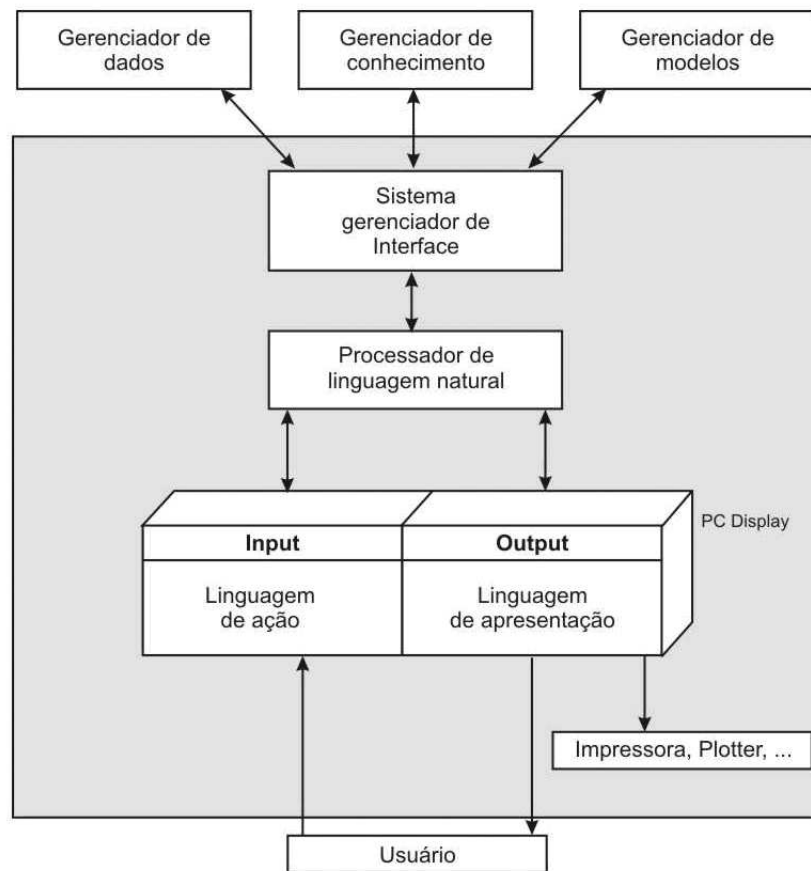


Figura 5: Subsistema de Interface com o utilizador

dades importantes desse subsistema, destacadas por Turban (2004), devem incluir as seguintes características:

1. Interação por diferentes estilos de diálogo;
2. Comodidade ao usuário com vários dispositivos de entrada;
3. Apresentação de dados com uma variedade de formatos e dispositivos de saída;
4. Suporte ao usuário;
5. Interações com o banco de dados e de modelos;

6. Armazenar dados de entrada e saída;
7. Exibição de gráficos em cores e tridimensionais;
8. Apresentação de janelas diferentes para permitir exibição de funções múltiplas concorrentemente;
9. Treinamento aos usuários através de exemplos e
10. Flexibilidade para se adaptar a problemas e tecnologias diferentes.

O **subsistema de interface** com o usuário é administrado por um sistema gerenciador composto de vários programas que provêm as características listadas acima.

O usuário interage com o computador por uma linguagem de ação processada pelo sistema gerenciador de interface. Em sistemas avançados o componente de interface com o usuário inclui um processador de linguagem natural ou pode usar objetos padrões de uma *Graphical User Interface - GUI*, um mecanismo de interação entre usuário e sistema de computador baseado em símbolos visuais, como ícones, menus e janelas. Através de um dispositivo de entrada (normalmente, um mouse ou teclado) o usuário é capaz de selecionar esses símbolos e manipulá-los de forma a obter algum resultado prático. Os resultados obtidos a partir da intervenção do usuário podem ser emitidos através do monitor, impressora, áudio ou qualquer outro dispositivo de saída de dados. O sistema gerenciador de interface permite ao usuário interagir com o subsistema gerenciador de modelos e o subsistema gerenciador de dados.

**4. Subsistema de gerenciamento de conhecimento:** Poderá ou não existir em um SAD. Existindo, poderá ajudar qualquer um dos outros componentes ou então ser mais um instrumento para aumentar a capacidade/inteligência do SAD.

Muitos problemas não-estruturados e semi-estruturados são tão complexos que as suas soluções requerem peritos. Isso pode ser provido por um sistema especialista ou um sistema inteligente. Então, os SADs mais avançados são equipados com

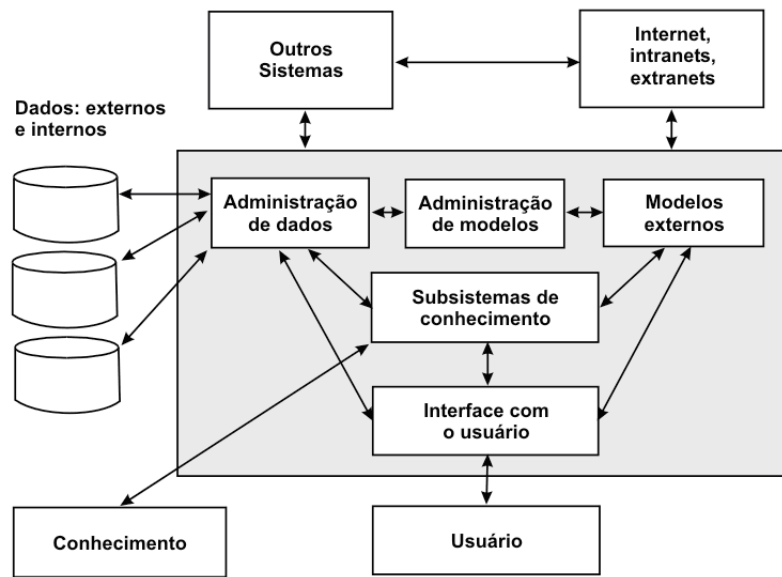


Figura 6: Subsistema de gerenciamento de conhecimento

um componente chamado **subsistema de gerenciamento de conhecimento**. Este componente pode prover as perícias exigidas para resolver alguns aspectos do problema e pode prover conhecimento para aumentar a operação de outros componentes do SAD.

O **componente de gerenciamento de conhecimento** pode ser composto por um ou mais sistemas especialistas. Como no gerenciamento de dados e modelos, o gerenciador de conhecimento proporciona a necessária execução e integração dos sistemas inteligentes. Um Sistema de Apoio de Decisão que inclui tal componente é chamado SAD inteligente.

## ***4 O Problema de Planejamento da Operação Energética***

Neste capítulo é apresentado o planejamento da operação energética de sistemas hidrotérmicos de geração e sua divisão em horizontes de planejamento de curto, médio e longo prazos.

### **4.1 Setor Elétrico**

O Brasil teve seu setor elétrico reestruturado em meados da década passada, seguindo tendências de mercados internacionais. Esse fato trouxe modificações mercadológicas, inserindo a competição entre agentes.

### **4.2 Características do Sistema Elétrico Brasileiro**

A energia elétrica é um componente de grande importância na estrutura industrial. Para maior segurança de fornecimento e para melhorar a operação e o planejamento econômico, os sistemas de fornecimentos de energia elétrica geralmente são considerados como mercados de produção e consumo, ou seja, opera de forma interligada. Há décadas esses sistemas vinham sendo constituídos de empresas detentoras exclusivas de áreas de concessão. Os consumidores de uma área



eram obrigados a comprar energia do detentor da concessão. A crise do petróleo de 1974 fez aumentar a preocupação em reduzir, também, os preços de energia elétrica. Uma vez que muitas fontes de gerações termelétricas utilizam derivados do petróleo como combustível. Com isso vários países modificaram suas legislações e, assim, quebraram os monopólios, privados e estatais e introduziram a competição. Após a década de 70, o setor elétrico brasileiro entrou em declínio, tendo como principais motivos o endividamento externo do setor, a recessão e a estagnação da demanda, e a utilização das suas empresas, desde o início da década, pelo governo federal para atingir metas econômicas e políticas de seus planos de governos. O modelo de monopólio estatal, para esse setor, exauriu-se por todos esses motivos apresentados e o governo, por pressões interna e externa ao setor, decidiu pela reestruturação e a privatização das empresas. Vendo que nosso país possui um dos maiores potenciais energéticos do mundo e, mesmo não tendo muitas reservas de combustíveis fósseis, os potenciais hidráulicos e da irradiação solar são suficientemente abundantes para garantir a auto-suficiência energética do país atualmente.

Se, do lado da oferta de energia as condições são relativamente confortáveis, do lado da demanda há enormes descompassos e desafios para a sociedade brasileira. Tanto na periferia de grandes centros urbanos como em regiões remotas e pouco desenvolvidas, as formas convencionais de suprimento energético não atendem às condições socioeconômicas da maior parte da população. Portanto, é preciso que cada fonte ou recurso energético seja estrategicamente aproveitada, visando à maximização dos benefícios proporcionados e à minimização dos impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade (ANEEL, 2002).

O setor elétrico brasileiro tem características extremamente complexas em se tratando da parte operativa, devido ao seu porte e número de participantes envolvidos. Há grandes sistemas de geração (predominantemente hidráulicos) distantes dos centros de consumo, o que exige longas linhas de transmissão e, assim, exigindo as interligações entre subsistemas regionais. Essa concepção permite ganhos econô-

micos de escala e uso otimizado de recursos naturais, porém também aumenta as perdas energéticas e possibilita uma maior vulnerabilidade. Assim o planejamento de sua operação se torna uma tarefa complexa, pois deve-se buscar, a cada instante um ponto de operação ótimo dos pontos de vista energético e econômico.

## 4.3 O Planejamento da Operação Energética

Há no Brasil um parque gerador de energia elétrica em que no qual predomina a geração hidráulica. O problema do planejamento da operação energética no sistema brasileiro apresenta algumas características que se destacam conforme se pode ver abaixo:

- Existe uma certa limitação no estoque de energia hidrelétrica, sob a forma de água armazenada nos reservatórios do sistema, não permitindo assim a separação do problema da operação hidrotérmica no tempo, pois existe uma relação entre a decisão operativa, tomada em um certo estágio, e as futuras conseqüências de se tomar esta decisão;
- A não-linearidade da função de produção hidráulica;
- O sistema é composto por várias usinas hidrelétricas em uma mesma cascata, ou seja, em um mesmo rio. Existe a interdependência das decisões decorrente do acoplamento hidráulico entre as usinas;
- Este problema é considerado estocástico, uma vez que as afluições futuras ao reservatório não são conhecidas no instante da tomada de decisão;
- Portanto, o sistema interage dinamicamente com o meio ambiente. Isso significa que o meio ambiente, para o qual está se fazendo um planejamento, está continuamente mudando de maneira que afeta o próprio sistema que se está planejando.

Conforme se vê acima o planejamento da operação é bastante complexo. Para contornar esse problema costuma-se dividir o planejamento em etapas, segundo seu horizonte de estudo. Uma abordagem muito utilizada divide o problema em: planejamento de longo prazo, planejamento de médio prazo e planejamento de curto prazo,(CRUZ,1998).

#### 4.3.1 A cadeia de planejamento da operação

**Planejamento de Longo Prazo.** O planejamento de longo prazo considera a operação em um horizonte de alguns anos, com discretização mensal, para sistemas constituídos de grandes reservatórios e com grande capacidade de regularização. Os sistemas hidráulico e térmico são representados, respectivamente, por um único reservatório equivalente, expressos em termos de energia, e uma única unidade térmica equivalente. As vazões naturais, representadas por uma afluência equivalente em termos de energia, apresentam um alto grau de incerteza, portanto, a representação da estocasticidade das afluências deve ser considerada. O objetivo é avaliar as condições de atendimento dos requisitos de mercado, em termos de economia e confiabilidade energética. No caso do sistema brasileiro o horizonte considerado é de 5 anos em base mensal.

**Planejamento de Médio Prazo.** O planejamento de médio prazo apresenta um menor grau de incertezas sobre as afluências e o objetivo é determinar uma política mensal (ou semanal) de operação individualizada para cada unidade geradora, atendendo as suas restrições operativas e a demanda global a cada intervalo e de acordo com os custos definidos no planejamento de longo prazo. O problema de planejamento de médio prazo tem como objetivo a determinação de uma decisão de operação individualizada que considere o acoplamento hidráulico e as possíveis diversidades hidrológicas entre os rios. As afluências e demandas utilizadas podem ser previstas por modelos de séries temporais.

**Planejamento de Curto Prazo.** Neste planejamento as metas de geração das

usinas são semanais, com base no que foi estabelecido pelos planejamentos da operação a médio e longo prazos. O objetivo é a compatibilização da operação energética, ou seja, o planejamento de curto prazo fornece à operação em tempo real uma referência, visando assegurar a confiabilidade e a economia energética do sistema. Nesta etapa consideram-se restrições elétricas.

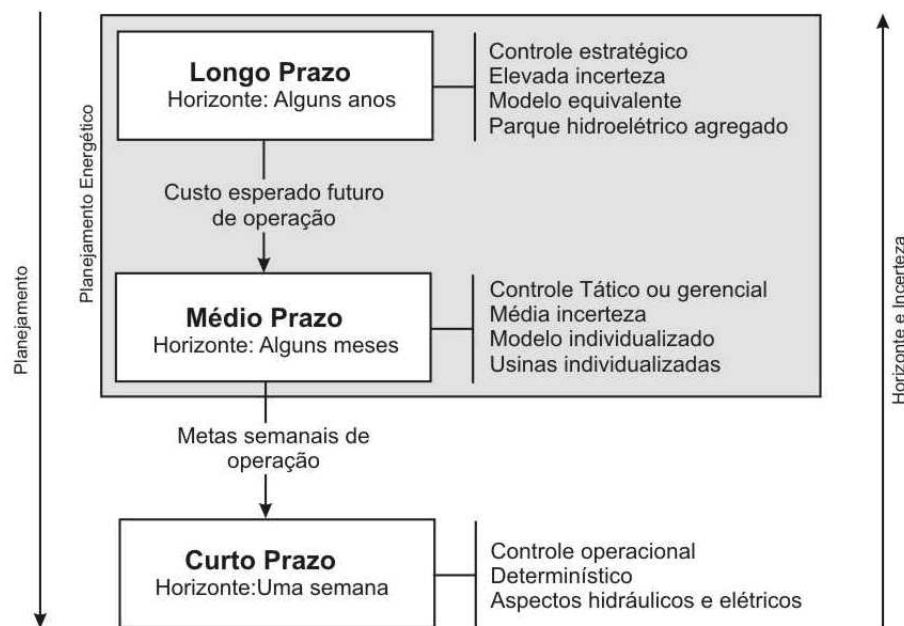


Figura 7: Cadeia de Planejamento Energético

A cadeia de planejamento da operação pode ser dividida em planejamento energético e elétrico da operação, em que o planejamento energético é representado pelas etapas de médio e longo prazos, nos quais os aspectos hidráulicos e estocásticos do problema são considerados com maior relevância. Abordagens mais recentes continuam dividindo o problema em apenas duas etapas (CICOGNA 2004), (MARQUES, 2006).

Cadeias de coordenação hidrotérmica têm sido propostas na literatura especializada procurando explorar as características específicas dos sistemas hidrotérmicos

considerados (PEREIRA,1985). A cadeia de coordenação hidrotérmica proposta em (CICOGNA, 2004) foi composta por duas etapas:

**Planejamento da Operação:** Etapa com horizonte de até cinco anos e discretização mensal, sendo o primeiro mês discretizado em semanas. Nessa etapa o objetivo principal é o gerenciamento otimizado dos reservatórios de acumulação das usinas hidrelétricas visando a minimização dos custos esperados de complementação do mercado através de geração termelétrica, importação e racionamento.

**Programação da Operação:** Etapa com horizonte de até uma semana e discretização horária, sendo o primeiro dia discretizado em meias-horas. Nessa etapa o objetivo principal é o atendimento da carga respeitando restrições energéticas, hidráulicas e elétricas dos sistemas de geração e transmissão. Do ponto de vista energético, as restrições são representadas pelas metas de geração das usinas hidrelétricas estabelecidas pelo planejamento da operação para a semana em consideração, podendo chegar a duas semanas. Do ponto de vista hidráulico, as restrições correspondem aos limites operacionais das usinas, aos usos múltiplos da água, e aos tempos de viagem da água entre usinas em cascata. Do ponto de vista elétrico, as restrições correspondem aos limites de transmissão e as restrições de segurança da rede elétrica.

#### 4.3.2 Modelos utilizados no planejamento da operação

O **planejamento de longo prazo** apresenta alto grau de incerteza em relação às afluências e ao mercado. Esse fato implica em considerar o problema essencialmente estocástico, devendo ser resolvidos por algoritmos de Programação Dinâmica Estocástica - PDE.

No **planejamento de médio prazo**, o problema pode ser tratado como determinístico. Uma técnica que pode ser utilizada na resolução deste problema

baseia-se em uma estrutura de rede com arcos capacitados (fluxos) onde a cascata de usinas é expandida no horizonte de tempo pré-determinado T. Cada nó da rede representará de forma individualizada as usinas da cascata. Um algoritmo de resolução foi implementado e se chama Programa de Otimização de Sistemas Hidrotérmicos - POSH (CICOGNA, 1999).

O **problema do planejamento de curto prazo** é, em geral, tratado como um problema determinístico, pois consegue-se obter uma boa previsão de afluência e de carga (baixo grau de incerteza).

Uma visão mais ampla, destacando a representação matemática dos modelos pode ser encontrada em Cicogna(1999),Cruz Jr(1994) e Cruz Jr (1998),Vinhai(1994) e Vinhal(1998).

## **5    *Concepção do Sistema***

Este capítulo tem como objetivo fornecer uma visão sobre o concepção e o desenvolvimento do sistema, apresentando aspectos relativos à análise, modelagem e implementação do mesmo, bem como as tecnologias e ferramentas utilizadas e a parte de engenharia de software.

### **5.1   SAPE 2007: Sistema de Apoio ao Planejamento Energético**

O SAPE 2007 é um Sistema de Apoio à Decisão baseado em modelos que se apoiam na programação matemática e modelos de simulação que representam situações de decisão e permitem uma avaliação das decisões tomadas. Foi implementado com o objetivo de dar suporte à decisão no planejamento energético da operação.

O SAPE 2007 foi concebido levando em consideração a utilização de software livre, exceção ao sistema operacional, nesse caso o Windows, que foi escolhido por atender as necessidades e, ainda, ser o sistema operacional mais acessível ao grande público, o que não impede o sistema de rodar em uma plataforma GNU, como Linux.

Os modelos utilizados são o Programa de Otimização de Sistemas Hidrotérmicos - POSH e o Modelo Equivalente - ME, Modelo Markoviano - MM e a Programação Dinâmica Estocástica - PDE, algoritmos previamente implementados

em linguagem C para rodar em uma estação SUN SPARC IPX (VINHAL,1994) e (VINHAL,1998), (CRUZ JR, 1998).

O primeiro passo do trabalho foi identificar os dados de entrada, reescrevê-los, compilá-los, e assim gerar novos executáveis dos arquivos C de cada modelo para a plataforma Windows. Para este projeto, foram utilizados os arquivos referentes ao Otimizador Determinístico, e os módulos empregados pelo mesmo, como o Varredura do Otimizador Determinístico e o módulo para resolução do despacho econômico termoeletrico - DET, Modelo Equivalente juntamente com o Modelo Markoviano e a Programação Dinâmica Estocástica.

Para compilar os arquivos foi utilizado o DEV-C++, um software livre que será detalhado nas próximas seções. As únicas modificações feitas nos arquivos C dos modelos originais foram no sentido de adaptação às características do compilador e do sistema operacional. O SAPE 2007 trata os modelos como entidades independentes (caixa preta), de forma que o contato entre o sistema e os modelos não vai além do conhecimento necessário das estruturas dos dados de entrada e saída.

Nas próximas seções apresentamos uma breve introdução sobre o software livre e as ferramentas utilizadas neste projeto, o paradigma da orientação a objetos, engenharia de software, modelagem do sistema e a linguagem utilizada.

## 5.2 O Software Livre

Software Livre, ou Free Software, conforme a definição criada pela *Free Software Foundation - FSF*, é o software que pode ser usado, copiado, estudado, modificado e redistribuído sem restrição. A forma usual de um software ser distribuído livremente é sendo acompanhado por uma licença de software livre (como a GPL), e com a disponibilização do seu código-fonte.

Software Livre é diferente de software em domínio público. O primeiro, quando



utilizado em combinação com licença típica (como a licença GPL), garante os direitos autorais do programador/organização.

O Software Livre como movimento organizado teve início em 1983, quando Richard Stallman deu início ao Projeto GNU e, posteriormente, à *Free Software Foundation - FSF*.

Software Livre se refere à existência simultânea de quatro tipos de liberdade para os usuários do software, definidas pela *Free Software Foundation - FSF*. Anota-se abaixo uma explicação sobre as 4 liberdades, baseada no texto em português da Definição de Software Livre publicada pela FSF:

As 4 liberdades básicas associadas ao software livre são:

1. A liberdade de executar o programa, para qualquer propósito (liberdade nº 0);
2. A liberdade de estudar como o programa funciona, e adaptá-lo para as suas necessidades (liberdade nº 1). Acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade;
3. A liberdade de redistribuir cópias de modo que você possa ajudar ao seu próximo (liberdade nº 2);
4. A liberdade de aperfeiçoar o programa, e liberar os seus aperfeiçoamentos, de modo que toda a comunidade se beneficie (liberdade nº 3). Acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade.

Um programa é considerado software livre se os usuários têm todas essas liberdades. Portanto, o usuário deve ser livre para redistribuir cópias, seja com ou sem modificações, seja de graça ou cobrando uma taxa pela distribuição, para qualquer um em qualquer lugar. Ser livre para fazer essas coisas significa que o usuário não tem que pedir ou pagar pela permissão, uma vez que esteja de posse do programa.

O usuário deve também ter a liberdade de fazer modificações e usá-las privativamente no seu trabalho ou lazer, sem nem mesmo mencionar que elas existem. Se o usuário publicar as modificações, o usuário não deve ser obrigado a avisar a ninguém em particular, ou de nenhum modo em especial.

A liberdade de utilizar um programa significa a liberdade para qualquer tipo de pessoa física ou jurídica utilizar o software em qualquer tipo de sistema computacional, para qualquer tipo de trabalho ou atividade, sem que seja necessário comunicar ao desenvolvedor ou a qualquer outra entidade em especial.

A liberdade de redistribuir cópias deve incluir formas binárias ou executáveis do programa, assim como o código-fonte, tanto para as versões originais quanto para as modificadas. De modo que, para que a liberdade de fazer modificações, e de publicar versões aperfeiçoadas, tenha algum significado, deve-se ter acesso ao código-fonte do programa. Portanto, acesso ao código-fonte é uma condição necessária ao software livre.

Para que essas liberdades sejam reais, elas têm que ser irrevogáveis desde que o usuário não faça nenhuma modificação que venha prejudicar o usuário final. Caso o desenvolvedor do software tenha o poder de revogar a licença, mesmo que o usuário não tenha dado motivo, o software não é livre.

## 5.3 Ferramentas Utilizadas

Para a implementação do SAPE 2007 foram utilizadas as seguintes ferramentas:

**Netbeans IDE 5.5.** Conjunto de bibliotecas, módulos, formando um ambiente integrado de desenvolvimento visual e possibilitando ao desenvolvedor compilar, debugar, efetuar e gerar os executáveis de suas aplicações. É um produto open source, 100% Java e que possui vários módulos de expansão, que podem ser baixados do próprio site <http://www.netbeans.org> (NetBeans, 2006). É utilizado para desenvolver software utilizando a linguagem de programação

orienta a objetos Java.

**MySql 1.4.** Sistema de gerenciamento de banco de dados relacional baseado em *Structured Query Language - SQL*, é um software open source e está disponível em versões para rodar em vários sistemas operacionais. Pode ser baixado no endereço eletrônico <http://dev.mysql.com/downloads/> (MySql, 2007).

**Wgnuplot** . O aplicativo Wgnuplot é destinado à visualização de gráficos e superfícies, úteis em aplicações científicas nas áreas de física, matemática, estatística, engenharias, etc. Este aplicativo é de domínio público e tem versões para o Windows e Linux. A obtenção do aplicativo nas diversas plataformas, com exemplos de aplicações e manuais, pode ser feita através do endereço eletrônico <http://www.gnuplot.info/> (WgnuPlot, 2007).

**Dev-C++.** Ambiente de Desenvolvimento Integrado do inglês *Integrated Development Environment - IDE* para programação na linguagem C/C++. Ele usa a porta Mingw do *GNU Compiler Collection - GCC* como seu compilador. O programa cria executáveis nativas no Win32, console. Dev-C++ é gratuito e de código aberto e é totalmente escrito em Delphi. O Dev-C++, bem como sua documentação, podem ser encontrados no endereço eletrônico <http://www.bloodshed.net/devcpp.html> (Dev-C++, 2007).

## 5.4 Engenharia de Software

O processo de construção de um sistema é uma atividade de engenharia: Engenharia de Software - ES. Como tal, precisa seguir um conjunto de métodos e técnicas para a correta construção do produto, no caso, um software. O objetivo deste tópico é descrever os principais métodos, ferramentas e procedimentos na ES, destacando os seus principais aspectos, numa tentativa de oferecer uma visão geral sobre esta área, para que aqueles que estejam envolvidos no processo de desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão possam efetivamente utilizar

esses métodos para a melhoria do processo e do produto, com benefícios diretos para a instituição, seus usuários e colaboradores.

## 5.5 O que é Engenharia de Software?

Bauer (1972) define a Engenharia de Software como, “ o estabelecimento e uso de sólidos princípios de engenharia para que se possa obter um software economicamente viável, que seja confiável e que funcione eficientemente em máquinas reais”.

De qualquer forma, Pressman (1995) destaca que, ainda que várias definições tenham sido dadas à ES, esta abrange um conjunto de três elementos fundamentais: métodos, ferramentas e procedimentos. Os métodos detalham o *como fazer* para se construir o software; as ferramentas proporcionam apoio automatizado ou semi-automatizado aos métodos, e os procedimentos constituem o elo de ligação que mantém juntos os métodos e suas ferramentas, e possibilita um processo de desenvolvimento claro, eficiente, visando garantir ao desenvolvedor e seus clientes a produção de um software de qualidade.

## 5.6 Por que usar Engenharia de Software?

Nos últimos 20 anos, o hardware deixou de ser o item mais caro na implementação de um sistema, enquanto que o custo relacionado ao software cresceu e se tornou o principal item no orçamento da computação. Isso se deve principalmente à crescente complexidade dos problemas a serem resolvidos pelos softwares. Sistemas como os de Apoio à Decisão chegam a possuir milhões de linhas de código e envolve uma equipe complexa para o seu desenvolvimento. Aliado a isso, alguns problemas inerentes ao processo de desenvolvimento de um software começaram a surgir (PRESSMAN, 1995): as estimativas de prazo e de custo freqüentemente são imprecisas, a produtividade das pessoas da área de software não tem acompanhado

a demanda por seus serviços e a qualidade de software às vezes é menor que a adequada, ocorrendo muito freqüentemente a insatisfação do usuário. A chave para se vencer esses problemas e dificuldades é a larga utilização de uma abordagem de engenharia ao desenvolvimento de software, aliada a uma contínua melhoria das técnicas e ferramentas, no intuito também de melhorar a produtividade da equipe (PRESSMAN, 1995). Dessa forma, pode-se destacar duas tendências para justificar o uso da ES: primeiro, o software é um item de alto custo e em progressivo aumento e, segundo, os softwares têm um importante papel no bem-estar da sociedade (BOEHM, 1981).

## 5.7 Paradigmas da Engenharia de Software

No processo de desenvolvimento de um software, um conjunto de etapas deve ser definido, o qual é denominado Paradigmas da Engenharia de Software (PRESSMAN, 1995), também conhecido como Modelos de Ciclo de Vida de Software.

Destacam-se alguns paradigmas (DAVIS, 1997): o ciclo de vida clássico (waterfall, Figura 8), o modelo incremental, o evolucionário, o concorrente, a prototipação e o modelo espiral. Deve ser lembrado ainda que se pode combinar os paradigmas, obtendo-se um melhor resultado.

Independentemente do paradigma a ser utilizado, três fases genéricas dividem o processo de desenvolvimento (PRESSMAN, 1995):

- **Definição:** esta fase focaliza *o quê* (análise do sistema, planejamento do projeto de software e análise de requisitos);
- **Desenvolvimento:** focaliza *o como* fazer (projeto de software, codificação e realização de testes do software) e
- **Manutenção:** concentra-se nas *mudanças* (correção, adaptação e melhoramento funcional).

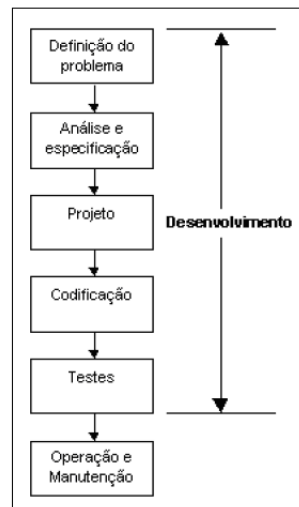


Figura 8: Ciclo de vida clássico do software

A prototipação traz bons resultados, principalmente quando o cliente não tem exatidão na declaração do problema. A construção de protótipos em projeto de um SAD deve ser extensamente utilizada, pois são sistemas complexos e necessitam de um alto nível de colaboração do usuário no processo de desenvolvimento.

O **modelo espiral** é baseado no princípio do desenvolvimento incremental, no qual novas funções são adicionadas a cada ciclo de desenvolvimento. Análise, especificação, projeto, implementação e homologação são repetidas a cada ciclo, gerando uma nova versão do software e permitindo um *feedback* mais imediato do usuário (DEGOULET e FIESCHI, 1997).

É importante destacar que existem no mercado diversas metodologias de ES que criaram novos paradigmas, combinando e aproveitando os melhores conceitos das outras metodologias. Nesse ponto deve-se destacar a metodologia *Rational Unified Process - RUP* da Rational Inc. como sendo uma das principais metodologias utilizadas atualmente no mundo, principalmente em conjunto com a ferramenta *Computer-Aided Software Engineering - CASE*, engenharia de software auxiliado por computador, *Rational Rose* (JACOBSON, BOOCH e RUMBAUGH, 1999).

## 5.8 Gerenciamento de Projetos

O gerenciamento de projetos deve abranger todo o desenvolvimento, sendo praticado em cada etapa do processo. Uma das primeiras atividades de gerenciamento é o chamado Estudo de Viabilidade. Sua proposta é justificar a necessidade para o desenvolvimento do sistema, tanto do ponto de vista técnico e organizacional como financeiro (custos), através do estudo de índices como Retorno sobre Investimento (DAVIS, 1998).

## 5.9 Requisitos e Análise

O primeiro passo na construção de um sistema deve ser o entendimento de *o quê* será desenvolvido, através do levantamento dos requisitos e sua análise. Os requisitos se referem às necessidades dos usuários, do sistema, de custos e prazos. A especificação dos requisitos é de suma importância, pois a maior parte dos erros encontrados durante os testes e a operação dos sistemas são derivados de pouco entendimento ou má interpretação dos requisitos (RAMAMOORTHY, 1984; DE-GOULET e FIESCHI, 1997). Com isso, é de fundamental importância a compreensão total dos requisitos para que se obtenha sucesso no desenvolvimento de um software, gerando benefícios como: a aceitação de todos os envolvidos (usuários, desenvolvedores, etc.), servirá de base para estimativas (custos, prazos, equipe, etc.), melhora da usabilidade, melhoria da manutenibilidade e de outros atributos de qualidade do sistema, cumprimento das metas com os recursos previstos, dentre outros (DORRFMAN, 1997). A análise de requisitos visa também garantir uma estrutura de dados adequada, para que futuras aplicações, tais como ensaios clínicos, por exemplo, possam ser implementados e contar com todas as informações necessárias (DOLIN, 1997).

Após os requisitos, segue-se a análise do problema a ser informatizado. Existem diversas técnicas para análise e modelagem de sistemas, tais como: análise

estruturada, análise orientada a objeto *Object-Oriented Analysis - OOA*, modelagem de dados, dentre outras. Atualmente destaca-se a OOA que introduziu uma série de novos conceitos. A OOA traz vários benefícios, tais como: funcionalidades complexas podem ser desenvolvidas com uma codificação menor e melhor; um rápido desenvolvimento é alcançado em comparação a outros métodos e as aplicações são mantidas mais facilmente (DAVIS, 1998).

Com a evolução dos processos, sentiu-se a necessidade de se ter uma linguagem unificada que se tornasse poderosa o suficiente para modelar qualquer tipo de aplicação. Dessa necessidade surgiu a *Unified Modeling Language - UML*, uma linguagem padrão para especificar, visualizar, documentar e construir artefatos de um sistema.

## 5.10 Projeto e Implementação

Enquanto as fases de requisito e análise concentram-se no *o quê*, a solução fará, o projeto descreve *como* o software será implementado (VON MAYRHAUSER, 1990). A fase de projeto também pode ser vista como um aprofundamento da análise caminhando em direção a implementação do sistema. É durante a fase de projeto que a estrutura geral e o estilo do sistema, bem como a sua arquitetura, são definidos (RUMBAUGH, 1994).

Além do projeto de dados e da programação Orientada a Objetos., deve-se também elaborar um Projeto de Interface, que estabeleça o layout e os mecanismos de interação homem-máquina (PRESSMAN, 1995). O estudo da interface com o usuário é de fundamental importância no desenvolvimento de um SAD, no qual uma interação adequada é necessária para se conquistar a adesão dos usuários ao sistema. Assim, conceitos como usabilidade, bem como uma série de recomendações para a interface, tornam-se importantes para garantir o sucesso de um SAD. A interface deve ser intuitiva, fácil de usar e acessível para os não especialistas.

Após o projeto, segue-se a codificação, também chamada de implementação.



Esta fase é uma simples questão de tradução do projeto para um código, já que as decisões mais difíceis já foram tomadas durante a fase de projeto (RUMBAUGH, 1994). Existe hoje as ferramentas do tipo *Rapid Application Development - RAD* que permitem ao usuário um rápido desenvolvimento, baseado em conceitos de re-usabilidade. Java, Visual Basic, Delphi e C++ são algumas das linguagens de programação mais usadas atualmente. Além disso, tecnologias específicas para o desenvolvimento de sistemas na Web, tais como o *Active Server Pages - ASP*, têm sido muito utilizadas nos últimos anos.

## 5.11 Teste de Software

Várias estratégias de testes podem ser implementadas para assegurar que o software está em acordo com suas especificações e livre de erros. Teste de sistema, teste de instalação e teste de aceitação são exemplos de técnicas que podem ser utilizadas (VON MAYRHAUSER, 1990). Os mais conhecidos são: o *alpha-test*, no qual o software é testado num ambiente controlado por alguns usuários e na presença dos desenvolvedores; e o *beta-test*, no qual o software é testado por um conjunto maior de usuários, que se propõem a dar um feedback aos desenvolvedores, caso alguma irregularidade seja encontrada. Muitas ferramentas *Computer-Aided Software Engineering - CASE* oferecem suporte automatizado ao processo de teste.

## 5.12 Manutenção

Em geral, a manutenção de software usualmente consome mais de 60% do custo no ciclo de vida de um software. Isso ocorre devido ao fato de os programadores, freqüentemente, serem negligentes durante as fases anteriores à implementação do software (RAMAMOORTHY, 1984). Dessa forma, para uma manutenção mais tranqüila e segura, deve-se utilizar extensamente a ES, que garantirá um design adequado e escalável para futuras modificações. Durante a manutenção, são re-

alizadas atividades corretivas, adaptativas e preventivas (PRESSMAN, 1995). A manutenção de um sistema SAD deve ser feita de maneira criteriosa, para evitar que alterações inseridas venham a prejudicar o funcionamento do sistema e implique em erros que possam causar sérios danos, principalmente aos dados analisados como, por exemplo, na disponibilização de informações incorretas.

## 5.13 Qualidade de Software

A ES é a responsável pelo controle da qualidade, fazendo com que o sistema atenda a todos os requisitos e atributos (RAMAMOORTHY, 1984), assumindo assim papel crítico na produção dos sistemas. A garantia de qualidade de software é uma atividade que deve ser aplicada ao longo de todo o processo de desenvolvimento, envolvendo revisões técnicas formais, múltiplas fases de teste, controle da documentação de software e das mudanças, procedimentos para garantir a adequação aos padrões e mecanismos de medição e divulgação (PRESSMAN, 1995).

## 5.14 Ferramentas CASE

Nos últimos anos, com a crescente complexidade das metodologias da ES, surgiram as ferramentas *Computer-Aided Software Engineering - CASE* - Engenharia de Software auxiliada por computador). Elas ajudam em todo o processo de desenvolvimento, desde o gerenciamento e análise e até mesmo na codificação. Entretanto, o uso dessas ferramentas ainda é pequeno. É importante se destacar que as ferramentas CASE aumentam a produtividade no desenvolvimento de grandes projetos de sistemas de informações.

## 5.15 O Paradigma da Programação Orientada a Objetos

Certamente, a forma mais moderna de abordagem no desenvolvimento de sistemas é a Análise e Projeto Orientado a Objetos *Object-Oriented Analysis and Design - OOAD* Rumbaugh (1994) define orientação a objetos como “uma nova maneira de pensar os problemas utilizando modelos organizados a partir de conceitos do mundo real. O componente fundamental é o objeto que combina estrutura e comportamento em uma única entidade”. Dizer que um software é orientado a objetos significa que ele é organizado como uma coleção de objetos separados, que incorporam tanto a estrutura como o comportamento dos dados. A Orientação a Objetos trouxe vários novos conceitos ao desenvolvimento de software, como Abstração, Encapsulamento, Objeto, Classe, Atributo, Operação, Método, Mensagem, Evento, Interface, Generalização, Herança e Polimorfismo (JACOBSON, 1996; FURLAN, 1998; FUSION, 1999).

## 5.16 Por que usar Orientação a Objetos ?

Quando bem empregada, a Orientação a Objetos traz diversas vantagens: reutilização, confiabilidade, modelo de sistema mais realístico, facilidade de manutenção, aumento da qualidade, maior produtividade e unificação do paradigma (da análise à implementação) (MARTIN e ODELL, 1992; JACOBSON, 1996; FUSION, 1999).

Muitos foram os métodos desenvolvidos para a aplicação da orientação a objetos no processo de análise e projeto. Metodologias como a de Booch, OMT, OOSE, Shlaer/Mellor, Coad/Yourdon, Martin/Odell, Wirfs/Brock e Embley/Kurtz são alguns exemplos (JACOBSON, 1996; FURLAN, 1998). Com o decorrer do tempo, as metodologias de Booch, a OMT (de Rumbaugh) e a OOSE (de Jacobson) evoluíram, seus autores se uniram e lançaram uma linguagem de notação unificada,

chamada *Unified Modeling Language - UML* e também lançaram uma metodologia orientada a objetos chamada *Rational Unified Process - RUP* (JACOBSON, BOOCH e RUMBAUGH, 1999), que abrange todo o processo de desenvolvimento de um sistema.

A Orientação a Objetos - OO é um paradigma que pode ser aplicado ao longo de todo o processo de construção do software. Dessa forma, tem-se as metodologias acima descritas, que atuam no processo de análise e projeto e, no ciclo de implementação, existem as tecnologias de back-end (banco de dados) e as de front-end (linguagens e ferramentas de programação) (FURLAN, 1998). Os Bancos de Dados têm evoluído no sentido de suportar a tecnologia OO. Inicialmente foram lançados bancos objeto-relacional que suportam apenas alguns dos conceitos OO, mantendo a estrutura do modelo relacional. As primeiras linguagens de programação orientadas a objetos apareceram em meados de 1966, como o Simula e, em 1972, o Smalltalk. Linguagens com maior penetração no mercado, tais como Pascal e C, evoluíram e criaram versões OO, como o C++, por exemplo. Outras linguagens, já criadas dentro do conceito da OO, como o Java, por exemplo, possibilitaram uma maior difusão do uso dessa tecnologia pelo mercado. Viu-se também o rápido crescimento de ambientes de desenvolvimento integrados, que permitem a construção visual dos sistemas de forma rápida e com uso de componentes previamente montados. São exemplos dessas linguagens/ferramentas o Visual Basic e o Delphi. A construção de componentes reutilizáveis foi outro grande benefício trazido pela OO. Atualmente, é possível construir softwares através do acoplamento de diversos componentes que embutem comportamentos específicos e que podem ser reutilizados em outros softwares.

## 5.17 Modelagem do Sistema

As metodologias de desenvolvimento de sistemas fazem uso de representações visuais para explicitar os conceitos e componentes que permitem comunicar a es-

estrutura, o comportamento e visualizar a arquitetura do sistema. No SAPE 2007 esta modelagem foi feita com base na notação *Unified Modeling Language - UML*, que atualmente é a linguagem padrão para a modelagem de sistemas de software baseados no paradigma de POO.

## 5.18 Linguagem de modelagem UML *Unified Modeling Language*

No tópico anterior, foi descrita a criação de várias metodologias Orientadas a Objeto - OO. Entretanto, era necessário um caminho comum. Então, James Rumbaugh e Grady Booch combinaram suas metodologias, OMT e Booch, respectivamente, através da *Rational Corporation*, nos Estados Unidos, e criaram um método comum: o *Unified Method - UM*, lançado em 1995. Em seguida, deu-se a adesão de Ivar Jacobson, outro grande metodologista, contribuindo com as idéias de sua metodologia. Esses três personagens lançaram, então, a *Unified Modeling Language - UML* versão 0.9 em 1996. A UML versão 1.1 foi submetida ao *Object Management Group - OMG* e aprovada como padrão mundial de linguagem de notação de projetos OO. O objetivo da UML é prover uma linguagem padrão que permita modelar um sistema, bem como visa dotar o mercado mundial de orientação a objetos de uma linguagem única de modelagem, que permita a troca de modelos de forma natural entre os construtores de softwares (FUSION, 1999). Com a UML é possível (MATTIAZZI, 1998): descrever eficazmente requisitos de software, caracterizar a arquitetura (lógica e física) de um sistema, focalizar na arquitetura em vez da implementação e direcionar programadores, aumentando a produtividade e diminuindo os riscos. Segundo Furlan (1998), “a UML é uma linguagem de modelagem, não uma metodologia”. Assim, na construção de um software, a UML deve ser usada em conjunto com uma metodologia de Engenharia de Software Orientada a Objetos, tais como a metodologia *Rational Unified Process - RUP* visto que a UML adapta-se melhor com paradigmas incrementais e similares. Por outro lado, a UML não se restringe a diagramas, ela apresenta

uma série de conceitos e recursos que facilitam a identificação de objetos e classes, associando-os aos requisitos do sistema, bem como oferece formas de planejar e gerenciar projetos baseados nesses requisitos (Mattiuzzi, 1998).

A UML apresenta os seguintes diagramas que, em conjunto, modelam todo o sistema (MATTIAZZI, 1998; FURLAN, 1998; FUSION, 1999):

- **Diagrama de Classe:** utilizado para representar as diversas classes de objetos do sistema, seus atributos e operações, bem como a associação entre cada uma delas (herança, generalização, composição, agregação, etc.);
- **Diagrama de Caso de Uso:** usado para demonstrar o relacionamento entre atores e casos de uso;
- **Diagramas de Seqüência:** tipo de diagrama de interação que apresenta a interação de seqüência de tempo dos objetos que participam na interação;
- **Diagrama de Colaboração:** tipo de diagrama de interação<sup>1</sup> que mostra uma interação dinâmica de um caso de uso e seus objetos relacionados;
- **Diagrama de Estado:** utilizado para demonstrar as seqüências de estados que um objeto assume em sua vida, em função do seu uso no sistema;
- **Diagrama de Atividade:** tipo de diagrama de estado no qual a maioria dos estados são ações. Descreve o fluxo interno de uma operação;
- **Diagrama de Componente:** usado para representar os diversos componentes dos sistemas e suas dependências;
- **Diagrama de Implantação:** utilizado para demonstrar elementos de configuração de processamento *run-time*.

---

<sup>1</sup>Diagrama de Interações: exibe uma interação, consistindo de um conjunto de objetos e seus relacionamentos, incluindo as mensagens que podem ser trocadas.

O uso de um tipo ou outro de diagrama depende, muitas vezes, do grau de detalhamento necessário para o desenvolvimento do sistema. Os diagramas de classe, de casos de uso e de sequência são os mais utilizados. Nas Figuras 9 e Figura 10 podem ser vistos exemplos desses diagramas. Há ainda diversos outros conceitos, como Pacote, Esteoreótipo, dentre tantos que a UML possui, fugindo ao escopo desta dissertação a explicação de cada um desses. Para um bom uso da UML, recomenda-se a utilização de ferramentas CASE, que ajudam na construção dos diagramas, dando suporte automatizado à notação. Hoje a maioria das ferramentas CASE já suportam a UML, sendo algumas totalmente direcionadas a esta. A UML, por outro lado, apresenta algumas deficiências (KUIKKA, 1999; GLINZ, 2000): não mostra precisamente os limites do sistema, não oferece uma visão geral da funcionalidade do sistema, é insuficiente para a descrição do fluxo de informações na instituição, não provê meios adequados para representar interações complexas entre casos de uso, dentre outras.

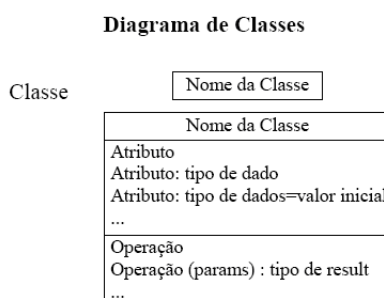


Figura 9: Exemplo de um Diagrama de Classe em UML

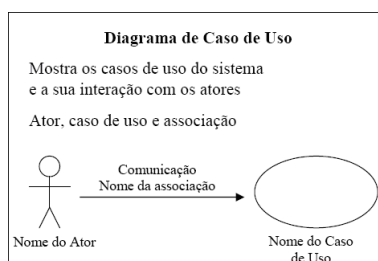


Figura 10: Exemplo de um Diagrama de Caso de Uso em UML

## 5.19 A Linguagem de Programação Java

Para implementar o SAPE 2007, foi escolhida a linguagem de programação Java. Este tópico apresenta as principais características da linguagem.

Java é uma linguagem de programação orientada a objeto desenvolvida pela SUN Microsystems. Modelada depois de C++, foi projetada para ser pequena, simples e portátil a todas as plataformas e sistemas operacionais, tanto o que se refere ao código-fonte como os binários. Esta portabilidade é obtida pelo fato de a linguagem ser interpretada, ou seja, o compilador gera um código independente de máquina chamado *byte-code*. No momento da execução, este *byte-code* é interpretado por uma máquina virtual instalada na máquina. Para utilizar a plataforma é necessário um hardware específico. Neste caso instala-se a máquina virtual (interpretador). Além de ser integrada à internet, Java também é uma excelente linguagem para desenvolvimento de aplicações em geral, oferecendo suporte ao desenvolvimento de software em larga escala.

Java é uma linguagem computacional completa, adequada para o desenvolvimento de aplicações baseadas na rede Internet e redes fechadas.

O alvo inicial era a produção de software para produtos eletrônicos de consumo (fornos de microondas, agendas eletrônicas, etc.). Um dos requisitos para esse tipo de software é ter código compacto e de arquitetura neutra.

A linguagem obteve sucesso em cumprir os requisitos de sua especificação, mas apesar de sua eficiência não conseguiu sucesso comercial. Com a popularização da rede Internet, os pesquisadores da Sun Microsystems perceberam que aquele seria um nicho ideal para aplicar a recém criada linguagem de programação. A partir disso, adaptaram o código Java para que pudesse ser utilizado em microcomputadores conectados à rede Internet, mais especificamente no ambiente da *World Wide Web*. Java permitiu a criação de programas batizados applets, que trafegam e trocam dados através da Internet e se utilizam da interface gráfica de um *web browser*. Os pesquisadores da SUN implementaram também o primeiro browser



compatível com a linguagem, o HotJava, que fazia a interface entre as aplicações Java e o sistema operacional dos computadores.

Com isso, a linguagem conseguiu uma grande popularização, passando a ser usada amplamente na construção de documentos web que permitam maior interatividade. Os principais *web browsers* disponíveis comercialmente passaram a dar suporte aos programas Java, e outras tecnologias em áreas como computação gráfica e banco de dados também buscaram integrar-se com o novo paradigma proposto pela linguagem: aplicações voltadas para o uso de redes de computadores.

Atualmente, a linguagem Java é a força propulsora por trás de alguns dos maiores avanços da computação mundial, como:

- Acesso remoto a bancos de dados
- Bancos de dados distribuídos
- Comércio eletrônico no WWW
- Interatividade em páginas WWW
- Interatividade em ambientes de Realidade Virtual distribuídos
- Gerência de Documentos
- Integração entre dados e forma de visualização
- Computação Distribuída
- Ensino à distância
- Jogos e entretenimentos

## 5.20 Características

Java é uma linguagem poderosa em ambientes distribuídos complexos como a rede Internet. Mas sua versatilidade permite ao programador ir além, oferecendo

uma poderosa linguagem de programação de uso geral, com recursos suficientes para a construção de uma variedade de aplicativos que podem ou não depender do uso de recursos de conectividade.

## **6    *Apresentação do Sistema***

Este capítulo tem como objetivo fornecer uma visão sobre o concepção e o desenvolvimento do sistema, apresentando aspectos relativos à análise, modelagem e implementação do mesmo.

### **6.1    Análise do Sistema Computacional**

#### **6.1.1    Identificação das Necessidades**

Os problemas enfrentados pelos profissionais da área de planejamento energético são os serviços manuais e a falta de organização das informações, e que será preciso implementar um sistema informatizado para poder gerenciar todos os dados possíveis.

- **6.1.1.1    Domínio do sistema**

O Núcleo de Estudo e Pesquisa em Energia - NEPE da Universidade Federal de Goiás, situado à Praça Universitária s/n, Bloco D, Setor Universitário, Goiânia - Goiás, com o objetivo de intermediar e a de ajudar, criou um grupo de pesquisa visando o estudo e desenvolvimento de ferramentas que ajudem ao Planejamento de Sistemas Energéticos. O Grupo seleciona alunos voluntários interessados e os encaminha para projetos como bolsistas de graduação, e alunos do mestrado para a realização de ações destinadas ao Planejamento Energético.

- **6.1.1.2 Requisitos do sistema**

No Planejamento Energético, foi detectado a necessidade de implantação de um sistema, que estabelecesse uma facilidade de comunicação entre os usuários e pesquisadores. O objetivo do sistema é agilizar os processos de incluir, alterar, cadastrar e consultar novas usinas hidrelétricas. Assim facilitando o uso para o núcleo no controle das mesmas. O sistema possibilitará o acesso automático a novas simulações relatórios e consultas.

## 6.2 Visão de Caso de Uso

### 1. Descrição dos Atores

- (a) **Documentação:** Os usuários do sistema são aqueles devidamente cadastrados no núcleo de pesquisa da Universidade Federal de Goiás, campus Goiânia, Escola de Engenharia Elétrica e da Computação.
- (b) **Associações:** Cadastrar Usuários, Gerenciar Cenários, Configurar Otimizador, Configurar Mercado, Configurar Otimizador Determinístico, Configurar Varredura do Otimizador Determinístico, Configurar Otimizador de Longo Prazo, Configurar Simulador, Executar Otimizador Determinístico, Executar Varredura do Otimizador Determinístico, Executar Otimizador de Longo Prazo, Executar Simulador, Visualizar Gráfico Otimizador Determinístico, Visualizar Gráfico Varredura do Otimizador Determinístico, Visualizar Gráfico Otimizador de Longo Prazo Visualizar Gráfico Simulador, Visualizar Relatório Otimizador Determinístico, Visualizar Relatório Varredura do Otimizador Determinístico, Visualizar Relatório Otimizador de Longo Prazo, Visualizar Relatório Simulador .
- (c) **Diagrama de Casos de Uso Usuário**

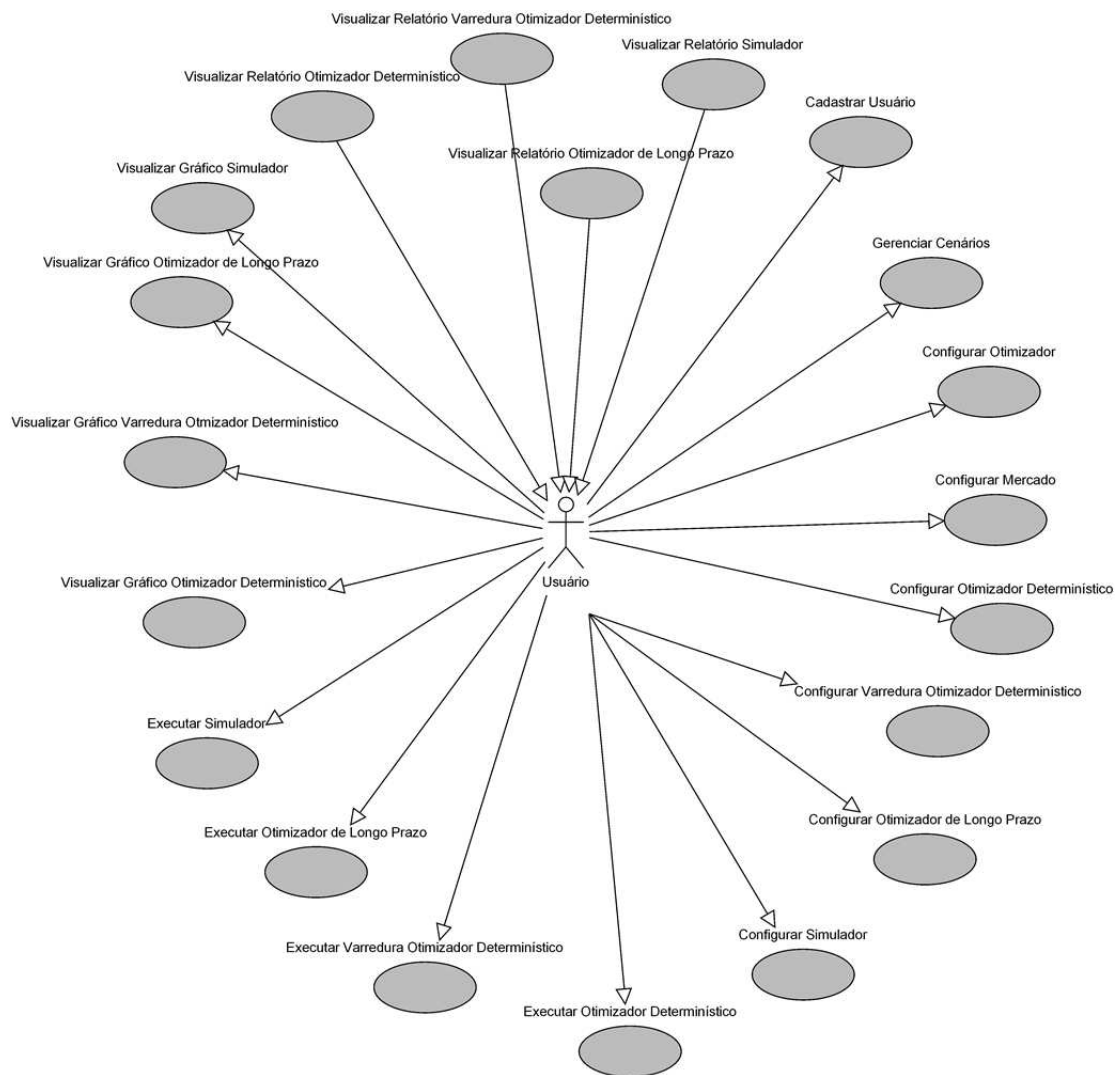


Figura 11: Diagrama de Caso de Uso do SAPE 2007

## 2. Descrição dos casos de uso

### 1. Cadastro de Usuários

- (a) Este cadastro deverá manter os seguintes dados: Código, Nome, Endereço, Bairro, Cidade, U.F., Cep, C.P.F., R.G., Telefone, Celular, E-mail, Username, Senha.

Tabela 3: Cadastrar Usuários

|                     |                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável em armazenar os dados do Usuário.                                                                                                                                                              |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                                                                                                                         |
| Pré-Condições       | O usuário tem que estar cadastrado no sistema para poder utiliza-lo                                                                                                                                                    |
| Pós-Condições       |                                                                                                                                                                                                                        |
| Caminho Primário    | Obter os dados do usuário, atribuir um código exclusivo para o mesmo, e armazenar no sistema. Para cada usuário cadastrado serão disponibilizadas as seguintes operações: Novo, Incluir, Alterar, Excluir e Consultar. |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                                                                                                                        |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                                                                                                                        |
| Regras de Negócios  | 1                                                                                                                                                                                                                      |

## 2. Gerenciar Cenário

- (a) Neste caso de uso o usuário terá total controle para escolher os rios e usinas que irão entrar na simulação, sendo escolhido apenas com um click nas usinas que aparecerão logo que o usuário logar no sistema.

Tabela 4: Gerenciar Cenário

|                     |                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por gerar o cenário com os rios e suas usinas correspondentes.                                                                                                                                                        |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                                                                                                                                                |
| Pré-Condições       | Obter os dados das usinas, atribuir um código exclusivo para cada uma, e assim gerar o cenário. Para cada cenário gerado o usuário poderá escolher sua própria configuração, podendo assim colocar as usinas que deseja no estudo específico. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                                                                                                                                               |
| Caminho Primário    |                                                                                                                                                                                                                                               |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                                                                                                                                               |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                                                                                                                                               |
| Regras de Negócios  | 2                                                                                                                                                                                                                                             |

## 3. Configurar Otimizador

- (a) Neste caso de uso o usuário deverá fornecer os seguintes dados: Nome do Estudo, Hidrologia, Mês inicial, Ano inicial, Horizonte, Potência Instalada, Taxa de Desconto, Sazonal ou não Sazonal.

Tabela 5: Configurar Otimizador

|                     |                                                                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável pela configuração individual do Otimizador.                                                   |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                        |
| Pré-Condições       | O usuário terá que ter escolhido as usinas que participarão da simulação e depois fazer as configurações necessárias. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                       |
| Caminho Primário    | O usuário tem que dar um nome ao estudo e depois entrar com o Mês inicial e o Ano inicial para a simulação            |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                       |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                       |
| Regras de Negócios  | 3                                                                                                                     |

#### 4. Configurar Mercado

- (a) Neste caso de uso o usuário deverá fornecer os seguintes dados: Sazonal ou não Sazonal, Configurar Fator Mensal (Mercado Sazonal), Fator Mensal nos 12 meses, Potência Instalada para cada mês .

Tabela 6: Configurar Mercado

|                     |                                                                                                                             |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável pela configuração do Mercado sendo possível entrar com os valores do mercado.                       |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                              |
| Pré-Condições       | O usuário terá que ter escolhido as usinas que participarão da simulação e depois disso fazer as configurações necessárias. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                             |
| Caminho Primário    | O usuário tem que dar um nome ao estudo e depois entrar com o Mês inicial e o Ano inicial para a simulação                  |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                             |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                             |
| Regras de Negócios  | 4                                                                                                                           |

#### 5. Configurar Otimizador Determinístico

- (a) Neste caso de uso o usuário deverá fornecer os dados: Nome do Estudo, Hidrologia, Mês inicial, Ano inicial, Horizonte, Potência Instalada, Taxa de Desconto, Sazonal ou não Sazonal e custo térmico para a execução correta do Otimizador Determinístico .

Tabela 7: Configurar Otimizador Determinístico

|                     |                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por configurar o Otimizador Determinístico.                                                        |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                             |
| Pré-Condições       | Que tenha selecionado as usinas que participarão da simulação, colocando um nome para o estudo, mês inicial e ano inicial. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário entrará com os dados necessários para a simulação                                                                |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                            |
| Regras de Negócios  | 5                                                                                                                          |

## 6. Configurar Varredura do Otimizador Determinístico

- (a) Neste caso de uso o usuário deverá fornecer os dados: Nome do Estudo, Hidrologia, Mês inicial, Ano inicial, Ano final, Horizonte, Potência Instalada, Taxa de Desconto, Sazonal ou não Sazonal e custo térmico para a varredura do sistema.

Tabela 8: Configurar Varredura do Otimizador Determinístico

|                     |                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por configurar a Varredura do Otimizador Determinístico.                                           |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                             |
| Pré-Condições       | Que tenha selecionado as usinas que participarão da simulação, colocando um nome para o estudo, mês inicial e ano inicial. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário entrará com os dados necessários para a simulação                                                                |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                            |
| Regras de Negócios  | 6                                                                                                                          |

## 7. Configurar Otimizador de Longo Prazo

- (a) Neste caso de uso o usuário deverá fornecer os dados: Nome do Estudo, Hidrologia, Mês inicial, Ano inicial, Ano final, Horizonte, Potência Instalada, Taxa de Desconto, Sazonal ou não Sazonal e custo térmico para a execução do Otimizador de Longo Prazo.



Tabela 9: Configurar Otimizador de Longo Prazo

|                     |                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por configurar o Otimizador de Longo Prazo.                                                        |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                             |
| Pré-Condições       | Que tenha selecionado as usinas que participarão da simulação, colocando um nome para o estudo, mês inicial e ano inicial. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário entrará com os dados necessários para a simulação                                                                |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                            |
| Regras de Negócios  | 7                                                                                                                          |

## 8. Configurar Simulador

- (a) Este caso de uso o usuário é responsável pela execução do simulador

Tabela 10: Configurar Simulador

|                     |                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por Executar o Simulador.                                                                                                                                                      |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                                                                                                         |
| Pré-Condições       | Que tenha selecionado as usinas que participarão da simulação, colocar um nome para o estudo, mês inicial e ano inicial. E depois escolher em qual Estudo do Otimizador de Longo Prazo será executado. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                                                                                                        |
| Caminho Primário    | O usuário entrará com os dados necessários para a simulação                                                                                                                                            |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                                                                                                        |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                                                                                                        |
| Regras de Negócios  | 8                                                                                                                                                                                                      |

## 9. Executar Otimizador Determinístico

- (a) É responsável por ativar o Otimizador Determinístico, sendo assim executado salvando todos seus arquivos em uma pasta de saída para mais tarde ser utilizada pelo Simulador.

Tabela 11: Executar Otimizador Determinístico

|                     |                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por Executar o Otimizador Determinístico.                                                          |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                             |
| Pré-Condições       | Que tenha selecionado as usinas que participarão da simulação, colocando um nome para o estudo, mês inicial e ano inicial. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário entrará com os dados necessários para a simulação                                                                |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                            |
| Regras de Negócios  | 9                                                                                                                          |

## 10. Executar Varredura do Otimizador Determinístico

- (a) É responsável por ativar a Varredura do Otimizador Determinístico, sendo assim executado salvando todos seus arquivos em uma pasta de saída para mais tarde ser utilizada pelo Simulador.

Tabela 12: Executar Varredura do Otimizador Determinístico

|                     |                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por Executar a Varredura do Otimizador Determinístico.                                             |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                             |
| Pré-Condições       | Que tenha selecionado as usinas que participarão da simulação, colocando um nome para o estudo, mês inicial e ano inicial. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário entrará com os dados necessários para a simulação                                                                |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                            |
| Regras de Negócios  | 10                                                                                                                         |

## 11. Executar Otimizador de Longo Prazo

- (a) É responsável por ativar o Otimizador de Longo Prazo sendo assim que executado, o Otimizador lê alguns arquivos de saída do Otimizador Determinístico e gerando assim alguns arquivos que serão utilizados pelo Modelo Markoviano e a Programação Dinâmica Estocástica.

Tabela 13: Executar Otimizador de Longo Prazo

|                     |                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por Executar a Varredura do Otimizador Determinístico.                                             |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                             |
| Pré-Condições       | Que tenha selecionado as usinas que participarão da simulação, colocando um nome para o estudo, mês inicial e ano inicial. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário entrará com os dados necessários para a simulação                                                                |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                            |
| Regras de Negócios  | 11                                                                                                                         |

## 12. Executar Simulador

- (a) É responsável por ativar o Otimizador de Longo Prazo. Assim que executado ele lê alguns arquivos de saída e gera os gráficos.

Tabela 14: Executar Simulador

|                     |                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por Executar o Simulador.                                                                                                                                                                        |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                                                                                                                                           |
| Pré-Condições       | Que tenha selecionado as usinas que participarão da simulação, o usuário tem que fornecer um nome para o estudo, mês inicial e o ano inicial. E depois escolher qual Estudo do Otimizador de Longo Prazo será executado. |
| Pós-Condições       |                                                                                                                                                                                                                          |
| Caminho Primário    | O usuário entrará com os dados necessários para a simulação                                                                                                                                                              |
| Caminho Alternativo |                                                                                                                                                                                                                          |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                                                                                                                                          |
| Regras de Negócios  | 12                                                                                                                                                                                                                       |

## 13. Visualizar Gráficos Otimizador Determinístico

- (a) É responsável pela visualização dos gráficos gerados para o Otimizador Determinístico.

Tabela 15: Visualizar Gráficos do Otimizador Determinístico

|                     |                                                                                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por visualizar os Gráficos do Otimizador Determinístico gerado pelo Simulador. |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                         |
| Pré-Condições       | Que tenha feito a simulação até o final do estudo.                                                     |
| Pós-Condições       |                                                                                                        |
| Caminho Primário    | O usuário tem que escolher qual usina e quais dados ele vai querer visualizar                          |
| Caminho Alternativo |                                                                                                        |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                        |
| Regras de Negócios  | 13                                                                                                     |

#### 14. Visualizar Gráficos Varredura do Otimizador Determinístico

- (a) É responsável pela visualização dos gráficos gerados para a Varredura do Otimizador Determinístico.

Tabela 16: Visualizar Gráficos Varredura do Otimizador Determinístico

|                     |                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por visualizar os Gráficos da Varredura do Otimizador Determinístico. |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                |
| Pré-Condições       |                                                                                               |
| Pós-Condições       |                                                                                               |
| Caminho Primário    | O usuário tem que escolher qual usina e quais dados ele vai querer visualizar                 |
| Caminho Alternativo |                                                                                               |
| Caminho de Exceção  |                                                                                               |
| Regras de Negócios  | 14                                                                                            |

#### 15. Visualizar Gráficos do Otimizador de Longo Prazo

- (a) É responsável pela visualização dos gráficos gerados para o Modelo Equivalente do Sistema.

Tabela 17: Visualizar Gráficos Varredura do Otimizador de Longo Prazo

|                     |                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por visualizar os Gráficos da Varredura do Otimizador de Longo Prazo. |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                |
| Pré-Condições       |                                                                                               |
| Pós-Condições       |                                                                                               |
| Caminho Primário    | O usuário tem que escolher qual usina e quais dados ele vai querer visualizar                 |
| Caminho Alternativo |                                                                                               |
| Caminho de Exceção  |                                                                                               |
| Regras de Negócios  | 15                                                                                            |

## 16. Visualizar Gráficos do Simulador

- (a) É responsável pela visualização dos gráficos gerados para o Modelo Markoviano do Sistema.

Tabela 18: Visualizar Gráficos do Simulador

|                     |                                                                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por visualizar os Gráficos do Simulador.              |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                |
| Pré-Condições       |                                                                               |
| Pós-Condições       |                                                                               |
| Caminho Primário    | O usuário tem que escolher qual usina e quais dados ele vai querer visualizar |
| Caminho Alternativo |                                                                               |
| Caminho de Exceção  |                                                                               |
| Regras de Negócios  | 16                                                                            |

## 17. Visualizar Relatório do Otimizador Determinístico

- (a) É responsável pela visualização do relatório final do Otimizador Determinístico.

Tabela 19: Visualizar Relatório do Otimizador Determinístico

|                     |                                                                                            |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por visualizar do Relatório do Otimizador Determinístico .         |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                             |
| Pré-Condições       |                                                                                            |
| Pós-Condições       |                                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário tem que escolher clicar no botão Relatório na tela do Otimizador Determinístico. |
| Caminho Alternativo |                                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                                            |
| Regras de Negócios  | 17                                                                                         |

## 18. Visualizar Relatório Varredura do Otimizador Determinístico

- (a) É responsável pela visualização do relatório final da Varredura do Otimizador Determinístico.

Tabela 20: Visualizar Relatório Varredura do Otimizador Determinístico

|                     |                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por visualizar do Relatório da Varredura do Otimizador Determinístico.          |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                                          |
| Pré-Condições       |                                                                                                         |
| Pós-Condições       |                                                                                                         |
| Caminho Primário    | O usuário tem que escolher clicar no botão Relatório na tela da Varredura do Otimizador Determinístico. |
| Caminho Alternativo |                                                                                                         |
| Caminho de Exceção  |                                                                                                         |
| Regras de Negócios  | 18                                                                                                      |

## 19. Visualizar Relatório do Otimizador de Longo Prazo

- (a) É responsável pela visualização do relatório final do Otimizador de Longo Prazo.

Tabela 21: Visualizar Relatório do Otimizador de Longo Prazo

|                     |                                                                                            |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por visualizar do Relatório do Otimizador de Longo Prazo.          |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                                             |
| Pré-Condições       |                                                                                            |
| Pós-Condições       |                                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário tem que escolher clicar no botão Relatório na tela do Otimizador de Longo Prazo. |
| Caminho Alternativo |                                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                                            |
| Regras de Negócios  | 19                                                                                         |

## 20. Visualizar Relatório do Simulador

- (a) É responsável pela visualização do relatório final do Simulador.

Tabela 22: Visualizar Relatório do Simulador

|                     |                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Descrição           | Caso de Uso responsável por visualizar do Relatório do Simulador.          |
| Atores              | Usuários do Sistema SAPE 2007.                                             |
| Pré-Condições       |                                                                            |
| Pós-Condições       |                                                                            |
| Caminho Primário    | O usuário tem que escolher clicar no botão Relatório na tela do Simulador. |
| Caminho Alternativo |                                                                            |
| Caminho de Exceção  |                                                                            |
| Regras de Negócios  | 20                                                                         |

## 6.2.1 Diagrama de Classes do SAPE 2007

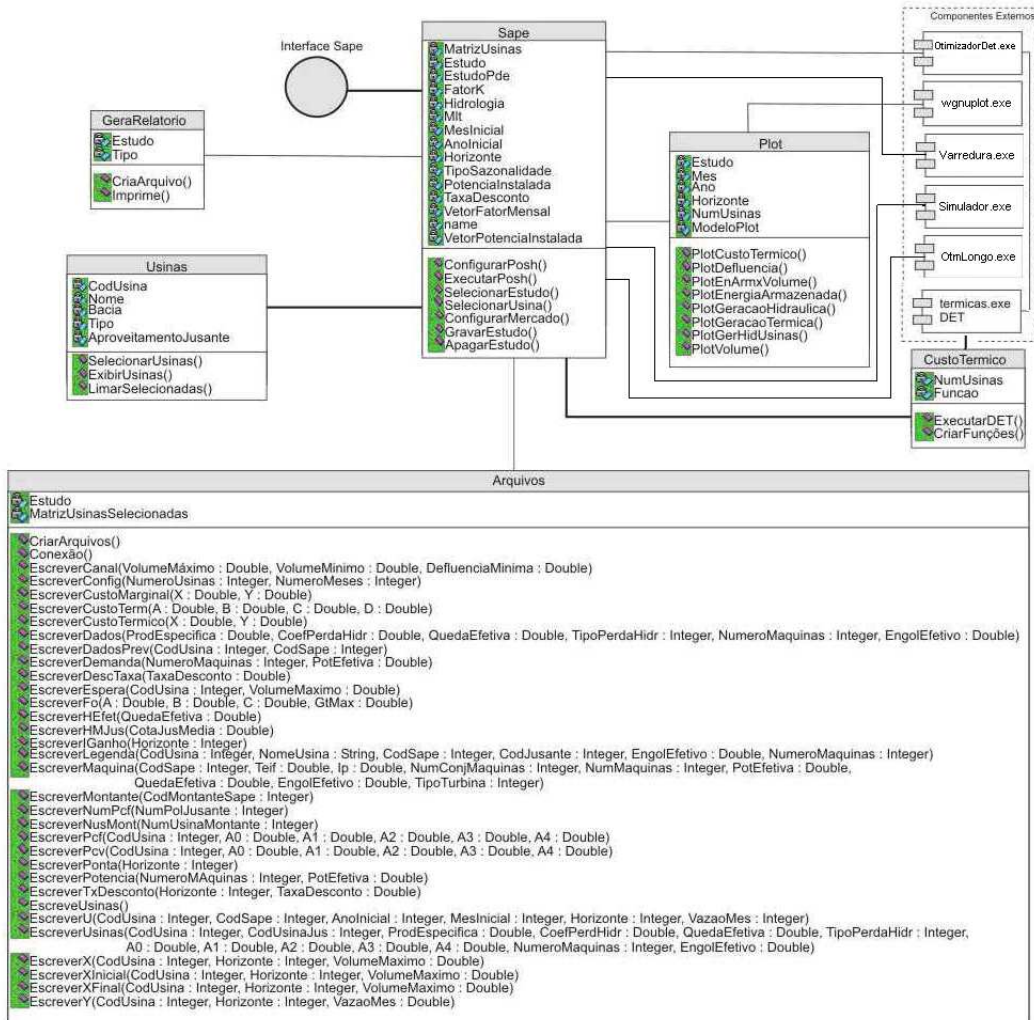


Figura 12: Diagrama de Classes - SAPE 2007



## 6.2.2 Modelo Relacional do Banco de Dados

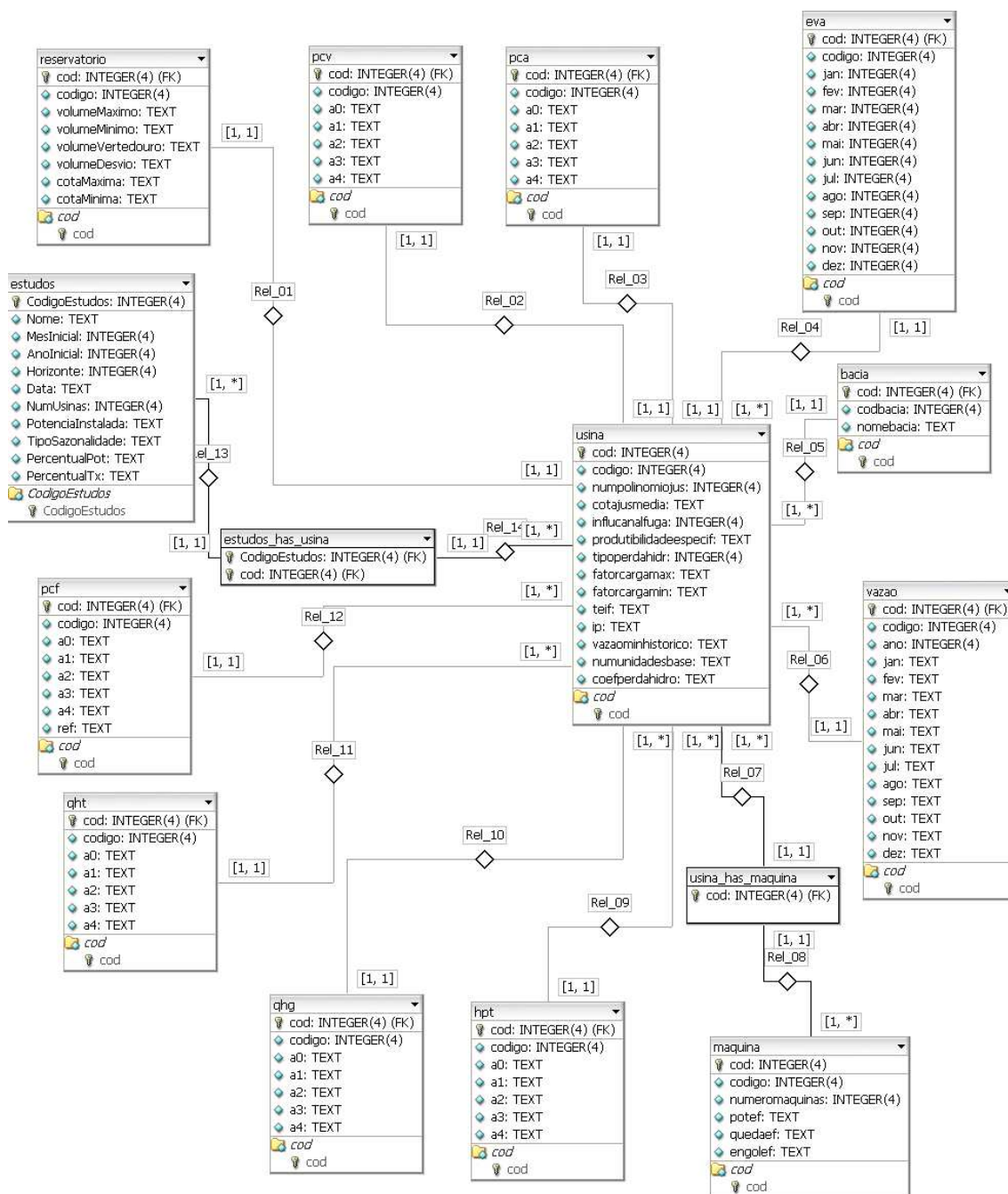


Figura 13: Modelo Relacional do Banco de Dados do SAPE 2007

## 7 *Estudo de Caso - SAPE*

Este capítulo abordará alguns estudos de casos utilizando o modelo apresentado, em que o estudo deverá fornecer uma visão sobre o concepção e o desenvolvimento do sistema.

### 7.0.3 Planejamento de Médio Prazo: Estudo de Caso

O objetivo do estudo de caso a seguir é apresentar a integração entre o SAPE 2007 e o modelo de otimização determinística, a Varredura do Otimizador Determinístico e Otimizador de Longo Prazo. Esse estudo pode se encaixar dentro do conceito de controle gerencial.



Figura 14: Tela de Logon do SAPE 2007

Conforme vimos à figura 14 apresenta a tela de login do sistema, depois de ter

feito o login no sistema será carregada a tela de aproveitamento figura 15.

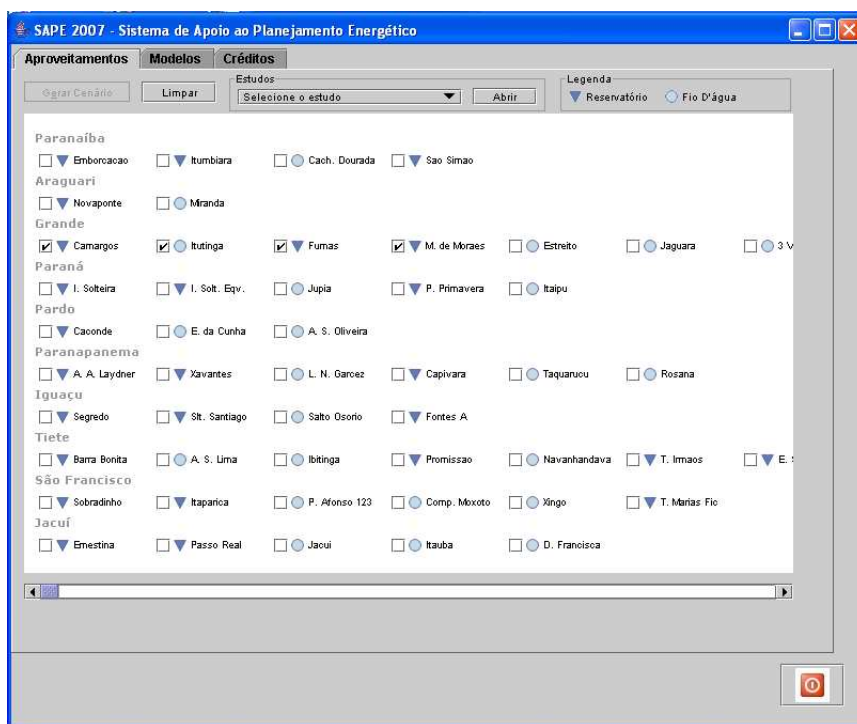


Figura 15: Painel “Aproveitamentos” (seleção das usinas)

A tela “Aproveitamento” será carregada com as usinas cadastradas no banco de dados, o SAPE 2007 esta com 52 usinas cadastradas no seu banco podendo ser acrescentada uma nova usina a qualquer momento.

O painel “Modelos” apresenta um cenário de configuração para cada modelo de otimizador. Este cenário possibilita a configuração de características como dados do estudo, tipo de mercado e custo térmico. Neste trabalho são apresentadas as configurações referentes ao Otimizador Determinístico. No painel de otimização do Otimizador Determinístico, configura-se o seguinte cenário (Figura 16):

1. **Custo Futuro Esperado:** Desativado;
2. **Tipo de Afluência:** Histórica;
3. **Nome do Estudo:** Dados (O nome do estudo serve como parâmetro para

que o SAPE 2007 crie todos os arquivos de entrada para o Otimizador Determinístico.

4. **Mês Inicial:** 5 ou Maio (Refere-se ao mês inicial do estudo);

5. **Ano Inicial:** 1931 (Refere-se ao ano inicial do estudo);

6. **Horizonte:** 600 (Refere-se ao número de meses do estudo após o mês e ano iniciais);

7. **Configurações do Mercado:** 100% da Potência instalada ou 1892 MW;

**Taxa de Desconto:** 0% (Pode-se, também, configurar a função objetivo, através da configuração de parque termoeletro);

**Tipo de Mercado:** Não Sazonal (O mercado pode ser configurado como sazonal ou não sazonal, com a possibilidade de se configurar manualmente o fator mensal, para o caso do mercado sazonal).

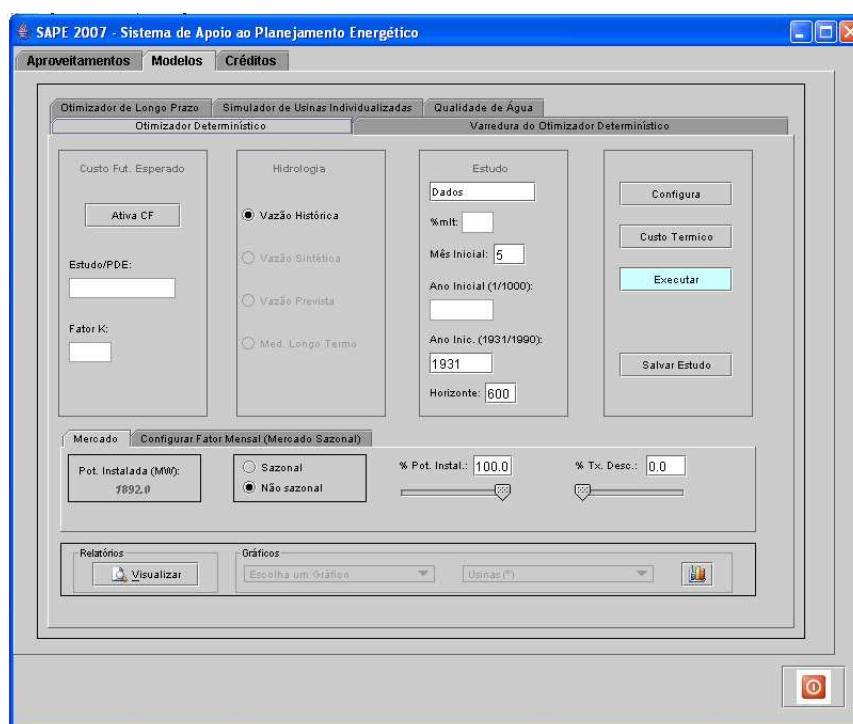


Figura 16: Tela de Configuração do Otimizador Determinístico

Após o término da configuração, deve-se executar a otimização clicando nos botões “Configura” e “Executar” respectivamente.

O botão configura é responsável por instanciar a classe Arquivos e criar os arquivos de entrada necessários para a execução do Otimizador Determinístico.

O botão “Executar” executa os métodos da classe Sape responsáveis por chamar o Otimizador Determinístico, passando os parâmetros necessários.

Este botão também é responsável por instanciar a classe Plot e executar os métodos de criação dos arquivos para a exibição dos gráficos. Os gráficos e planilhas de relatório que servem como base para a análise do usuário (tomador de decisão) são acessados através do Painel de otimização, em sua parte inferior.



Figura 17: Tela de Configuração Para Visualização de Relatórios e Gráficos

1. O botão Visualizar, instância a classe *GeraRelatório* e exibe o relatório em valores reais. O relatório pode, também, ser exibido em valores percentuais e impresso.
2. Na caixa de seleção Escolha um Gráfico seleciona-se o tipo de gráfico a ser exibido.
3. Na caixa de seleção “Usinas”, selecionam as usinas que devem ser exibidas.
4. O botão com o ícone gráfico, instância a classe Plot e executa os métodos de

exibição dos gráficos e passando os parâmetros necessários para a execução do Wgnuplot, aplicativo responsável pela tarefa.

As figuras 18 a 22 abaixo apresentam a janela de exibição de relatórios e as telas do Wgnuplot apresentando os gráficos.

Relatório - POSH - Sistema de Apoio ao Planejamento Energético

Valores Reais    Percentual

Relatório SAPE(win)

Relatorio do estudo Dados.otm

Mes inicial: 5  
Ano Inicial: 1931  
Horizonte: 600

| Usinas<br>(nome) | Eletrobras<br>(codposto) | Posh2.3 | Jusante | Qmax<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------|--------------------------|---------|---------|-----------------------------|
| Camargos         | 1                        | 0       | 1       | 228.000                     |
| Itutinga         | 2                        | 1       | 2       | 244.000                     |
| Furnas           | 6                        | 2       | 3       | 1692.000                    |
| M. de Moraes     | 7                        | 3       | 4       | 1328.000                    |
| Estreito         | 8                        | 4       | 5       | 2028.000                    |
| Jaguara          | 9                        | 5       | 6       | 1564.000                    |

| Usinas       | VolMin<br>(hm <sup>3</sup> ) | VolMax<br>(hm <sup>3</sup> ) | DefMin<br>(hm <sup>3</sup> /mes) | DefMax<br>(hm <sup>3</sup> /mes) | VolUtil<br>(hm <sup>3</sup> ) |
|--------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Camargos     | 120.000                      | 792.000                      | 84.096                           | 100000.000                       | 672.000                       |
| Itutinga     | 11.000                       | 11.000                       | 84.096                           | 100000.000                       | 0.000                         |
| Furnas       | 5733.000                     | 22950.000                    | 515.088                          | 100000.000                       | 17217.000                     |
| M. de Moraes | 1540.000                     | 4040.000                     | 649.116                          | 100000.000                       | 2500.000                      |
| Estreito     | 1423.000                     | 1423.000                     | 662.256                          | 100000.000                       | 0.000                         |
| Jaguara      | 450.000                      | 450.000                      | 670.140                          | 100000.000                       | 0.000                         |

Mercado (MW):

.....

Sair

Figura 18: Janela do Relatório do Otimizador Determinístico

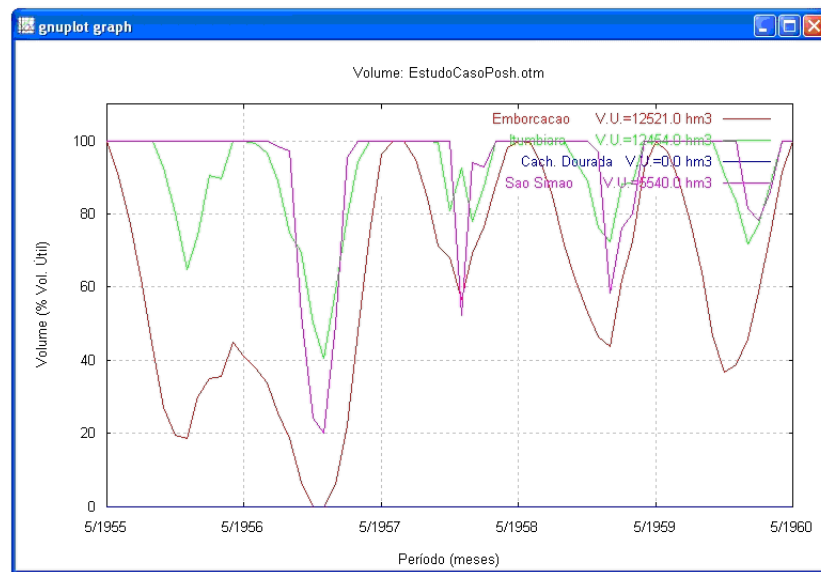


Figura 19: Trajetórias Ótimas de Volume (Histórico de vazões 5/1955 a 9/1960)

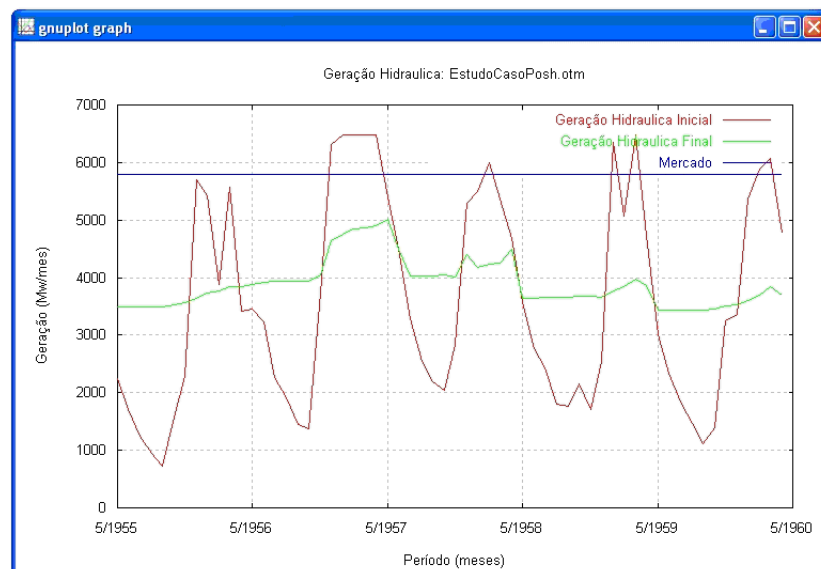


Figura 20: Geração Hidráulica do Sistema (Histórico de vazões 5/1955 a 9/1960)

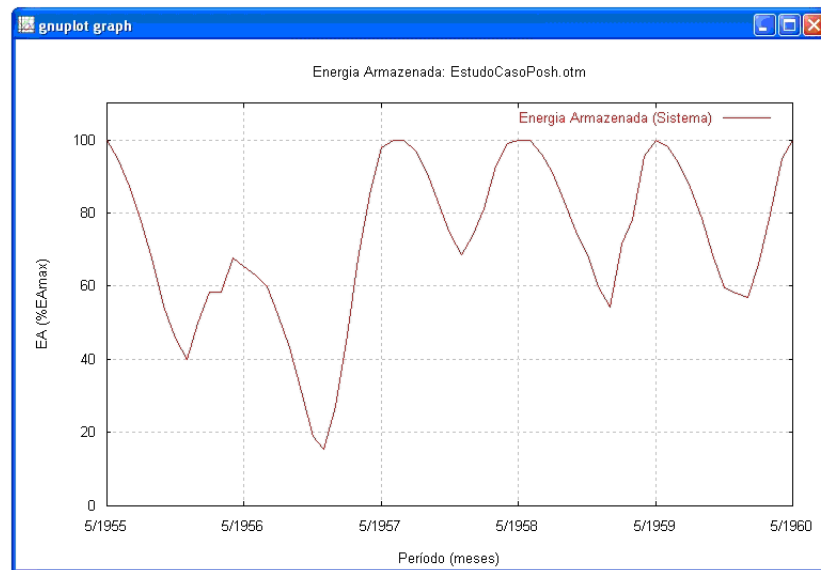


Figura 21: Energia Armazenada do Sistema (Histórico de vazões 5/1955 a 9/1960)

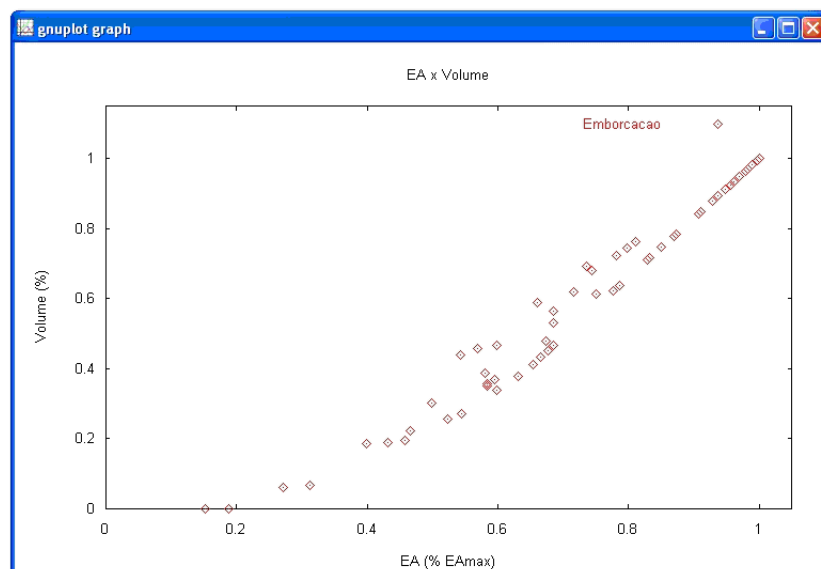


Figura 22: Energia Armazenada x Volume (Usina: Emborcação)



### 7.0.4 Estudo de Caso com o Sistema de Varredura do Otimizador Determinístico

A Varredura é um estudo realizado com o auxílio do SAPE, utilizando o Otimizador Determinístico (Modelo de Médio Prazo) para análise do comportamento de um sistema hidrotérmico em particular, frente a todas as possíveis seqüências hidrológicas (vazões) armazenadas no banco de dados do SAPE 2007. Através desse processo o usuário pode obter valores médios para as principais variáveis do problema.

Para a configuração do cenário de Varredura, utiliza-se a janela Varredura, especificando o nome do estudo, mês inicial, ano inicial, ano final e o horizonte do estudo, conforme observado na Figura 23.

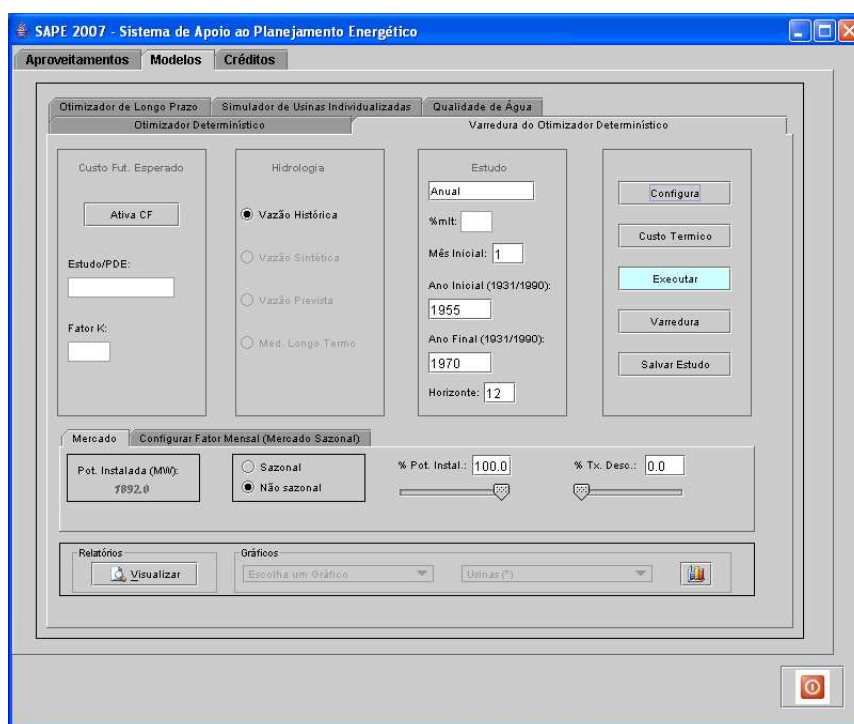


Figura 23: Configuração para Varredura do Otimizador Determinístico

O cenário apresentado na Figura 23 começa a Varredura com a seqüência

1/1955 a 12/1970 e termina com a sequência 1/1970 a 12/1970, realizando um total de 16 cenários e otimizações.

Os gráficos das Figuras 24 e 25 apresentam as médias obtidas através do estudo.

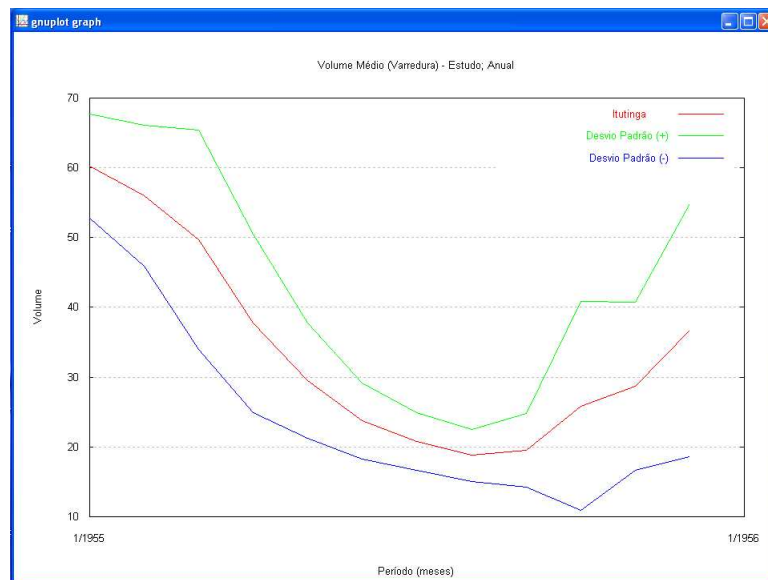


Figura 24: Gráfico de Volume (Varredura do Otimizador Determinístico)

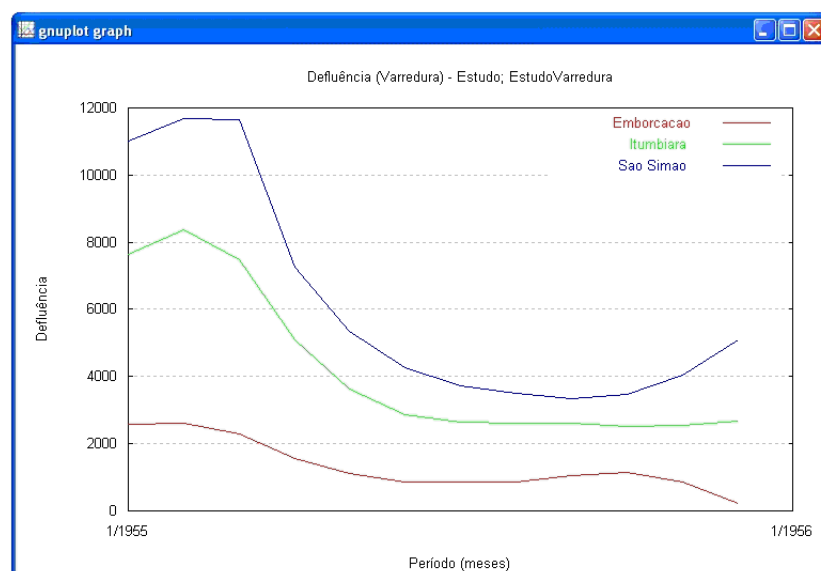


Figura 25: Gráfico de Defluência (Varredura do Otimizador Determinístico)

### 7.0.5 Estudo de Caso com o Despacho Econômico Termoelétrico

Nesta seção é apresentado um estudo de caso utilizando o gerenciador de Custo Térmico, que foi configurado agregando-se um sistema unidades térmicas. O sistema é resolvido através do algoritmo para a obtenção do Despacho Econômico Termoelétrico - DET, elaborado e implementado segundo a descrição feita em Cigogna(1999), Cruz Jr(1994) e Vinhal(1994).

A janela do gerenciador de Custo Térmico é acionada através do botão “Custo Térmico”, localizado no painel “Otimização”. Com a janela aberta, o primeiro passo é escolher o número de usinas térmicas que compõem o sistema e clicar no botão “OK”. O SAPE 2007 apresenta uma configuração padrão das funções com os dados de custo e capacidade de geração. Após a inserção das funções desejadas, acionando o botão “Executar”, a classe CustoTermico é instanciada e executa o DET. A partir daí pode-se visualizar os gráficos de Custo Marginal (DET) e Custo Térmico (DET). Para o estudo proposto, as funções para o despacho econômico termoeletrico foram configuradas conforme Figura 26.

| Term    | a   | b     | c   | d   | e   |
|---------|-----|-------|-----|-----|-----|
| Term 0: | 0.0 | 5040  | 100 | 0.0 | 200 |
| Term 1: | 0.0 | 14440 | 0.0 | 0.0 | 350 |
| Term 2: | 0.0 | 36000 | 0   | 0.0 | 500 |
| Term 3: | 0.0 | 72000 | 400 | 0.0 | 650 |

Figura 26: Janela de Configuração do Sistema de Unidades Térmicas

Os gráficos de apresentação das curvas de custo térmico e custo marginal de operação de sistemas térmicos, são apresentados conforme as Figuras 27 e 28.

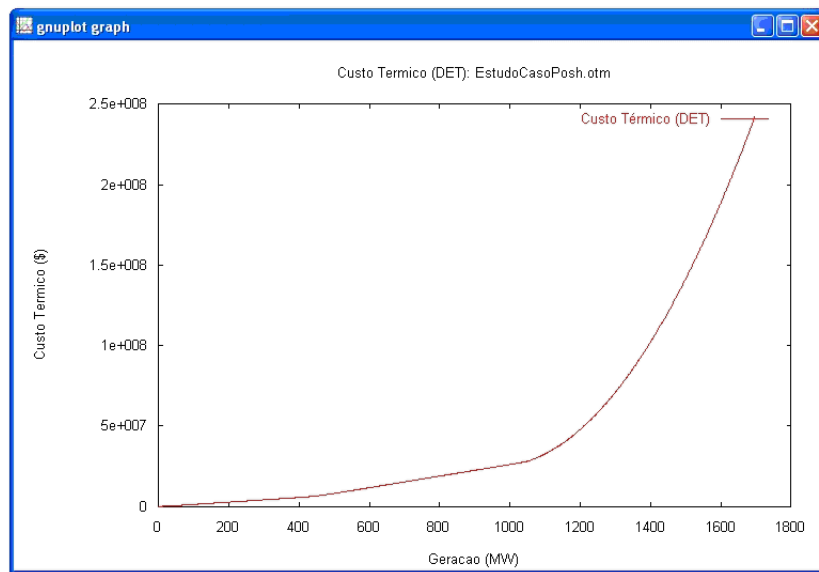


Figura 27: Custo Térmico (DET)

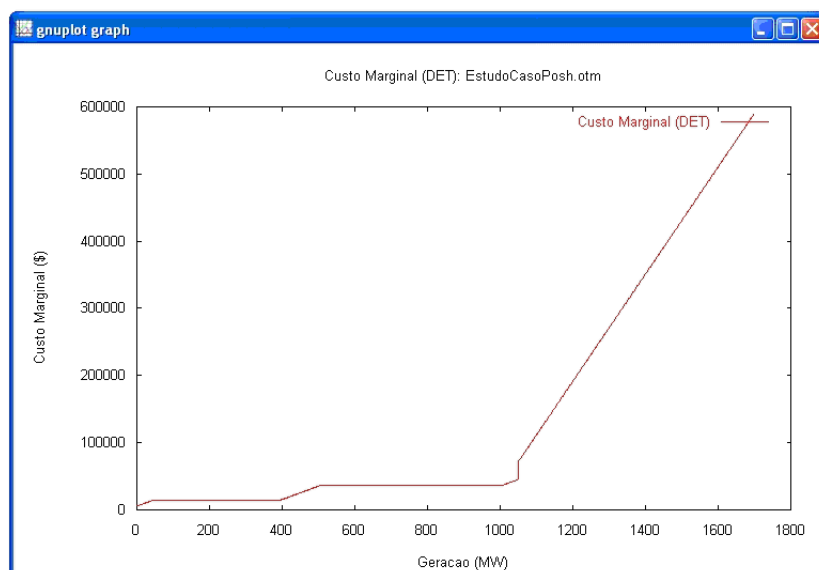


Figura 28: Custo Marginal (DET)

### 7.0.6 Estudo de Caso com o Otimizador de Longo Prazo

Nesta seção é apresentado um estudo de caso utilizando o Modelo Equivalente, utilizado para a configuração de um sistema composto por unidades termoeletricas. O sistema é resolvido através do algoritmo para a obtenção do despacho econômico termoeletrico (DET) elaborado e implementado segundo a descrição feita em Cigogna(1999), Cruz Jr(1994) e Vinhal(1994).

A janela do Otimizador de Longo Prazo é acionada através da aba Modelo Equivalente - PDE (Resultado Único). Depois deve-se acionar o botão “Executar ME”, localizado no painel. Com a janela aberta, e todas as outras configurações necessárias para o funcionamento do modelo, basta apenas clicar no botão “Executar ME”. Após a inserção das funções desejadas e acionando o botão “Executar”, o programa irá fazer os calculos necessários e, a partir daí, pode-se visualizar resultados do modelo markoviano e da Programação Dinâmica Estocástica, além de poder ver também os gráficos. Para o estudo proposto, as configurações iniciais foram feitas conforme Figura 29.

Figura 29: Janela de Configuração do Otimizador de Longo Prazo

O cenário apresentado na Figura 29 começa com a escolha das usinas que irão participar da simulação. Esta escolha será feita na tela de aproveitamentos em seguida, será feita a escolha do nome do estudo, mês inicial, ano inicial e final,

com a sequência 1931 a 1998, realizando um total de 600 cenários e otimizações.

Feita toda essa configuração, passa-se para a execução do Otimizador de Longo Prazo, conforme figura 30.

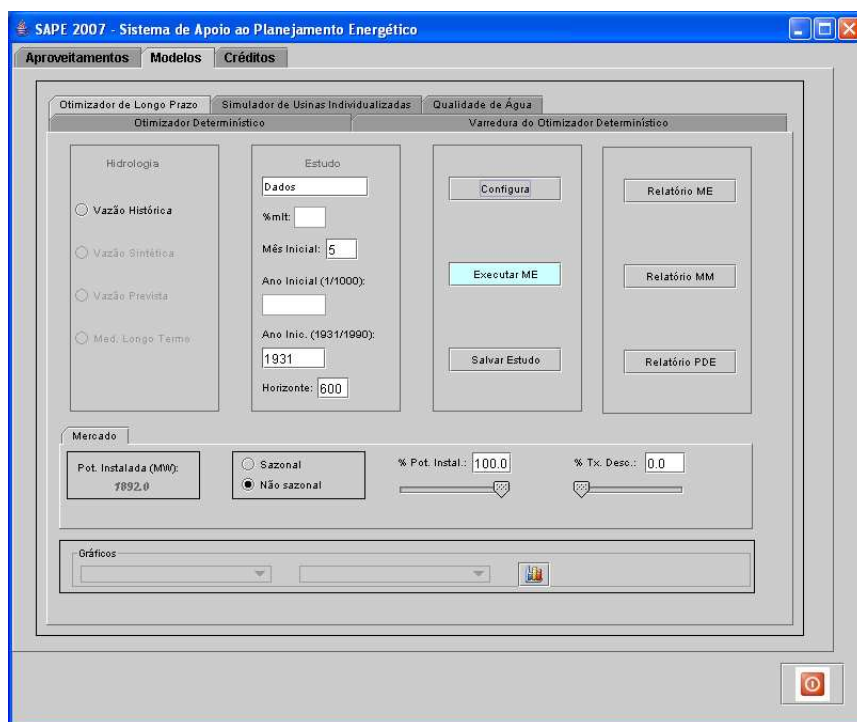


Figura 30: Janela de Execução do Otimizador de Longo Prazo

Basta clicar no botão “Executar ME” e, assim, serão feitos todos os cálculos do Otimizador de Longo Prazo, em que será gerada a matriz Markoviana para a Programação Dinâmica Estocástica, gerando, assim, os relatórios conforme figuras 31,32 e 33 abaixo:

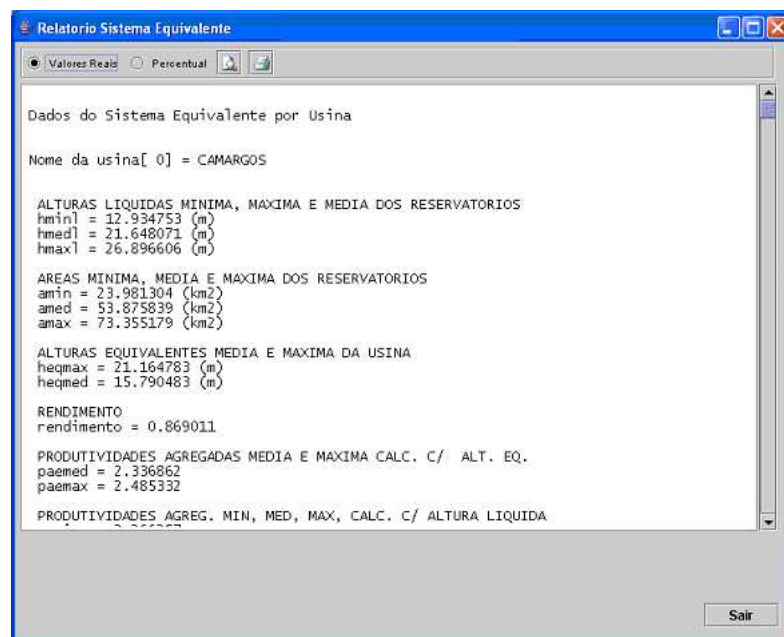


Figura 31: Janela do Relatório do Otimizador de Longo Prazo

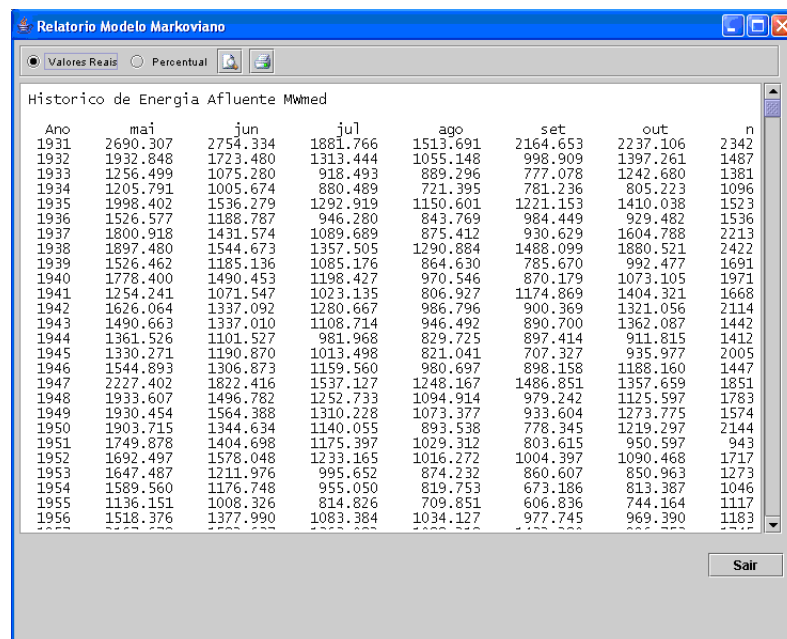


Figura 32: Janela do Relatório do Modelo Markoviano

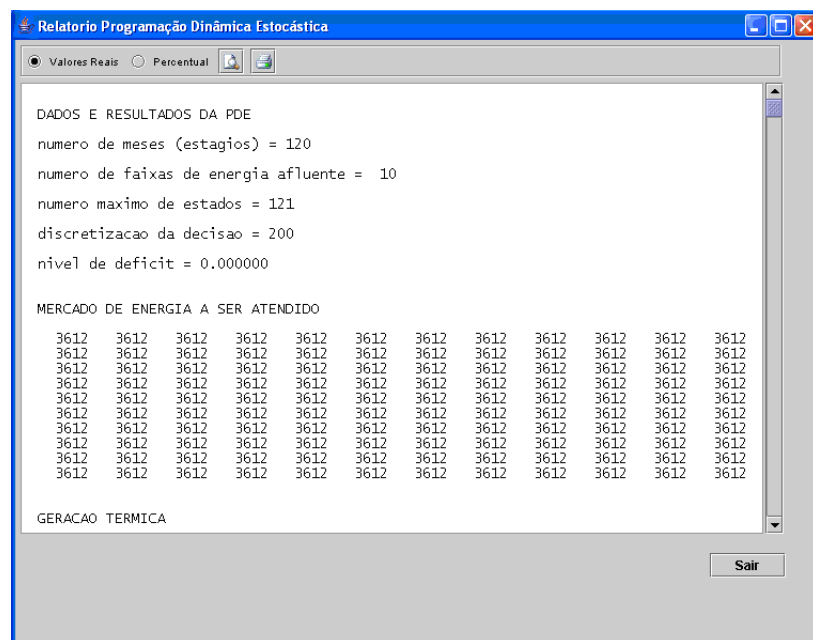


Figura 33: Janela do Relatório da Programação Dinâmica Estocástica



## 8 *Conclusões*

Neste capítulo apresentamos as conclusões e propostas para futuros trabalhos relacionados ao projeto.

A Reengenharia do Sistema SAPE foi baseada no conceito de *software livre* atendeu perfeitamente a todas as necessidades do sistema, permitindo construção de um sistema robusto, seguro, confiável, com uma interface amigável e de fácil operação, atendendo os requisitos de um sistema de apoio à decisão.

A utilização da linguagem Java para a implementação do sistema, baseado no paradigma da orientação a objetos, proporcionou ao sistema uma grande portabilidade, exigindo poucas mudanças para tal, por exemplo, peculiaridades como localização de arquivos e manipulação dos estudos. O *upgrade* do sistema, com a incorporação de novas funcionalidades, pode ser feito sem a necessidade de alteração nos componentes já finalizados.

O SAPE 2007 foi desenvolvido para execução sob a plataforma Windows, o que permitirá um maior aproveitamento como ferramenta de estudo aos alunos do Núcleo de Estudos e Pesquisa em Energia - NEPE da UFG, devido a grande quantidade de equipamentos disponível com o sistema operacional e a facilidade em sua configuração e operação. A versão anterior do SAPE apresentava uma dificuldade de utilização devido a dificuldade de configuração e a pouca quantidade de equipamentos, visto que o sistema foi desenvolvido para rodar em uma estação SUN.

O SAPE 2007 permite ao usuário salvar e editar seus estudos, tornando des-

necessária replicação quando houver a necessidade de modificação no mesmo.

Para a execução do SAPE 2007 foi necessário recompilar os arquivos referentes aos modelos de otimização, neste caso o POSH e o DET, Modelo Equivalente. A grande dificuldade foi a identificação dos arquivos de entrada, o que exigiu bastante tempo, devido à falta de documentação da versão anterior do SAPE e dos modelos utilizados. A documentação do SAPE 2007, apresentada através da análise do sistema, representa um grande salto para futuras implementações ou alterações. O SAPE 2007 atingiu o objetivo a que se propôs, que seria a migração dos modelos de otimização existentes para o sistema operacional Windows, bem como a construção de um novo ambiente para a execução dos modelos baseado na utilização de software livre e com possibilidade da incorporação de novos modelos.

Como idéias para trabalhos futuros podemos citar:

1. Os modelos de otimização se utilizam de arquivos textos como entrada e saída de dados. Uma grande evolução seria a modificação dos modelos para a utilização de um SGBD para gerenciar os dados de entrada e saída, permitindo uma maior segurança dos dados referentes aos estudos salvos pelo usuário, visto que a edição dos estudos depende da presença desses arquivos em um diretório específico;
2. Construção de uma interface mais intuitiva, onde as usinas possam ser selecionadas e visualizadas na forma de ícones sobre o mapa do Brasil, utilizando o conceito de geoprocessamento.
3. Desenvolvimento do sistema para WEB.

## *Referências*

- Alter, S.L. “Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenge”. Reading, MA: Addison-Wesley, 1980.
- ANEEL “Atlas de energia elétrica no Brasil”, ANEEL, 2002.
- Arvanitidis, N. V. & Rosing, J. Composite Representation of Multisevoir Hydroelectric power system - Fevereiro, 1970.
- Bauer, F.L. Software Engineering - “Information Processing”. Amsterdam: North Holland Publishing, 1972.
- Boehm, B.W. “Software Engineering Economics”. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981.
- Bonczek, R. H. “Foundations of Decision Support Systems”. C.W. Holsapple and A.B. Whinston, New York: Academic Press, 1981.
- Booch, Grady; Rumbaugh, James; Jacobson, Ivar. “The Unified Modeling User Guide. Object Technology Series”. Addison-Wesley, 1999.
- Booch, Grady. “UML, Guia do usuário”. Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson; tradução de Fábio Freitas da Silva. Rio de Janeiro, Campos, 2000.
- Callaghan, D. “BI Standards Emerging”. Eweek, December, 2002.
- Cicogna, Marcelo Augusto “Modelo de Planejamento da Operação Energética de Sistemas Hidrotérmicos a Usinas Individualizadas Orientado por Objetos.” Tese de Mestrado, FEEC/UNICAMP, fevereiro, 1999.
- Coad, Peter & Yourdon, Edward, “Object-Oriented Analysis”, 2ª edição, Yourdon Press, 1991.
- Cruz Jr., G. & Soares, S. “Non-uniform composite representation of hydroelectric systems for long-term hydrothermal scheduling”, 1996.

Cruz Jr., Gelson “Planejamento da Operação energética a longo prazo de sistemas hidrotérmicos de potência.” Dissertação de Mestrado, FEE/UNICAMP, Julho 1994.

Cruz Jr., Gelson “Modelo Equivalente Não-Linear para o Planejamento a Longo Prazo de Sistemas de Energia Elétrica.” Tese de Doutorado, FEE/UNICAMP, 1998.

Davis, G. “Management Information Systems: Conceptual Foundations, Structure, and Development”. New York: McGraw-Hill, Inc., 1974.

Davis, A.M. “Software Life Cycle Models”. In: Thayer, R. (ed.). Software Engineering Project Management. 2nd Edition. Los Alamitos: IEEE, 1997.

Deitel, Harvey M., & Deitel, Paul J., “Java, como programar” Bookman Companhia Ed., 4ª Edição, 2002.

Degoulet, P., Fieschi, M. “Introduction to Clinical Informatics”. New York: Springer-Verlag, 1997.

Dolin, R.H. Outcome analysis: “considerations for an electronic health record”. MD Computing, v.14, n.1, p.50-6, jan-fev. 1997.

Dorfman, M. Requirements Engineering. In: Thayer, R., Dorfman, M. (eds.). “Software Requirements Engineering”. Los Alamitos: IEEE, 1997.

Furlan, J.D. “Modelagem de objetos através da UML”. São Paulo: Makron Books, 1998.

Glinz, “M. Problems and Deficiencies of UML as a Requirements Specification Language”. Proceedings of the 10th International Workshop on Software Specification and Design (IWSSD-10), p.11-22, 2000.

Holsapple, C. & Whinston, A.B. “Decision support systems: a knowledge based approach”. West Pub. Co., St. Paul, Minn., 1996.

Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J. “The Unified Software Development Process”. Addison- Wesley, 1999.

Keen, P. G. W. “Decision Support Systems: An Organizational Perspective”. P. G. W. Keen and M. S. Scott Morton. Reading MA: Addison-Wesley, Inc., 1978.

Kuikka, E., Eerola, A., Porrasmaa, J. et al. “Design of the SGML-based electronic patient record system with the use of object-oriented analysis methods”. In: P. Kokol et al. eds.: MIE-99 - Fifteenth International Congress of European Federation for Medical Informatics. Amsterdam : IOS Press , 1999. p.838-841.

Logrado, C. L., “Desafios para a Ciência e Tecnologia no contexto do setor elétrico”. Revista Parcerias Estratégicas, n.11, 2001.

Marques, Thyago Carvalho Marques. “Uma Política Operativa a Usinas Individualizadas para o Planejamento da Operação Energética do Sistema Interligado Nacional”. Tese de Doutorado, Campinas, FEEC UNICAMP, dezembro de 2006.

Martin, J., Odell, J.J. “Object-Oriented Analysis and Design. Prentice-Hall Inc”, 1992.

Mattiazzi, L.D. Orientação a Objetos e a UML: “Finalmente um Rumo a Seguir”. Developers Magazine, Rio de Janeiro, ano III, n.26, p.26-29, jul. 1998.

MySQL, Sistema de gerenciamento de banco de dados MySQL - Download, novembro, 2006, disponível em <http://dev.mysql.com/downloads/>.

NetBeans, Integrated Development Environment - Download, novembro, 2006, disponível em <http://www.netbeans.org>.

Novak, David C. “A Decision Support Methodology for Stochastic Multi-Criteria Linear Programming Using Spreadsheets”, David C. Novak, Cliff T. Ragsdale, Decision Support Systems, N° 26, pp.99-116, 2003.

Ocken, V. “Making the Most of Online Database”. V. Ocken, Marketing News, Vol. 36, N.º 20, Sep 30, 2002.

Oliveira, G.G. & Soares, S.A., “A Second -order Network Flow Algorithm For Hydrothermal Scheduling”, 1995.

OMG, OBJECT MANAGEMENT GROUP. “Unified Modeling Language: Superstructure”, Versão 2.0. Online. Capturado em 2006. Disponível na Internet: [www.omg.org](http://www.omg.org).

Pastor Humpiri, Carolina Janet. “Estratégias evolutivas no planejamento energético da operação de sistemas hidrotérmicos de potencia”. Dissertação de Mestrado, Campinas, FEEC UNICAMP, julho de 2005.

Pressman, R.S. “Engenharia de Software”. São Paulo: Makron Books, 1995.

Ramamoorthy, C.V., Prakash, A., Tsai, W.T. et al. “Software Engineering: problems and perspectives”. Computer. p.191-209, out. 1984.

Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani et al. “Modelagem e projetos baseados em objetos”. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.

- Rumbaugh, James (et al). Modelagem e Projetos Baseados em Objetos. Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- Scott, Morton. “Management Decision Systems: Computer-based Support for Decision Making”. Morton Scott and Michael S. Boston, MA: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University, 1971.
- Simon, H. “The New Science of Management Decision”. First Edition. New York, Harper&Row, 1960.
- Sprague, R.H., Jr. “Framework for the Development of SAD”. MIS Quartely, Dec. 1980.
- Stallmann, Richard M. Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman. Boston: GNU Press, 2002.
- Turban, Efraim. “Decision Support Systems and Intelligent Systems”. Efraim Turban, Jay E. Aronson; with contributions by Ting Peng Liang 7th ed, 2004.
- Vinhal, Cássio Dener Noronha. “Um Sistema de Apoio à Decisão no Planejamento da Operação Energética de Sistemas de Energia Elétrica”. Dissertação de Mestrado, Campinas, FEEC UNICAMP, julho de 1994.
- Vinhal, Cássio Dener Noronha. “Sistema de Apoio à Decisão Para o Planejamento da Operação Energética de Sistemas de Energia Elétrica”. Tese de Doutorado, Campinas, FEEC UNICAMP, 1998.
- Von Mayrhauser, A. Software Engineering: “Methods and Management”. San Diego: Academic Press, 1990.
- WgnuPlot, WgnuPlot - Download, novembro, 2006, disponível em <http://www.gnuplot.info/>.