

**JOÃO UBALDO COELHO DANTAS
PAULO VICTOR CASTELLO BRANCO BRAUN**

**Estudo de viabilidade: melhoria do desempenho das funções
controle de cheias e geração de energia no Alto e Médio Tietê, por
meio de um modelo predictivo de chuva e vazões**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da USP como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
MBA em Energia.**

**Área de concentração: Usinas
Hidrelétricas**

Orientador: Prof Dr. Rubem La Laina Porto

**São Paulo
2008**

MBA / EN

2008

D 235e

DEDALUS - Acervo - EPEL



31500019013

FICHA CATALOGRÁFICA

M2008BC

Dantas, João Ubaldo Coelho

Estudo de viabilidade: melhoria do desempenho das funções controle de cheias e geração de energia no alto e médio Tietê através de um sistema predictivo de chuva e vazões / J.U.C. Dantas, P.V.C.B. Braun. -- São Paulo, 2008. 174 p.

Monografia (MBA em Energia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Planejamento de recursos hídricos 2.Energia hidrelétrica 3.Hidrometeorologia I. Braun, Paulo Victor Castello Branco II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia III.t.

1794792

RESUMO

O sistema hidráulico do Alto e Médio Tietê a jusante da confluência com o Rio Pinheiros é composto pelas barragens Edgard de Souza, Pirapora e pelas usinas de Rasgão e Porto Góes. Atualmente as duas primeiras barragens são dedicadas à função de controle de cheias. Elas operam constantemente deplecionadas, criando volume de espera para limitar as descargas no trecho de Rio que corta a Cidade de Pirapora do Bom Jesus, evitando inundações.

A instalação de hidrogeradores nas Barragens de Edgard de Souza e Pirapora será iniciada brevemente, então surge o desafio de maximizar a produção de energia sem abrir mão da segurança contra inundações, mantendo os níveis dos reservatórios mais altos quando não houver chuvas. A bacia do Rio Tietê a montante das estruturas contem a maior parte da Região Metropolitana de São Paulo, densamente povoada e impermeabilizada, Portanto, as ondas de cheia são muito rápidas e não é possível aguardar a ocorrência de chuvas intensas para iniciar o deplecionamento dos reservatórios.

O trabalho demonstra que as previsões de precipitações usando modelos atmosféricos e com a intervenção de meteorologistas já são precisas a ponto de prever eventos de precipitações extremos com mais de 24 horas de antecedência, suficientes para deplecionar os reservatórios antes da chegada das cheias.

As simulações realizadas sobre um modelo próprio em MS-Excel mostraram que um sistema de supervisão e apoio à decisão u previsões de chuva pode aumentar a produção de energia em cerca de 24.000 MWh/ano, ou cerca de 10% da energia produzida no sistema Edgard de Souza e Pirapora pela regra atual. Para as Usinas de Rasgão e Porto Góes, as simulações não revelaram ganhos energéticos.

Em paralelo com o aumento da produção de energia, o sistema proposto ainda permite a antecipação dos alarmes para as populações potencialmente afetadas pelas cheias, o treinamento realista de situações críticas para os operadores e supervisores e a eliminação de tarefas rotineiras. A energia adicional gerada pode ainda gerar créditos de carbono.

Palavras chave: Rio Tietê. Otimização de Reservatórios. Meteorologia

ABSTRACT

The hydraulic system in the Tietê's River high and medium courses comprises the Edgard de Souza and Pirapora Dams and two Power Stations, Rasgão and Porto Goes. Those two dams plays an important role by controlling floods downstream. Reservoirs works depletioned during all the time. These storage volumes allows to limit the spills thru Pirapora Dam, avoiding floods at Pirapora do Bom Jesus City downstream.

Hidrogenerators will be installed soon at Edgard de Souza and Pirapora Dams. The challenge is to increase the electricity production without decay the safety against floods, by keeping higher reservoirs levels in dry periods.

The upstream Tietê River's basin contents the bigger part of the São Paulo's Metropolitan Area. Soil impermeabilization is extensive, so the floods waves are truly fast. So, it isn't feasible to wait for the rain to start the reservoirs depletion.

This work shows that rain forecasting by atmospheric modelling are enough good to foresee extreme events with at least 24 hours in advance, just enough to empty the reservoirs before the floods.

The simulations made on a MS- Excel model shown that by using a Decision Support System based on weather forecasting may increase electricity generation by 24.000 MWh/yr, or about 10% of the energy produced by the present operational scheme. The simulations for Rasgão and Porto Goes Plants doesn't show any benefit.

Besides the growth in energy output, the proposed system allows the anticipation of flood alarms, the training of operational staff to work under extreme conditions and the elimination of repetitive tasks. The additional energy output may still produce carbon credits.

Keywords: Tietê River. Reservoir optimization. Meteorology.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características principais das estruturas hidráulicas do Rio Tietê a jusante da confluência com o Rio Pinheiros	19
Tabela 2.2	Principais parâmetros da Estação Climatológica Cidade de São Paulo	24
Tabela 2.3	Principais parâmetros fluviométricos em pontos notáveis no Rio Tietê	25
Tabela 2.4	Características principais dos reservatórios que compõem o Sistema Alto Tietê	26
Tabela 2.5	Características principais dos reservatórios que compõem o Sistema Guarapiranga-Billings, Grande e Cotia	28
Tabela 2.6	Características principais dos reservatórios que compõem o Sistema Cantareira	30
Tabela 2.7	Características principais do Sistema de Controle de Cheias e Geração	34
Tabela 2.8	Principais alterações de Regras Operativas do Sistema Tietê/Billings	35
Tabela 2.9	Empreendimentos energéticos previstos na Bacia do Alto-Médio Tietê em janeiro/2008	39
Tabela 3.1	Produtos fornecidos pelo radar de Ponte Nova	45
Tabela 3.2	Principais produtos oriundos do processamento de satélites meteorológicos	46
Tabela 3.3	Tabela de contingência para avaliação de desempenho de previsões meteorológicas	50
Tabela 3.4	Principais funcionalidades do sistema SIGMA	52
Tabela 3.5	Evolução da capacidade de processamento do CPTEC-INPE e a correspondente resolução obtida nos modelos atmosféricos Global e Regional	54
Tabela 3.6	Produtos de modelos atmosféricos determinísticos disponibilizados pelo CPTEC	56
Tabela 3.7	Exemplo de divisão em categorias de limiares de precipitação	60
Tabela 3.8	Avaliação estatística do experimento de downscaling estatístico	77
Tabela 3.9	Classificação de modelos aplicáveis em hidrologia	82
Tabela 4.1	Postos pluviométricos utilizados	98
Tabela 4.2	Parâmetros estatísticos dos pares (previsão de vazão x vazão)	101
Tabela 4.3	Exemplo de adoção de vazão prevista, para o reservatório Edgard de Souza.	113
Tabela 4.4	Resultados das simulações de reservatórios, energia total mensal e anual para Edgard de Souza e Pirapora (MWh)	114
Tabela 4.5	Extrato dos resultados das simulações para o caso I	116
Tabela 4.6	Extrato dos resultados das simulações para o caso II	117
Tabela 4.7	Extrato dos resultados das simulações para o caso III	118
Tabela 4.8	Extrato dos resultados das simulações para o caso IV	119
Tabela 4.9	Extrato dos resultados das simulações para o caso V	120

Tabela 4.10	Extrato dos resultados das simulações para o caso VI	121
Tabela 4.11	Extrato dos resultados das simulações para o caso VII	122
Tabela 4.12	Extrato dos resultados das simulações para o caso VIII	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Figura 2.1: Diagrama das bacias hidrográficas no leste do Estado de São Paulo	18
Figura 2.2	Vazões máximas registradas no Rio Tietê em Edgard de Souza	19
Figura 2.3	Rio Tietê em Pirapora do Bom Jesus.	20
Figura 2.4	Imagem do reservatório Pirapora mostrando as áreas expostas pelo menor nível de operação	21
Figura 2.5	Isoietas na região de influência dos estudos	23
Figura 2.6	Precipitação mensal e temperatura média - Estação Climatológica Cidade de São Paulo	24
Figura 2.7	Sistema Produtor Alto Tietê	37
Figura 2.8	Sistema Guarapiranga-Billings, Grande e Cotia	29
Figura 2.9	Representação do Sistema Cantareira	31
Figura 2.10	Representação da operação energética do Sistema Tietê/Billings	33
Figura 2.11	Representação da operação saneamento do Sistema Tietê/Billings	38
Figura 2.12	Representação esquemática do fluxo de dados na operação do Sistema EMAE	41
Figura 3.1	Mapa meteorológico dos Estados Unidos em 1872	43
Figura 3.2	Exemplo de tela de saída do radar de Ponte Nova	45
Figura 3.3	Comparação entre as precipitações medidas por satélites (esquerda) e pluviômetros (direita) para as precipitações acumuladas em fevereiro de 2005	47
Figura 3.4	Correlação entre a precipitação estimada pelo radar e a temperatura do topo das nuvens (esquerda) e a correlação entre a precipitações estimadas pelo radar e pelo satélite (direita)	48
Figura 3.5	Gráficos de dispersão comparando a medição de chuva por radar e a estimativa por satélite, para áreas de diferentes tamanhos	49
Figura 3.6	Avaliação do desempenho do sistema FORTRACC para o mês de março/2005	50
Figura 3.7	Exemplo de tela de saída do sistema SIGMA, mostrando a intensidade de precipitação no território brasileiro	52
Figura 3.8	Exemplo de sistema de coleta de dados para alimentação de modelos atmosféricos	53
Figura 3.9	Exemplo de discretização do meio em um modelo atmosférico	54
Figura 3.10	Aumento do grau de acerto nas previsões de médio prazo em função do tempo; modelo global, resolução 200 x 200 km, anomalias de altura geopotencial= 500 hPa	55
Figura 3.11	Exemplo de saída gráfica do espalhamento de ensemble	59
Figura 3.12	Exemplo de saída gráfica do diagrama em spaghetti	59
Figura 3.13	Exemplo de previsão de probabilidades para precipitação acumulada em 24 horas	61

Figura 3.14	Exemplo de saída gráfica de plumas de probabilidade geradas para a Cidade de São Paulo em 06/01/2008, com previsões de até 15 dias.	62
Figura 3.15	Níveis de previsibilidade climática para a América do Sul	64
Figura 3.16	Saída gráfica da previsão de anomalias de precipitação para o primeiro trimestre de 2008	64
Figura 3.17	Exemplo de saída gráfica em selos: Avaliação de desempenho de previsão de precipitação, modelo ensemble, 03/01/2008	66
Figura 3.18	Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, janeiro de 2007	66
Figura 3.19	Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, março de 2007	67
Figura 3.20	Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, maio de 2007	67
Figura 3.21	Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, julho de 2007	68
Figura 3.22	Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, setembro de 2007	68
Figura 3.23	Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, novembro de 2007	69
Figura 3.24	Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 24 horas	70
Figura 3.25	Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 48 horas	71
Figura 3.26	Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 72 horas	72
Figura 3.27	Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 96 horas	73
Figura 3.28	Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 120 horas	74
Figura 3.29	Imagens do Satélite GOES- 8 (a) dia 16/2/2002 e (b) dia 11/02/2006	75
Figura 3.30	Comparação entre a chuva observada, a previsão do modelo ETA e a previsão feita por “downscaling estatístico” (RNA-P) para as estações de Ubatuba (esquerda) e Catanduva (direita) entre 8 e 14 de fevereiro de 2006	77

Figura 3.31	Comparação entre a chuva observada, a previsão do modelo ETA e a previsão feita por "downscaling estatístico" (RNA e RNA-P) para as estações de Ubatuba (esquerda) e Catanduva (direita) entre 16 e 29 de fevereiro de 2002	78
Figura 3.32	Representação do ciclo hidrológico	79
Figura 3.33	Esquema do Sistema de Suporte à Decisão (SSD) do complexo Folsom	86
Figura 3.34	Exemplo de curva- guia	91
Figura 3.35	Esquema da diferença esperada entre uma curva-guia desenvolvida para operação sem previsão e uma curva-guia desenvolvida para operação com previsão de vazão	92
Figura 3.36	Benefícios da previsão perfeita de longo prazo em função do quociente: volume do sistema e volume afluente médio anual	93
Figura 3.37	Representação esquemática de um reservatório, destacando as variáveis que compõem o balanço hídrico	94
Figura 3.38	Representação da curva-guia construída a partir de segmentos de retas resultantes de parametrização	95
Figura 4.1	Correlação entre a média de chuva diária nos postos selecionados e a previsão Climatempo com horizonte de 24 horas	99
Figura 4.2	Correlação entre a vazão média diária em Edgard de Souza e as previsões Climatempo com horizonte de 24 horas, mostrando as retas de ajuste médio e máximo	100
Figura 4.3	Representação esquemática da cascata do Rio Tietê no trecho estudado	103
Figura 4.4	Curva de desempenho da unidade geradora 1 (original) da Usina Edgard de Souza	106
Figura 4.5	Representação da energia gerada mês a mês para as simulações realizadas	115

LISTA DE ABREVIações

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CAPPI	Constant Altitude Plan Position Indicator
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente (SP)
COS	Centro de Operação do Sistema (EMAE)
CPTEC	Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
ECMWF	European Centre for Medium-Range Forecasts
EMAE	Empresa Metropolitana de Águas e Energia
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ETS	Equitable Threat Score
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
GIS	Geographic Information System (o mesmo que SIG)
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MW	MegaWatt
MWh	MegaWatt hora
N.A.	Nível d'água
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration)
ONS	Operador Nacional do Sistema (Elétrico)
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidroelétrica
POD	Probabilidade de Detecção
RAF	Razão de falso alarme
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RNA	Rede Neural artificial
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SBSP	Código da Estação Meteorológica do Aeroporto de Congonhas
SCM	Sistema convectivo de meso-escala

SEE	Secretaria Estadual de Energia do Estado de São Paulo
SES	Secretaria Estadual de Energia e Saneamento do Estado de São Paulo
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGMA	Sistema de Informações Geográficas Aplicadas ao Meio Ambiente
SMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SRHSO	Secretaria Estadual de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo
SSD	Sistema de Suporte à Decisão
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UHE	Usina Hidroelétrica
USBR	U.S. Bureau of Reclamation
VCAN	Vórtice Ciclônico em Alto Nível
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZR	Relação entre a refletividade do radar meteorológico e a taxa de precipitação correspondente.

LISTA DE SÍMBOLOS

N.A	Nível d'água
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
$V(t+1)$	Volume do reservatório no tempo "t+1"
$V(t)$	Volume do reservatório no tempo "t"
E	Taxa de evaporação
A(t)	Área do reservatório
Na(jusante)	Nível d'água de jusante (canal de fuga)
Q(turb)	Vazão turbinada
N.A(montante)	Nível d'água de montante do reservatório
η	Rendimento turbina x gerador
H(liq)	Queda líquida
g	Aceleração da gravidade
SAISP	Sistema de alerta às inundações de São Paulo
Q(turb, bruta)	Vazão turbinada bruta
Q(turb,efetiva)	Vazão turbinada efetiva
$\bar{x}$	Média das amostras
α	Nível de significância
σ	Desvio padrão das amostras
n	Número de elementos da amostra
Q(95%)	Vazão máxima com 95% de confiança
P	Previsão de precipitação
g	Aceleração da gravidade
H(b)	Queda bruta
Q(efl)	Vazão efluente do reservatório
Δh	Perdas de carga nos circuitos hidráulicos das turbinas
$V(t+1)$	Volume do reservatório no tempo "t+1"
$V(t)$	Volume do reservatório no tempo "t"
Qafl	Vazão afluente média no período " Δt "
Qefl	Vazão efluente media no período " Δt "

Q(incr)	Vazão incremental
Q(max)	Vazão máxima
P	Previsão de precipitação
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora

1	INTRODUÇÃO	14
2	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA.....	18
2.1	Caracterização hidrometeorológica.....	23
2.2	Sistemas de abastecimento público.....	26
2.3	Sistemas de geração e controle de cheias.....	32
2.4	Descrição do sistema de controle de operação atual.....	39
3	PREVISÕES DE CHUVA, MODELOS HIDROLÓGICOS E SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO	42
3.1	Previsão de chuvas	43
3.2	Fontes de dados e ferramentas de análise	43
3.3	Avaliação de desempenho para as previsões de precipitação: princípios e exemplos	66
3.4	Modelos de conversão chuva x vazão	79
3.5	Sistemas informatizados de gerenciamento de reservatórios e suporte à decisão	84
3.6	Benefícios da previsão meteorológica na operação de reservatórios.....	88
4	ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO PARA O ALTO /MEDIO TIETÊ.....	96
4.1	Confiabilidade de previsão de chuvas na área da bacia do Alto Tietê.....	96
4.2	Comparação entre a chuva prevista e a chuva medida.....	97
4.3	Comparação entre chuva prevista e vazões registradas.....	99
4.4	Modelagem do sistema	102
4.5	Modelagem física das usinas na cascata.....	103
4.6	Modelagem hídrica	110
4.7	Simulações	111
4.8	Resultados.....	113
4.8.1	Apresentação.....	113
4.9	Comentários e discussões.....	123
4.10	Benefícios indiretos associados ao sistema.....	126
5	PLANO DE PROJETO.....	126
6	CONCLUSÕES	128
7	BIBLIOGRAFIA	130

8 ANEXOS

Anexo 1	Previsões de precipitações da empresa Climatempo.....	139
Anexo 2	Séries de vazões afluentes diárias em Edgard de Souza, Pirapora, Rasgão e Porto Góes.....	146
Anexo 3	Níveis d'água registrados diariamente nas estruturas.....	153
Anexo 4	Pares cota x volume para os reservatórios de Edgard de Souza, Pirapora, Rasgão e Porto Góes.....	163

1 INTRODUÇÃO

O trabalho refere-se à operação dos reservatórios e estruturas hidráulicas da bacia do rio Tietê, entre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e a Usina de Porto Góes (Salto, SP).

As condições originais da bacia foram alteradas pela grande concentração populacional, que cria necessidades de controle de cheias, abastecimento público e geração de energia elétrica. Existem efeitos perversos, como a má qualidade da água decorrente do lançamento de esgoto e lixo nos corpos d'água e a diminuição dos tempos de concentração de cheias, por conta da impermeabilização do solo associada à urbanização. Como os recursos são finitos e menores que as demandas, já não existem graus de liberdade suficientes para atender a todos esses sistemas plenamente durante todo o tempo. A administração desses sistemas é uma tarefa difícil, tanto na operação dia-a-dia quanto no planejamento de intervenções futuras.

O gerenciamento desse sistema tem como prioridade inquestionável o controle de cheias. Por segurança e por limitações técnicas, a filosofia de operação prevê a manutenção dos reservatórios que têm volume para amortecimento de cheias – Edgard de Souza e Pirapora – permanentemente em níveis de espera. Essa premissa garante a minimização dos efeitos físicos de uma cheia excepcional (níveis e vazões), ao mesmo tempo em que permite que o controle da operação continue sendo feito de forma bastante simples, com padrões tecnológicos remontando aos anos 1970, com enxertos pontuais na área de telemetria e tratamento/armazenamento de dados.

Por trás da aparente segurança do sistema atual, existem fragilidades que não devem ser ignoradas:

- Não existe ferramenta que permita fazer a avaliação quantitativa antecipada de eventos severos, portanto, não é possível acionar sistemas de alerta às populações potencialmente atingidas senão com uma antecipação pequena em relação à desejável.

- Não existe um suporte à decisão numérica para a operação. O descompasso entre as ferramentas disponíveis, as possibilidades oferecidas pela tecnologia no campo de ferramentas para apoio às decisões e a magnitude das consequências dessas decisões torna a rotina de gestão do sistema estressante para todos os níveis hierárquicos envolvidos na operação.
- O sistema de coleta, armazenamento e tratamento de dados ocupa mão-de-obra preciosa com processos rotineiros que poderiam ser automatizados.
- A função geração de energia é fortemente penalizada.
- Já existe um empreendimento privado na cascata operada pelo DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica e pela EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia, também controlada pelo estado de São Paulo. A Usina de São Pedro, embora seja muito pequena para interferir na operação global, representa um novo tempo, no qual será possível a presença de novos empreendedores de geração de energia no rio, que certamente exporá de vez o conflito entre controle de cheias e geração.

As tecnologias que podem apoiar uma ferramenta de controle operacional mais sofisticada que a atual existem, porém, a decisão pelas melhorias é difícil, por conta das características ímpares da bacia, onde qualquer erro de operação pode ter consequências severas. Afinal, apesar das limitações apontadas, o sistema atual garante a minimização dos efeitos físicos de uma cheia excepcional.

Paradoxalmente, ao mesmo tempo em que a geração de energia é penalizada pela filosofia de operação atual, esta é a única fonte de recursos não públicos que pode implantar e gerenciar um sistema moderno de operação na bacia.

O trabalho investiga as possibilidades para se otimizar a geração hidroelétrica sem abrir mão da segurança no controle de cheias, através de um sistema de operação antecipada, envolvendo previsão de chuvas e vazões. A alternativa possível para otimizar a geração de energia hidroelétrica nesse trecho de rio consiste em iniciar o deplecionamento dos reservatórios horas antes da efetiva ocorrência de chuvas, através da coleta e processamento de previsões meteorológicas.

O trabalho proposto tem como finalidade explorar e testar as seguintes hipóteses:

- Já é possível construir e aplicar uma ferramenta de apoio à decisão apoiada em previsões meteorológicas e modelos chuva x vazão para otimizar a geração na cascata de usinas no rio Tietê, sem prejuízo à função de controle de cheias, exercida através dessas estruturas.
- Os custos para a implantação e manutenção do sistema são baixos quando comparados aos benefícios econômicos decorrentes da sua aplicação.

O objetivo principal é verificar a viabilidade da implantação de um sistema de apoio à decisão de operação com base em previsões meteorológicas para a bacia do Alto/Médio Tietê.

Como objetivos secundários, enumeram-se:

- Coletar os dados básicos referentes ao sistema hidráulico do Alto/Médio Rio Tietê.
- Avaliar a confiabilidade das previsões meteorológicas na região da bacia do Alto/Médio Tietê, no que diz respeito à continuidade dos acertos (% de tempo) e nos eventos excepcionais, que caracterizam as cheias na bacia.
- Comparar, com enfoque energético, a operação atual (controle de cheias por níveis de espera) e a operação energética ideal.
- Estimar a eficiência e confiabilidade passível de obtenção com o sistema de previsão proposto. A eficiência é a razão entre as energias geradas na operação proposta e na operação energética ideal.
- Avaliar os benefícios indiretos decorrentes da implantação do sistema (treinamento/simulação de problemas, créditos de carbono).

O desenvolvimento do tema representa a resposta a uma questão eminentemente técnica, com repercussões econômicas importantes para a principal empresa que explora a energia hidroelétrica no trecho de rio.

Fornece aos responsáveis pelo sistema de operação do Tietê subsídios técnicos para tomar uma decisão quanto à conveniência de realizar investimentos para implantar um sistema de suporte à decisão em substituição ao sistema atual, que apresenta claros sinais de obsolescência.

Os trabalhos similares existentes abordam resultados para bacias mais amplas, nas quais as reações dos caudais – por consequência, das manobras de operação – frente às precipitações são significativamente mais lentas do que aquelas necessárias na bacia do Alto/Médio Tietê. O trabalho poderá servir de referência para sistemas similares em outras bacias com características próximas.

2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

O trabalho abrange a bacia do rio Tietê desde sua nascente (Salesópolis, SP) até a Usina de Porto Góes (Salto, SP), cortando a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). É denominado Alto Rio Tietê o trecho compreendido entre as nascentes até a cidade de Pirapora do Bom Jesus. Tem aproximadamente 250 km de extensão e 350 m de desnível, passando pela cidade de São Paulo (figura 2.1).

Essa região sofreu intensa urbanização, cujos efeitos sobre o sistema fluvial foram sintetizados pelo DAEE (1999):

Ao longo dos anos, o trecho do rio Tietê que atravessa a cidade de São Paulo sofreu alterações em suas condições de escoamento. Em sua condição natural, o rio Tietê e tributários importantes, como por exemplo o Tamanduateí e o Pinheiros, apresentavam morfologia caracterizada por meandros, o que indicava as baixíssimas declividades de seus talwegues e, portanto, dificuldade para o escoamento das ondas de cheia, criando grandes zonas de inundação, chamados leitos maiores. Através de sucessivas retificações e canalizações, procurou-se aumentar as suas pendentes e contê-las em canais mais amplos. Ganhou-se, com isso, espaço para que a urbanização pudesse se aproximar ainda mais dos canais dos rios.

A crescente urbanização da bacia fez com que as vazões de projeto dos canais do rio Tietê fossem cada vez maiores. Assim é que para o trecho Ponte das Bandeiras-Osasco, a vazão de projeto vislumbrada em 1894, que era de 174 m³/s, passou a ser de 400 m³/s em 1925, de 650 m³/s em 1968 e

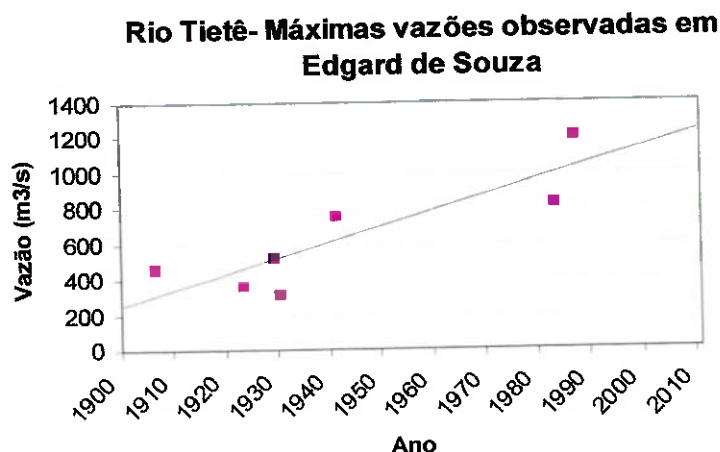


Figura 2.2- Vazões máximas registradas no rio Tietê em Edgard de Souza; adaptado de Maubertec, 1998.

Tabela 2.1- Características principais das estruturas hidráulicas do rio Tietê a jusante da confluência com o Rio pinheiros (GDASH, 2007).

	Bar. Edgard de Souza (*)	Bar. Pirapora (*)	UHE Rasgão (**)	UHE Porto Góes (*)
Coroamento da barragem (m)	717,61	700,00	663,00	520,00
Na Máximo normal útil (m) - projeto	716,80	698,00	662,00	519,43
Na Mínimo normal útil (m) - projeto	716,00	692,00	655,00	516,00
Na Normal Montante (m) - regra atual	712,00	688,00	662,00	519,43
Na Normal Jusante Máximo (m)	698,00	662,00	641,50	Em desvio
Volume do reservatório (m³ x 10³)	9.524	69.570	5.103	Fio d'água
Capacidade de descarga original (m³/s)	1.899	1150	1.356	814
Ano de construção	1.901	1956	1925	1928
Capacidade de descarga atual (m³/s)	3.885	1680	1.448	814
Ano de ampliação	1.984	1993	1992	-----
Potência instalada (a instalar) (MW)	(12,0)	(25,0)	22,0	24,6

As ampliações na capacidade de descarga dos órgãos vertentes das barragens não garantem por si a segurança das populações que vivem nas margens do rio Tietê.

Em particular, a cidade de Pirapora do Bom Jesus está sujeita a inundações sempre que a descarga na Barragem de Pirapora, imediatamente a montante, supera a faixa de 700 m³/s (EMAE, 2005). Ou seja, a calha do rio Tietê não suporta os picos de cheias provenientes da RMSP amplificados pela urbanização. A figura 2.3 mostra o casario que compõe o centro da cidade debruçando-se sobre o rio Tietê; a liberdade para oscilações de nível significativas sem afetar a cidade é muito pequena.

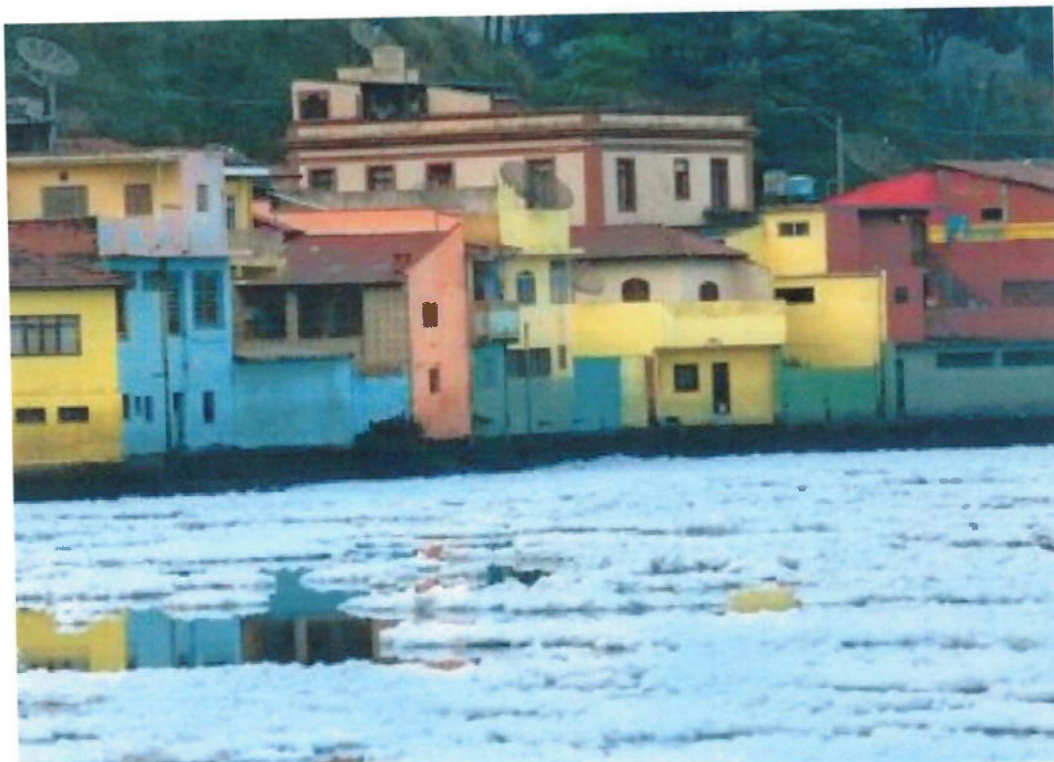


Figura 2.3- Rio Tietê em Pirapora do Bom Jesus.

Por isso, nas barragens de Edgard de Souza e Pirapora, o nível de montante normal foi alterado por regra operativa após as obras recentes de ampliação da calha do rio Tietê. Isso foi necessário na medida em que os tempos decorridos entre as chuvas na bacia a montante e as cheias são curtos, da ordem de poucas horas, impedindo o esvaziamento do reservatório a tempo após a ocorrência de chuvas na bacia. Essas novas regras de operação prevêm a manutenção, como meta e em caráter permanente, dos reservatórios de Edgard de Souza e Pirapora nas cotas 712,0 e 688,0 metros, respectivamente, abaixo dos níveis originais de projeto.

As novas regras atendem à função de laminação de cheias dos reservatórios, mas a manutenção dos níveis nesses patamares acarreta efeitos indesejáveis:

- Diminuição da produção de energia nas futuras PCHs Edgard de Souza (12 MW) e Pirapora (25 MW), pela relação direta entre as médias de queda e vazão.

- Diminuição da capacidade de regularização dos reservatórios de Pirapora e Edgard de Souza e conseqüente queda na produção de energia nas UHEs Rasgão (22 MW) e Porto Góes (24,6 MW).
- Estímulo à invasão daquelas áreas de reservatório transformadas em emersas em função da nova regra operativa. O destaque da figura 2.4 mostra um trecho do Reservatório de Pirapora aterrado e ocupado por terceiros



Figura 2.4- Imagem do Reservatório Pirapora mostrando as áreas expostas pelo menor nível de operação e um exemplo de invasão.(imagem Google)

O trecho do Médio Tietê Superior vai da barragem de Pirapora até o remanso com Barra Bonita. Tem 260 km de extensão e 218 m de desnível, dos quais aproximadamente 122 m compreendidos entre jusante de Rasgão até montante de Porto Góes. Nesse local, a área de drenagem é de 7.890 km².

Para permitir a caracterização da bacia e de suas peculiaridades físicas e operacionais, optou-se por abordar diferentes aspectos individualmente:

- Características hidrometeorológicas;
- Sistemas de abastecimento público;
- Sistemas de controle de cheias e geração de energia;
- Princípios operacionais.

2.1 Caracterização hidrometeorológica

No bojo do “Estudo de Inventário Hidroelétrico Simplificado do Rio Tietê” (ENGEORPS, 2003) foi feita uma revisão detalhada das características hidrológicas da bacia. Salvo anotação expressa, todas as informações deste item remontam a essa fonte.

O clima da bacia hidrográfica do Alto/Médio Tietê é temperado úmido – classe C, na classificação de Koeppen. O tipo temperado (Cfb) predomina na região do flanco continental da Serra do Mar, entendendo-se pela faixa compreendida entre as bordas superiores da escarpa da Serra do Mar e a porção mais alta do vale do rio Tietê. O tipo subtropical (Cfa), com verão mais quente que o tipo Cfb, é característico da encosta da vertente oceânica da Serra do Mar, estendendo-se pela porção mais baixa da bacia do Alto/Médio rio Tietê. O tipo Cwb – clima subtropical de altitude – é o tipo predominante na RMSP, incluindo uma larga faixa da bacia do Alto Tietê.

A figura 2.5 mostra as isoietas na região de influência dos estudos. É possível distinguir claramente a faixa de precipitações acima de 2.500 mm/ano ao longo da escarpa da Serra do Mar no litoral, e a tendência ao decréscimo na medida em que se avança em direção ao interior, até aproximadamente 1.300 mm anuais.

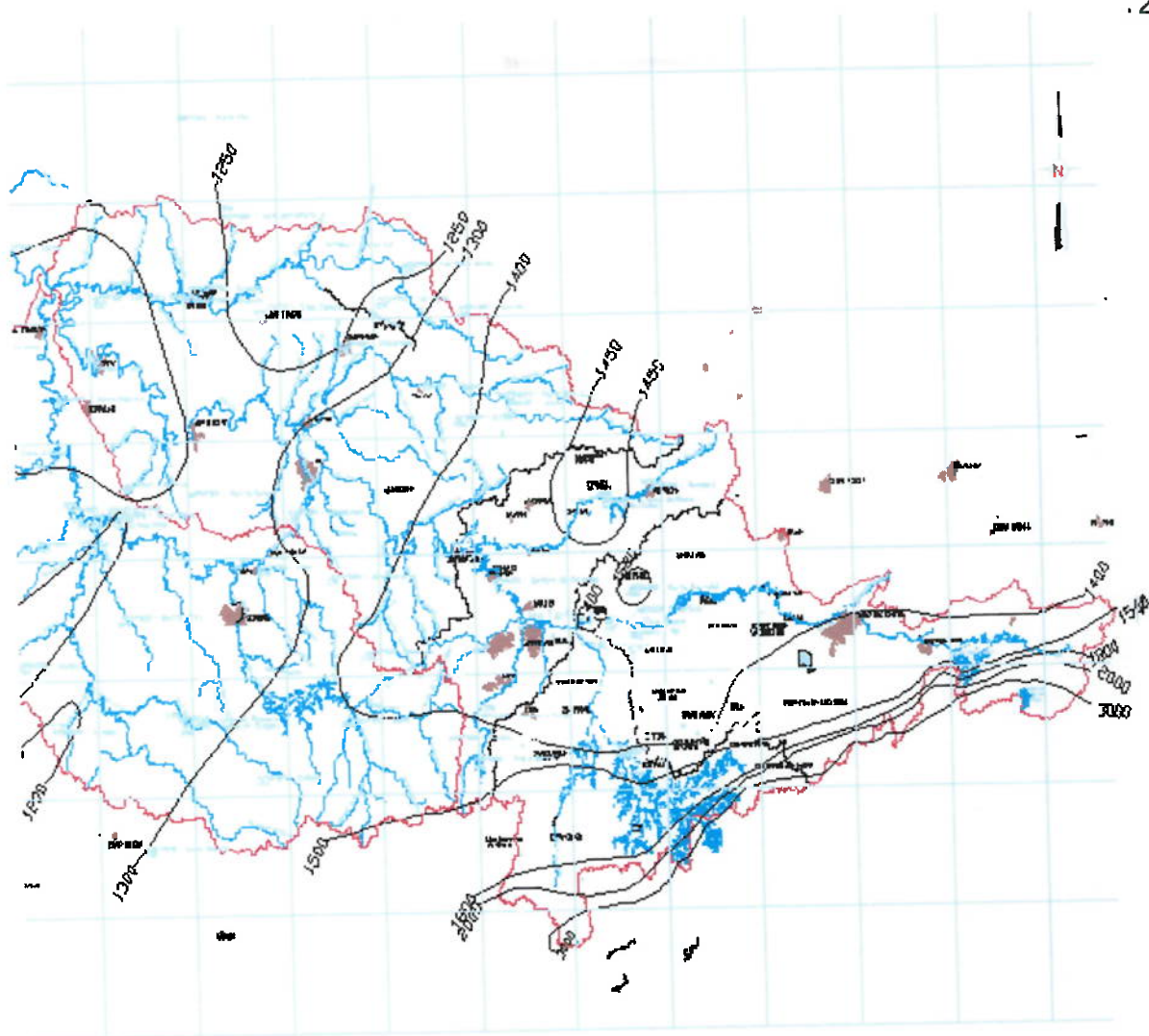


Figura 2.5- Isoietas na região de influência dos estudos (adap. ENGECORPS, 2003).

A tabela 2.2 apresenta os valores médios dos principais parâmetros climatológicos da Estação Climatológica da Cidade de São Paulo (ENGECORPS, 2003). A figura 2.6 apresenta a variação da temperatura média mensal e da precipitação média mensal.

A tabela 2.3 apresenta a síntese dos dados de postos fluviométricos no rio Tietê, com o propósito de caracterização fluviométrica. Notar que os resultados estão associados a medições, portanto, refletem as alterações existentes na Bacia.

Tabela 2.2- Principais parâmetros da Estação Climatológica Cidade de São Paulo. Fonte: Normais Climatológicas (1961 a 1990) (ENGECORPS, 2003).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pres Atmosférica (hPa)	923,5	924,2	924,9	926,2	927,4	928,7	929,4	928,3	927,2	925,4	923,8	923,2
Temp. média (C)	21,1	22,4	21,7	19,7	17,6	16,5	15,8	17,1	17,8	19,0	20,3	21,1
Temp. máxima (C)	27,3	28,0	27,2	25,1	23	21,8	21,8	21,8	23,3	23,9	24,8	25,9
Temp. mínima (C)	18,7	18,8	18,2	16,3	13,8	12,4	11,7	12,8	13,9	15,3	16,6	17,7
Precip. total (mm)	238,7	217,4	159,8	75,8	73,6	55,7	44,1	38,9	80,5	123,6	145,8	200,9
Evaporação total (mm)	99,9	86,9	88,4	80,7	79,8	78,2	77	74	77	79	78	80
Umidade relativa (%)	80	79	80	80	79	78	77	74	77	79	78	80
Insolação total (h)	148,0	144,5	144,6	140,0	152,4	145,2	164,4	156,5	125,8	135,6	144,7	130,4
Nebulosidade (0-10)	8,1	7,5	7,7	7,4	6,6	6,2	6,1	6,2	7,2	7,7	7,7	8,2

Parâmetros climatológicos Cidade de São Paulo

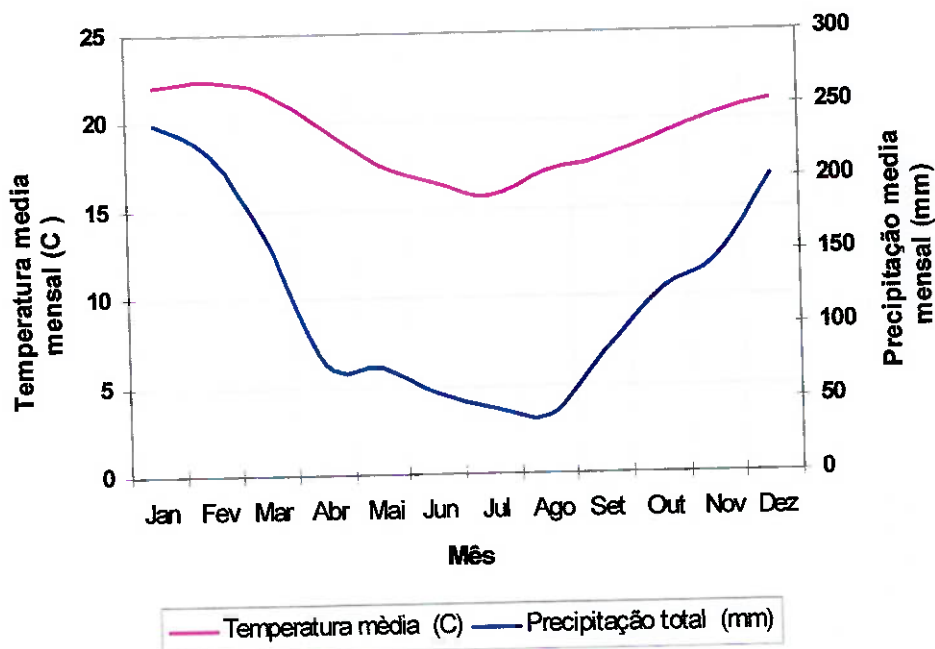


Figura 2.6- Precipitação mensal e temperatura média - Estação Climatológica Cidade de São Paulo. Fonte: Normais Climatológicas (1961 a 1990), Departamento Nacional de Meteorologia, 1992, *apud* ENGECORPS, 2003.

Tabela 2.3- Parâmetros fluviométricos em pontos notáveis no rio Tietê. Fontes: (1) DAEE 2007a (2) Engecorps (2003).

	Estaleiro DAEE (1)	Edgard de Souza (2)	Pirapora (2)	Rasgão (2)	Porto Góes (2)
Área de drenagem (km ²)	841,0	4.803	5.775	5.803	7.858
Precipitação (mm/ano)	1410	1.447	1.447	1.446	1.421
Vazão específica (l/s/km ²)	15,76	18,2	18,1	19,1	16,9
Coef. escoamento	--	0,40	0,39	0,42	0,37
Média (m ³ /s)	13,25	87,4	104,6	110,7	132,7
Máximo (m ³ /s)	22,44	367,0	399,0	419,4	574,2
Mínimo (m ³ /s)	7,86	16,7	24,9	28,7	30,1
Coef. variação	--	49,5	56,3	59,6	77,7
Desvio padrão	8,19	57,0	54,0	54	59
Média período crítico (m ³ /s)	--	75,6	91,3	97,0	113,6
Permanência (% do tempo)					
1	48,1	237,8	272,9	293,6	366,4
10	26,04	157,1	184,1	196,0	246,2
20	18,85	124,2	145,0	152,1	189,0
30	15,07	103,1	123,0	128,2	153,0
40	12,49	85,2	100,5	105,9	126,5
50	10,36	73,4	89,0	93,2	108,6
60	8,77	63,0	76,2	81,3	93,4
70	7,38	53,5	66,3	74,5	82,3
80	6,01	46,1	58,4	62,2	69,7
90	4,22	38,6	50,2	53,7	59,9
100	2,16	16,7	24,9	28,7	30,1

2.2 Sistemas de abastecimento público

Os principais sistemas de abastecimento de água são:

- Sistema Alto Tietê;
- Sistema Guarapiranga-Billings, Guarapiranga e Cotia;
- Sistema Cantareira.

O Sistema Alto Tietê (SABESP, 2007) é formado pelos rios Tietê, Claro, Paraitinga, Biritiba, Jundiá, Grande, Doce, Taiaçupeba-Mirim, Taiaçupeba-Açu e Balainho. O tratamento é realizado na Estação Taiaçupeba e atinge 10 m³/s para abastecer 3,1 milhões de pessoas da Zona Leste da capital e municípios vizinhos. O sistema pode ser ampliado até a vazão de 15 m³/s (DAEE, 2007b).

A tabela 2.4 resume as características dos reservatórios que compõem o sistema (DAEE, 2007b), também ilustrado na figura 2.7 (ENGEORPS, 2003):

Tabela 2.4- Características principais dos reservatórios que compõem o Sistema Alto Tietê.

	Ponte Nova	Paraitinga	Biritiba	Jundiaí	Taiapuêba
NA máximo normal (m)	770.00	768.80	757.50	754.50	747.00
Área de drenagem (km ²)	320	184.00	75	116	224
Área inundada (km ²)	28.07	6.43	9.24	17.42	19.36
Volume útil (x106 m ³)	296	35	34.40	60	87.90
Vazão regularizada m ³ /s	3.4	2.00	1.75	2.10	3.30

A concepção do Sistema Hidráulico do Alto Tietê indica a regularização das vazões através dos reservatórios de Ponte Nova e Paraitinga, cujas vazões efluentes adicionadas às contribuições naturais devem atender aos diversos usos ao longo do rio Tietê, além de permitir o desvio, logo a montante da foz do rio Biritiba, de até 7,5 m³/s através de um conjunto de canais e estações de bombeamento. Através de um sistema de canais e túneis, essas águas são conduzidas aos reservatórios de Jundiaí e Taiapuêba, que também recebem contribuições naturais dos rios homônimos.

Este sistema descarrega suas águas na Estação de Tratamento de Águas de Taiapuêba, servindo então ao Sistema Adutor Metropolitano (ENGEORPS, 2003). O Sistema Hidráulico do Rio Claro utiliza as águas do rio Claro, afluente da margem esquerda do rio Tietê, cuja foz situa-se logo a montante do Reservatório de Ponte Nova. O Sistema Hidráulico do Rio Claro é composto pelo Reservatório de Ribeirão do Campo. Este sistema é reforçado através da transposição de 500 l/s do ribeirão Guaratuba, curso d'água da vertente marítima. As vazões excedentes que não são aduzidas à Estação de Tratamento do Rio Claro, também conhecida como ETA Casa Grande, afluem ao Reservatório de Ponte Nova, compondo o Sistema Hidráulico do Alto Tietê (ENGEORPS, 2003).

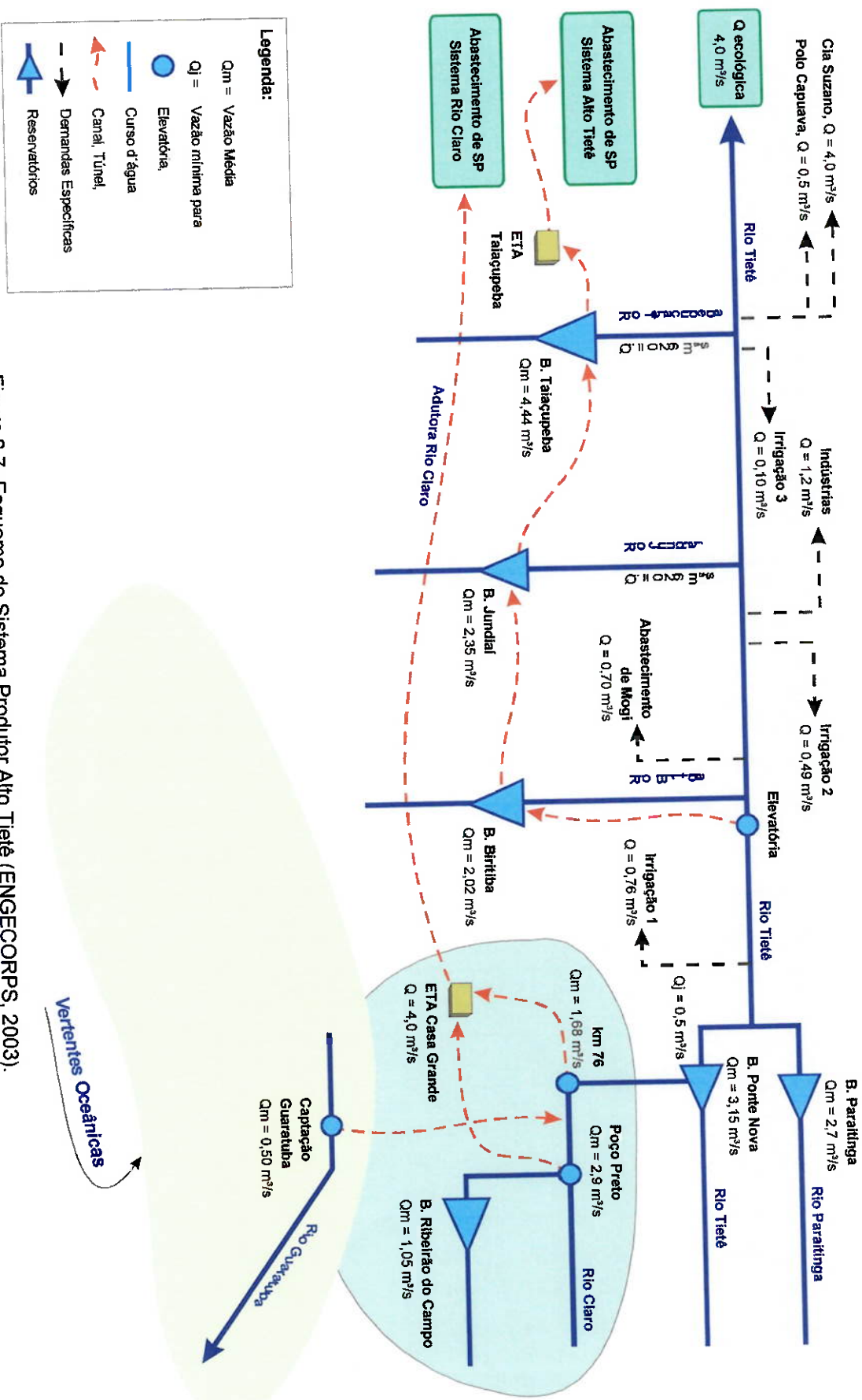


Figura 2.7- Esquema do Sistema Produtor Alto Tietê (ENGECORPS, 2003).

Os sistemas Guarapiranga-Billings, Grande e Cotia (figura 2.8) são de uso múltiplo, atendendo ao abastecimento d'água, geração de energia, controle de cheias, recreação e preservação ambiental. O Reservatório Guarapiranga é o principal componente do sistema. Produz 14 m³/s e abastece 3,8 milhões de pessoas das Zonas Sul e Sudoeste da capital (SABESP, 2007). O Reservatório Guarapiranga tem as afluições naturais reforçadas pela reversão do rio Capivari e Reservatório Billings, à razão de 2 m³/s médios.

O Sistema Billings é composto pela Usina Elevatória de Pedreira, do Reservatório Billings e da UHE Henry Borden. No canal Pinheiros estão implantadas as estruturas de Retiro e a estação elevatória de Traição, que permitem reverter o escoamento natural das suas águas, bombeadas para o Reservatório Billings na estação de Pedreira. Atualmente, as águas do rio Pinheiros são bombeadas para o Reservatório Billings apenas para controle de cheias (EMAE, 2005).

Na porção superior do rio Grande, formador do Reservatório Billings, a Barragem Anchieta separa o compartimento do rio Grande do corpo principal. Esse compartimento alimenta a ETA do Rio Grande, que abastece a região do município de São Bernardo do Campo e de Riacho Grande. (DAEE, 2001)

O Subsistema Cotia capta 1,6 m³/s médios. O Reservatório Pedro Beicht é o principal do sistema. A captação é feita no Reservatório Graça, que não tem capacidade de acumulação (tabela 2.5).

Tabela 2.5- Características principais dos reservatórios que compõem o Sistema Guarapiranga-Billings, Grande e Cotia (EMAE, 2005). (1) Inclui Braço Taquacetuba. (2) DAEE, 2001.

	Guarapiranga	Billings Compartimento Pedreira (1)	Billings Compartimento Rio Grande	Pedro Beicht (2)
NA máximo normal (EPUSP)	736,62	746,5	746,5	N.D.
Área de drenagem km ²	631	377	183	106
Área inundada km ²	29,27	104,29	20,68	N.D.
Volume útil m ³	189,2 x 10 ⁶	961,8 x 10 ⁶	153,1 x 10 ⁶	14,1 x 10 ⁶
Vazão regularizada (outorgada) m ³ /s	9,5 (14,0)	(2,0)	4,2	1,1

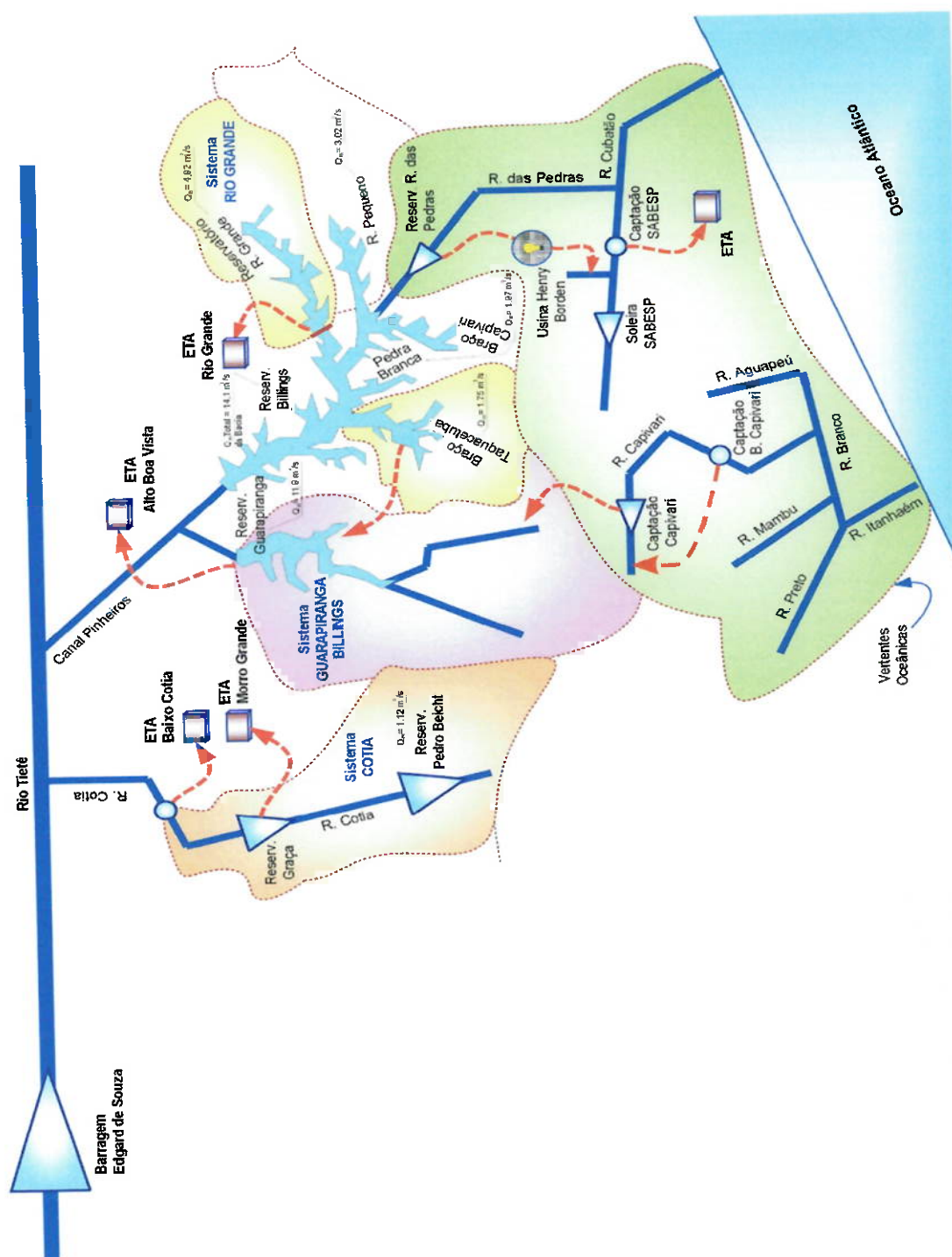


Figura 2.8- Sistemas Guarapiranga-Billings, Grande e Cotia (ENGEORPS, 2003).

O Sistema Cantareira é o maior da Região Metropolitana de São Paulo (figura 2.9). Na Estação do Guaraú são tratados $33 \text{ m}^3/\text{s}$ para atender a 8,1 milhões de pessoas das Zonas Norte, Central e parte das Zonas Leste e Oeste da capital, bem como os municípios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Guarulhos (parte), Osasco, Carapicuíba, Barueri (parte), Taboão da Serra (parte), Santo André (parte) e São Caetano do Sul. O sistema é formado pelos reservatórios dos rios Jaguari,

Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri (Paiva Castro) (SABESP, 2007). As principais características desses reservatórios estão reproduzidas na tabela 2.6

Tabela 2.6- Características principais dos reservatórios que compõem o Sistema Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri					
	Jaguari	Jacaré	Cachoeira	Atibainha	Juqueri
Área de drenagem km ²	631	377	183	N.D	106
Área inundada km ²	29,27	104,29	20,68	N.D	N.D
Volume útil m ³	595 x 10 ⁶		70 x 10 ⁶	100 x 10 ⁶	9,4 x 10 ⁶
Vazão média mensal m ³ /s	25,7		9,2	6,2	4,6

O princípio do sistema é a transposição das águas do Alto Piracicaba para a bacia do Alto Tietê, representando o principal manancial de abastecimento da RMSP. Os reservatórios são interligados através de túneis e canais, que deságuam no Reservatório de Águas Claras para alimentar a ETA Guaraú (ENGEORPS, 2003). A magnitude dos caudais revertidos para a bacia do Alto Tietê (33 m³/s) pela operação do Sistema Cantareira é suficiente para impactar a produção hidroelétrica no trecho do rio Tietê compreendido entre a confluência com o rio Pinheiros e a cidade de Salto, onde ocorre a confluência do rio Jundiá.

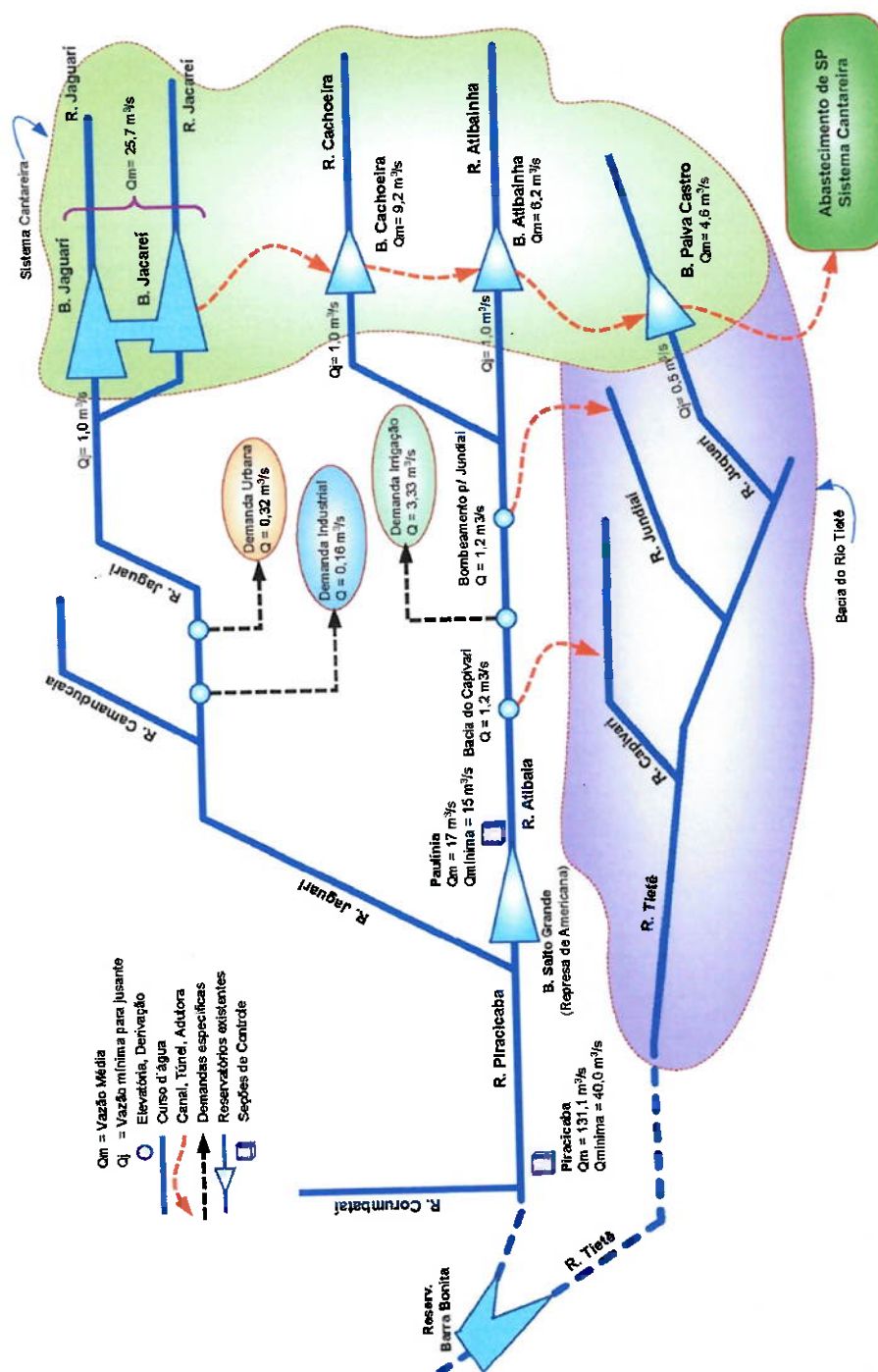


Figura 2.9- Representação do Sistema Cantareira

2.3 Sistemas de geração e controle de cheias

O Sistema Tietê/Billings foi concebido com fins exclusivamente energéticos. Após a construção da Usina de Parnaíba (no local da atual Barragem Edgard de Souza), em

1901, a construção do Reservatório do Guarapiranga para regularização do rio Tietê, em 1908, e a Usina de Rasgão, em 1925, iniciou-se a implantação do Reservatório do Rio das Pedras, em 1928 (EMAE, 2005).

O Reservatório Billings foi concluído em 1937 e ampliou a captação de água para a Usina Henry Borden, que sofria sucessivas ampliações para suportar o consumo crescente de energia elétrica. Em 1939, começou a operação da primeira unidade de bombeamento da Usina de Pedreira, seguida pela primeira unidade da usina de Traição, em 1940, marcando o início da reversão do Sistema Tietê/Pinheiros para o Reservatório Billings. A Usina Henry Borden continuou em processo de ampliação. Em 1955/56, foram construídas a Usina Elevatória de Edgard de Sousa e a Barragem de Pirapora, revertendo os caudais do rio Juqueri para a geração de energia em Cubatão (EMAE, 2005). A figura 2.10 representa a operação energética do sistema.

A partir dos anos 1970, o sistema passou a atender de forma explícita às funções de controle de cheias e abastecimento de água (EMAE, 2005):

- Em 1977, as Usinas Elevatórias de Pedreira e Traição foram ampliadas (270 m³/s e 280 m³/s, respectivamente) exclusivamente para atender às necessidades do controle de cheias.
- O Reservatório Guarapiranga passou a atender exclusivamente à captação de água bruta da Sabesp.
- Em 1981, o Reservatório Billings foi dividido pela Barragem Anchieta, e o compartimento Rio Grande passou a atender exclusivamente à captação de água bruta.
- Em 1984, a unidade de bombeamento existente em Edgard de Souza foi transferida para a Usina Elevatória de Pedreira, para reforçar a função controle de cheias. Conseqüentemente, os reservatórios de Pirapora e Edgard de Souza também passaram a atender exclusivamente à função cheias.
- Em 1986, a capacidade de vertimento da Barragem de Edgard de Souza foi ampliada, com a instalação das comportas de fundo. Em 1988, a Estrutura de

Retiro sofreu melhorias operacionais nas comportas. Em 1994, a capacidade de descarga em Pirapora foi ampliada, com a construção do túnel.

- Em 1989, a Barragem Móvel entrou em operação, e a partir do ano 2000, foi iniciado o rebaixamento da calha do rio Tietê.

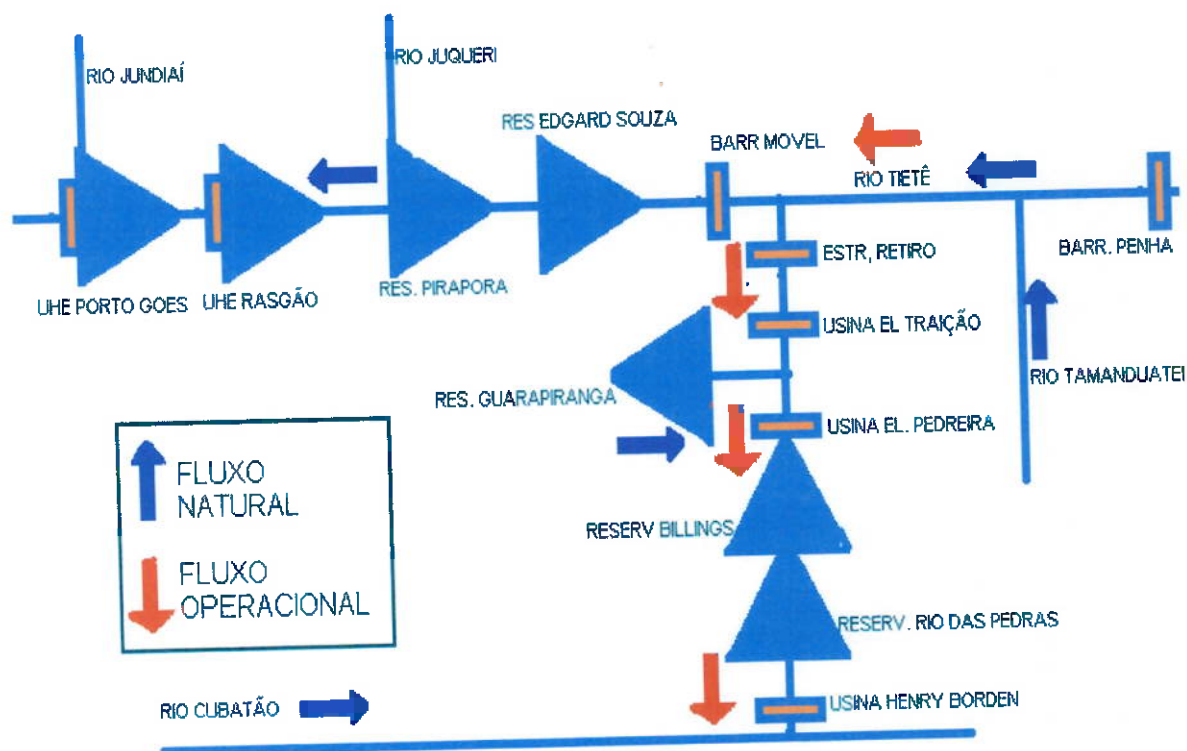


Figura 2.10- Representação da operação energética do Sistema Tietê/Billings.

As principais características técnicas do sistema estão estabelecidas na tabela 2.7. As alterações físicas nas estruturas hidráulicas foram acompanhadas por sucessivas alterações nas regras de operação. O exame da sequência dessas mudanças desde os anos 1970 (tabela 2.8) mostra a importância crescente dos aspectos “controle de cheias” e “saneamento” na operação do sistema:

Tabela 2.8- Principais alterações de regras operativas do Sistema Tietê/Billings (EMAE,2005).

PERÍODO	OPERAÇÃO VIGENTE	OBSERVAÇÕES
07/02/75 a 28/02/78	Saneamento	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira dependente da vazão afluente ao Reservatório de Edgard de Souza, do nível d'água do Reservatório Billings e de parâmetros de qualidade de água determinados pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental).
29/02/78 a 01/12/82	Energética	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira de toda a vazão afluente ao Reservatório de Edgard de Souza.
02/12/82 a 11/05/83	Edgard de Souza	As comportas da barragem de Edgard de Souza permaneceram totalmente abertas para controle de cheias resultando no rebaixamento dos níveis d'água do rio Tietê.
12/05/83 a 15/06/83	Saneamento	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira para o Reservatório Billings de 30 m ³ /s, muito abaixo do usual.
16/06/83 a 23/01/84	Saneamento	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira totalmente suspenso.
24/01/84 a 01/12/85	Saneamento-Balanceada	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira de metade da vazão afluente ao Reservatório de Edgard de Souza.
02/12/85 a 31/07/86	Energética	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira de toda a vazão afluente à Edgard de Souza. Utilização na UHE Henry Borden do montante previsto no "Plano de Operação" acrescido de metade da vazão afluente à Edgard de Souza, de forma a recuperar o N.A. do Reservatório Billings
01/08/86 a 31/08/86	Energética	Operação análoga à do período anterior, com utilização plena na UHE Henry Borden, acrescido de 27 m ³ /s relativo à necessidade de se suprir o valor previsto de substituição térmica.
01/09/86 a 30/09/86	Energética	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira de toda a vazão afluente à Edgard de Souza. Utilização da quantidade de água necessária para atender aos requisitos do balanço de energia.
01/10/86 a 14/11/86	Energética	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira de toda a vazão afluente à Edgard de Souza. Utilização para geração de energia de, no máximo, em 60 m ³ /s.
15/11/86 a 30/04/87	Energética	Bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira de toda a vazão afluente à Edgard de Souza. Utilização para geração de energia na UHE Henry Borden de 120 a 138 m ³ /s para atender às necessidades energéticas da região Sudeste.
20/07/87 a 21/05/89	Saneamento-Balanceada	Às 17 horas do dia 20/07/1987 foi reiniciada a Operação Saneamento. Inicialmente com descarga de 10 m ³ /s na Barragem de Edgard de Souza por 48 horas, aumentando-se, a seguir, para 25 m ³ /s por mais 48 horas e, finalmente, implantando-se a Operação Balanceada. A vazão utilizada inicialmente para a geração de energia foi fixada, inicialmente, em 60 m ³ /s, sendo elevado para 75 m ³ /s, a partir de 24/07/87, podendo ser aumentado em caso de necessidade de controle dos níveis d'água no Reservatório Billings.
		(continua)

Tabela 2.8: Principais alterações de regras operativas do Sistema Tietê/Billings. (continuação)

PERÍODO	OPERAÇÃO VIGENTE	OBSERVAÇÕES
22/05/89 a 27/12/89	Barragem Móvel- aprofundamento da calha do rio Tietê	A partir das 8 horas do dia 22/05/1989, com a entrada em operação da Barragem Móvel do DAEE no rio Tietê, próxima à confluência com o Pinheiros, a operação foi fixada com descarga em torno de 10 m ³ /s naquela barragem, sendo bombeado na Estação Elevatória Pedreira o restante da vazão afluyente ao rio Tietê para o Reservatório Billings. Essa operação implicava bombeamento, variando em torno de 80% da vazão afluyente à Edgard de Souza.
28/12/89 a 19/04/90	Saneamento- Balanceada	Barragem Móvel deveria ser mantida totalmente aberta. O bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira deveria ser de 50% da vazão afluyente à barragem de Ed. de Souza.
20/04/90 a 16/01/91	Barragem Móvel- Saneamento- Balanceada	A partir das 17 horas de 20/04/90, as descargas na Barragem Móvel ficaram limitadas a 40 m ³ /s para permitir a navegação e a sequência dos serviços de aprofundamento da calha do rio Tietê, no trecho sob responsabilidade da EMAE. Quando necessário, foram feitas descargas superiores a esse valor, pelo período máximo de 1 hora, de forma a balancear as descargas.
17/01/91 a 03/06/91	Saneamento- Balanceada	Barragem Móvel deveria ser mantida totalmente aberta. O bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira deveria ser de 50% da vazão afluyente à barragem de Edgard de Souza.
04/06/91 a 06/12/91	Barragem Móvel- Aprofundamento da calha do rio Tietê	Reinício das obras de aprofundamento da calha do rio Tietê, no trecho sob responsabilidade do DAEE. As descargas na Barragem Móvel foram limitadas a 15 m ³ /s, sendo que o restante foi bombeado para o Reservatório Billings através da Estação Elevatória de Pedreira.
07/12/91 a 05/10/92	Saneamento- Balanceada	Barragem Móvel totalmente aberta. O bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira deveria ser de 50% da vazão afluyente à barragem de Edgard de Souza.
06/10/92 a 24/06/93	Saneamento- Resolução Conjunta	Atendendo à Resolução Conjunta SMA-SES nº 03/92, de 04/10/92 (Secretarias de Meio Ambiente e Energia e Saneamento), o bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira seria feito apenas para controle de cheias quando a vazão prevista no Reservatório Edgard de Souza for superior a 160 m ³ /s ou ocorrer uma elevação do nível d'água de 30 cm ou mais no Canal Pinheiros Inferior, na estrutura de Retiro (qualquer dos lados) ou na Estação Elevatória de Traição. A resolução previa bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira também para fornecimento de energia elétrica em situações emergenciais, como na formação de espumas, bloom de algas e intrusão salina no rio Cubatão. No entanto, o bombeamento nunca foi acionado por esses motivos. A vazão para geração hidrelétrica na UHE Henry Borden foi mantida em 50 m ³ /s para atender às necessidades da bacia do rio Cubatão.
24/06/93 a 30/06/93	Saneamento- Consema	O Governo do Estado de São Paulo limitou vazão para geração hidrelétrica na UHE Henry Borden à vazão natural das bacias dos Reservatórios Billings e Rio das Pedras, deixando de atender às necessidades da Bacia do Rio Cubatão. O bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira seria feito apenas para controle de cheias.

(continua)

Tabela 2.8: Principais alterações de regras operativas do Sistema Tietê/Billings (continuação)

PERÍODO	OPERAÇÃO VIGENTE	OBSERVAÇÕES
01/07/93 a 08/07/93	Saneamento-Atendimento à Bacia do Rio Cubatão	Por determinação do Governo do Estado de São Paulo, a vazão para geração hidrelétrica na UHE Henry Borden voltou a ser de 50 m ³ /s. A vazão bombeada na Usina Elevatória de Pedreira foi liberado no valor mínimo necessário à manutenção do volume armazenado no Reservatório Billings em um terço do volume útil. O enchimento do reservatório só seria possível com bombeamento realizado para controle de cheias, o que não ocorreu nesse período.
08/07/93 a 28/07/93	Saneamento-Consema	Por decisão judicial (Mandado de Citação de 08/07/93), a operação volta a ser feita de acordo com a Moção nº 03/93, de 07/06/93, do Consema.
28/07/93 a 01/09/93	Saneamento-Atendimento à Bacia do Rio Cubatão	Com a cassação da liminar que impedia o bombeamento, a operação volta a ser feita como aquela descrita para o período de 01 a 08/07/93.
01/09/93 a 14/07/94	Saneamento-Secretários de Estado	Por determinação dos Secretários de Estado de Energia, de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos, às 21h do dia 01/09/93, o bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira para o Reservatório Billings voltou a ser suspenso e a vazão para geração hidrelétrica foi fixada em um valor médio diário de 4 m ³ /s. O bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira está liberado para controle de cheias, conforme critério definido em 06/10/92.
15/07/94 a 20/11/94	Saneamento-Secretários de Estado	O bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira é permitido apenas para controle de cheias. A vazão para geração hidrelétrica corresponde à produção natural das bacias da Billings e do rio das Pedras acrescidas dos eventuais bombeamentos para controle de cheias, estimado em cerca de 22 m ³ /s médios anuais. No período, em função de problemas elétricos, foram utilizadas vazões acima do estabelecido para atendimento emergencial.
21/11/94 a 31/12/94	Saneamento-Atendimento ao Sistema Interligado	Aumento da retirada do Reservatório Billings para a geração hidrelétrica na UHE Henry Borden estabelecido em 35 m ³ /s devido ao período hidrológico desfavorável no Sistema Interligado Nacional. O bombeamento na Estação Elevatória é permitido apenas para controle de cheias.
A partir de 01/01/95	Saneamento-Secretários de Estado	A operação volta a ser feita como descrito para o período de 15/07 a 20/11/94. Em 13/03/96, foi editada a Resolução SEE-SMA-SRHSO-1, atualizando os termos da Resolução Conjunta SMA-SES-03/92 e excluindo-se a possibilidade de bombeamento na Estação Elevatória de Pedreira por intrusão da cunha salina em Cubatão. As demais situações foram mantidas inalteradas.
A partir de 01/03/97	Vazão mínima para geração de 6 m ³ /s na UHE Henry Borden	A partir de 01/03/97, adotada uma vazão mínima para geração hidrelétrica na UHE Henry Borden de 6 m ³ /s, incluída na Programação Diária de Geração do Operador Nacional do Sistema (ONS).
A partir de 01/11/07	Bombeamento de até 10m3/s	Testes do Sistema de Despoluição do Rio Pinheiros (flotação)
1 - O histórico acima refere-se à destinação das águas em condições normais de operação (a operação para controle de cheias é sempre prioritária em relação à operação normal).		
2 - As vazões que constam desta tabela referem-se às médias diárias.		

O resultado da sequência de alterações operacionais é mostrado na figura 2.11 (EMAE, 2005):

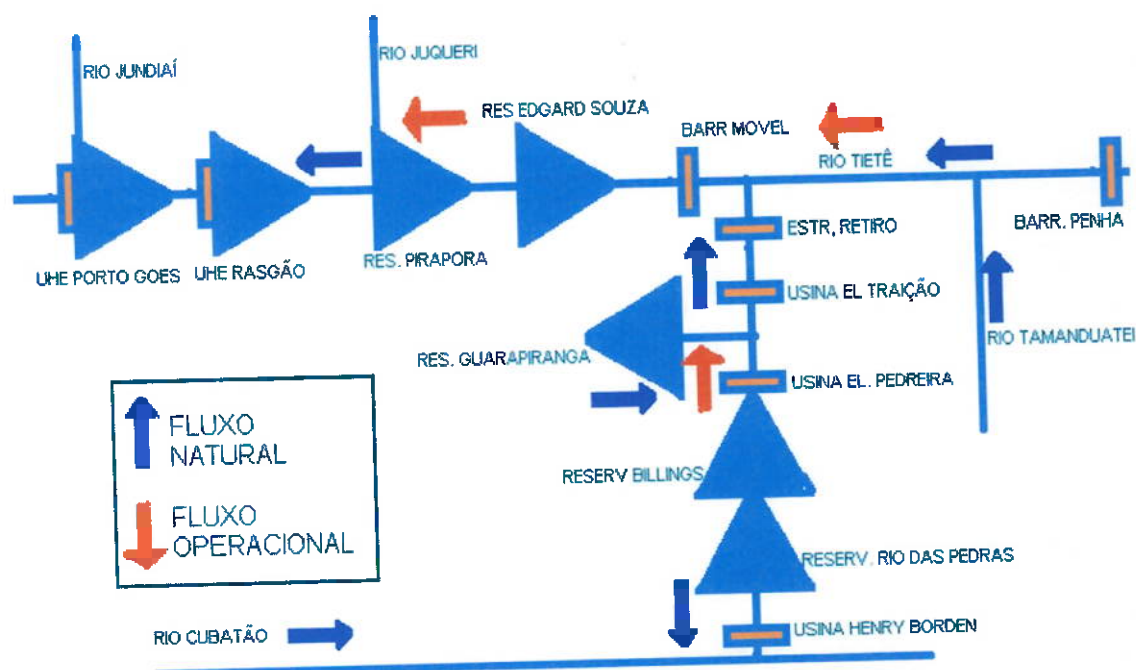


Figura 2.11: Representação da operação saneamento do Sistema Tietê/Billings (EMAE, 2005)

2.4 Descrição do sistema de controle de operação atual

Participam da operação do sistema as seguintes entidades:

- SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo;
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo;
- EMAE – Empresa de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

Essas entidades são controladas pelo Governo do Estado de São Paulo. A subordinação a um único agente, mais o tempo de existência do sistema e as alterações impostas pelo crescimento da ocupação na bacia geraram um modelo de administração e operação complexo, que vem sendo modificado ao longo de décadas. Nesse contexto, é natural que surjam algumas incongruências, como o Reservatório Guarapiranga, que é mantido e operado pela EMAE, mas cuja exploração econômica é feita pela SABESP. O DAEE, por exemplo, mescla as

funções de órgão responsável pelo gerenciamento do uso da água e controle de cheias com a função de executor de obras e proprietário de reservatórios.

Em contraponto a esses inconvenientes, o controle estatal sobre todo o sistema e a tradição traz algumas vantagens, como a flexibilidade para atender, com decisões tomadas em nível de sala de controle, a situações que dificilmente teriam soluções previstas em um manual. O controle estatal também propicia a minimização de conflitos de operação, pela possibilidade de diminuição do peso conferido aos aspectos econômicos. Esse quadro pode sofrer alterações significativas ao longo dos próximos anos, com a inserção de agentes privados na exploração dos recursos energéticos no trecho do rio Tietê compreendido entre Santana do Parnaíba e o Remanso de Porto Góes (tabela 2.9). O incremento da geração comercial de energia deve propiciar o aparecimento de conflitos econômicos no dia-a-dia da operação, sugerindo a necessidade de ferramentas quantitativas melhores para suporte à decisão.

Tabela 2.9- Empreendimentos energéticos previstos na Bacia do Alto/Médio Tietê (junho/2008).

Empreendimento	Potência (MW)	Situação em janeiro/2008	Titular dos direitos
UHE Edgard de Souza (1)	10	Início iminente	EMAE
PCH Pirapora (1)	25	Início iminente	EMAE
PCH Pirai	22	Projeto básico	Em aberto (2)
PCH Guaxatuba	11	Projeto básico	Em aberto (2)
PCH Pedra Azul	30	Projeto básico	Em aberto (2)
UHE São Pedro	2	Revitalizada - em operação	Arbeits Energia
PCH Salgueiro	27	Licenciamento ambiental	Constr. Gomes Lourenço

(1) Motorização de barragens existentes.

(2) Mais de uma empresa possui registro de projeto básico junto à Aneel (junho/2008).

A EMAE é a responsável pela operação do trecho do rio Tietê entre o remanso de Edgard de Souza e Porto Góes na corporação, as tarefas relativas à operação são divididas entre duas unidades gerenciais: o Departamento de Geração Hidráulica e o Departamento de Planejamento da Operação.

As principais tarefas do Departamento de Geração Hidráulica estão relacionadas à operação em campo, manutenção de rotina e administração de pessoal nas usinas e barragens, incluindo a coleta em campo de dados hidráulicos, hidrológicos e de geração.

As atividades do Departamento de Planejamento da Operação incluem a operação centralizada do sistema, a partir do COS – Centro de Operação do Sistema, cujo funcionamento é ininterrupto. As suas principais funções são:

- Manutenção do manual de operação hidráulica, que reúne todas as regras e diretrizes de caráter permanente a serem cumpridas na operação do sistema;
- Preparo da instrução semanal de operação. Esse documento é complementar ao manual de operação e contém as diretrizes de caráter temporário, como, por exemplo, as restrições associadas à manutenção de equipamentos;
- Fazer cumprir o manual de operação e a instrução semanal, tomando decisões conforme as condições instantâneas verificadas no sistema e despachando para os operadores em campo as ordens correspondentes;
- Recebimento, consistência, processamento e armazenamento de dados relativos à operação: vazões, geração, pluviometria. Na maioria das estruturas e usinas, os dados principais são colhidos de hora em hora por telefone ou rádio. Em algumas estruturas, existe um sistema telemétrico em fase de testes. Mensalmente, os dados completos de cada uma das estruturas são consolidados no campo em um cd-rom. O armazenamento dos dados é feito em MS-Excel. Os dados recentes são armazenados no servidor corporativo. Por questão de espaço, de tempos em tempos os dados mais antigos são retirados do servidor e armazenados em mídia ótica;
- Recebimento de informações hidráulicas de outros agentes atuantes na bacia, como SABESP e DAEE; interação com essas duas entidades, para atendimento a situações específicas;
- Envio de informações hidráulicas e de geração para a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e ONS – Operador Nacional do Sistema (elétrico). Interação com o ONS referente ao despacho centralizado do sistema elétrico;
- Interação de caráter normativo com o DAEE, ANEEL e SABESP.

O fluxo de dados envolvendo a operação na EMAE está resumido na figura 2.12.

Para a tomada de decisões envolvendo o controle de cheias, o Centro de Operações do Sistema recebe em tempo real os dados do radar meteorológico de Ponte Nova, operado pelo FCTH/DAEE.

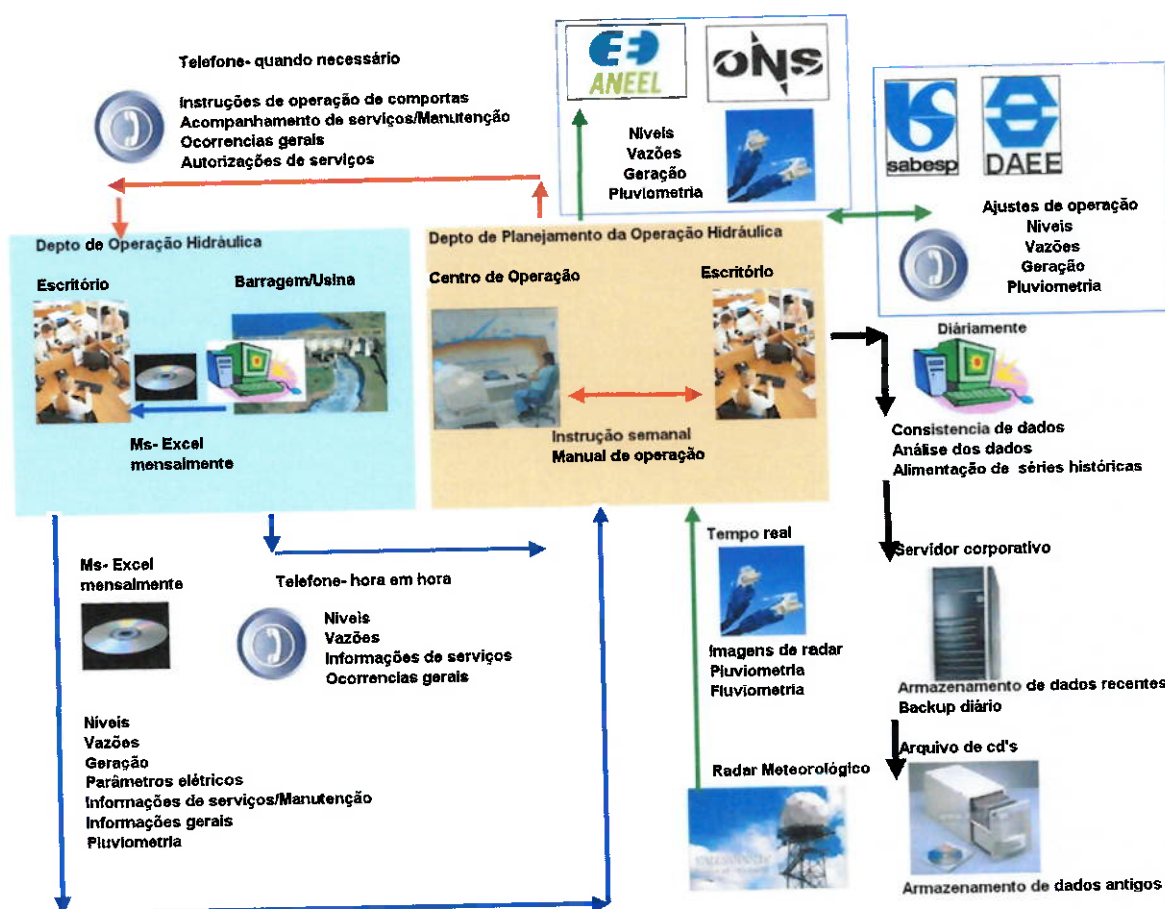


Figura 2.12- Representação esquemática do fluxo de dados relativos à operação do Sistema EMAE.

3 PREVISÕES DE CHUVA, MODELOS HIDROLÓGICOS E SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

O capítulo traz o referencial teórico dos campos de conhecimento e tecnologia relacionados com o modelo de suporte à decisão que é objeto do trabalho:

- Previsão de chuvas;
- Fontes de dados e ferramentas de análise;

- Avaliação de resultados de previsão do tempo;
- Modelos chuva x vazão;
- Modelos de suporte à decisão na operação de reservatórios;

3.1 Previsão de chuvas

O item enfoca os principais processos envolvidos na previsão e aferição das precipitações. Mais do que a descrição do arsenal tecnológico à disposição dos meteorologistas, os autores chamam a atenção para alguns fatores que determinam a qualidade da previsão meteorológica, complementarmente:

- Fontes de dados (densidade e qualidade);
- Comunicação eficiente entre o ponto de coleta de dados e o local de processamento/interpretação;
- Ferramentas de análise e processamento;
- Intervenção de meteorologista;
- Comunicação eficiente das observações e prognósticos aos interessados.

3.2 Fontes de dados e ferramentas de análise

A invenção do telégrafo, em 1843, permitiu a transmissão rotineira de observações de tempo de diversos locais para meteorologistas, simultaneamente. Usando esses dados, mapas climáticos grosseiros eram obtidos e, assim, identificados padrões de vento de superfície e de tempestade. A figura 3.1 mostra um mapa de 1872, produzido pela área de meteorologia do exército norte-americano.

Em 1950, o desenvolvimento dos computadores permitiu a elaboração de modelos atmosféricos que resolviam as equações que simulavam os processos físicos da atmosfera. Os computadores também eram usados para analisar e representar as variáveis meteorológicas graficamente, usando dados das estações meteorológicas (ESTEIO, 2007).

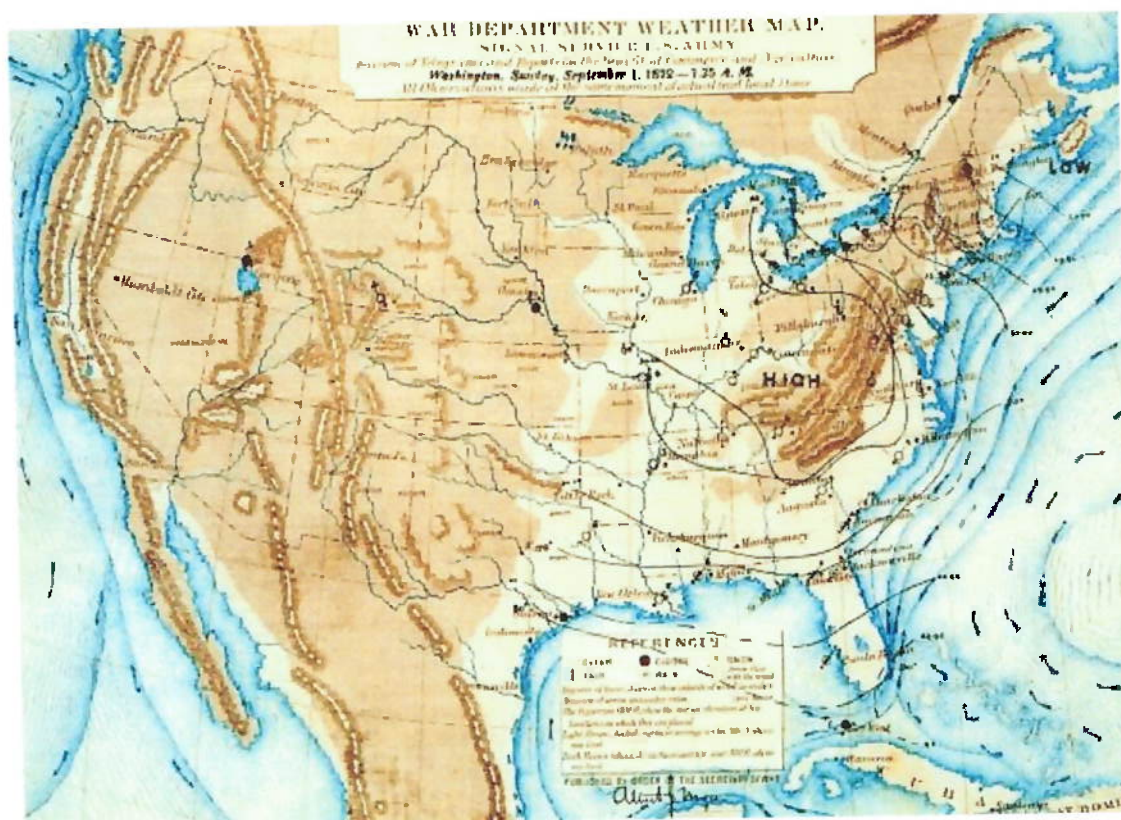


Figura 3.1- Mapa meteorológico dos Estados Unidos: 1/setembro/1872, 7:35 AM (Esteio, 2007).

A meteorologia satelital surgiu com o lançamento do primeiro satélite meteorológico, em 1960. Esse satélite, TIROS I (*Television InfraRed Observation Satellite*), foi o primeiro de mais de 50 satélites que foram lançados para monitoramento de eventos de tempo (ESTEIO, 2007).

No Brasil, as previsões meteorológicas começaram a ser produzidas em 1917, pela Diretoria de Meteorologia e Astronomia, do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio (FAPESP, 1999). A entidade dispunha de 250 estações meteorológicas e deveria "dar o aviso aos navegantes e agricultores sobre o tempo, noticiar por telégrafo a aproximação de tempestades, pesquisar as secas e o regime dos rios, propor medidas que amenizassem a escassez de água e realizar observações astronômicas". A previsão meteorológica era dependente da experiência do meteorologista, da rede de observação disponível e da rapidez com que os dados podiam ser transmitidos do ponto de origem ao local de análise.

Nos anos 1960 e 1970, muitos paulistanos habituaram-se a ouvir as previsões de Narciso Vernizzi na Rádio Jovem Pan. Vernizzi teve o mérito de difundir o serviço de meteorologia no rádio, levando informação meteorológica à população em geral. O "Homem do Tempo" entrou na profissão em 1963. Para levar ao ar seus boletins,

mantinha contato com a Força Aérea Argentina e com a Nasa (VEJA, 2005), além de uma rede de “informantes”, que eram consultados diariamente.

No Brasil, até 1994, os dados de superfície coletados através das estações convencionais, sondagens, bóias, navios etc. e transmitidas via rádio teletipo (Telex). As cartas da América do Sul eram plotadas manualmente a cada 3 horas, e as imagens de satélites eram recebidas em papel, através de aparelhos de fax. Os modelos dinâmicos eram rodados no exterior e recebidos prontos (SAMPAIO, 2007).

Os radares meteorológicos começaram a ser empregados nos anos 1950, quase simultaneamente com os primeiros modelos atmosféricos rodados em computador. Apesar de alcance limitado (55 km), o radar era usado como um instrumento para detectar, de maneira remota, onde uma precipitação estava acontecendo. Além disso, rastreava instrumentos de medição atmosférica em balões (ESTEIO, 2007).

O princípio de funcionamento do radar meteorológico é descrito por FCTH (2007):

Quando passam por uma nuvem, as ondas eletromagnéticas emitidas pelo radar causam em cada gota uma ressonância na frequência da onda incidente, de modo que cada gota produz ondas eletromagnéticas, irradiando em todas as direções. Parte desta energia gerada pelo volume total de gotas iluminado pelo feixe de onda do radar volta ao prato do radar e, sabendo-se o momento em que o feixe de onda foi emitido pelo radar e quanto tempo depois o sinal retornou, determina-se a distância do alvo ao radar. A intensidade do sinal de retorno está ligada ao tamanho e distribuição das gotas no volume iluminado pelo radar.

O radar não mede diretamente precipitação, mas a intensidade dos reflexos das ondas eletromagnéticas refletidas nas gotas de chuva (refletividade), que guarda relação com a intensidade de precipitação (Zr). O limiar de detecção da maioria dos radares meteorológicos é de 1 mm/h, à distância de 190 km (FCTH, 2007).

Os radares meteorológicos modernos se valem de software para tratamento de dados e podem gerar diferentes informações, como exemplificado na tabela 3.1. A figura 3.2 reproduz uma saída em tela do radar de Ponte Nova, operado pelo DAEE-SP:

Tabela 3.1- Produtos fornecidos pelo radar de Ponte Nova (FCTH, 2007).		
Produto	Descrição	Taxa de atualização e resolução
CAPPI	<i>Constant Altitude Plan Position Indicator</i> . Mapa de chuva em tempo real. Os dados de chuva na área do radar são interpolados num nível de altura constante entre 1,5 a 18,0 km de altura.	5 minutos 2 x 2 km
ECHO-TOP	Indicação da altura máxima das nuvens útil para se avaliar o potencial de precipitação dos sistemas.	5 minutos 2 x 2 km
ACUMM	A informação de precipitação acumulada em um determinado período é feita pela integração dos dados de CAPPI no tempo.	1 hora, 12 horas e 24 horas; este último é sempre gerado às 7 horas da manhã
GUST	Previsão de campo de estimativas de rajadas de vento próximo à superfície, para os próximos 5 a 15 minutos.	5 minutos 2 x 2 km
VIL	<i>Vertically Integrated Liquid Water Content</i> . O campo mostra a disponibilidade de água líquida nos sistemas em kg/m^2 .	5 minutos 2 x 2 km

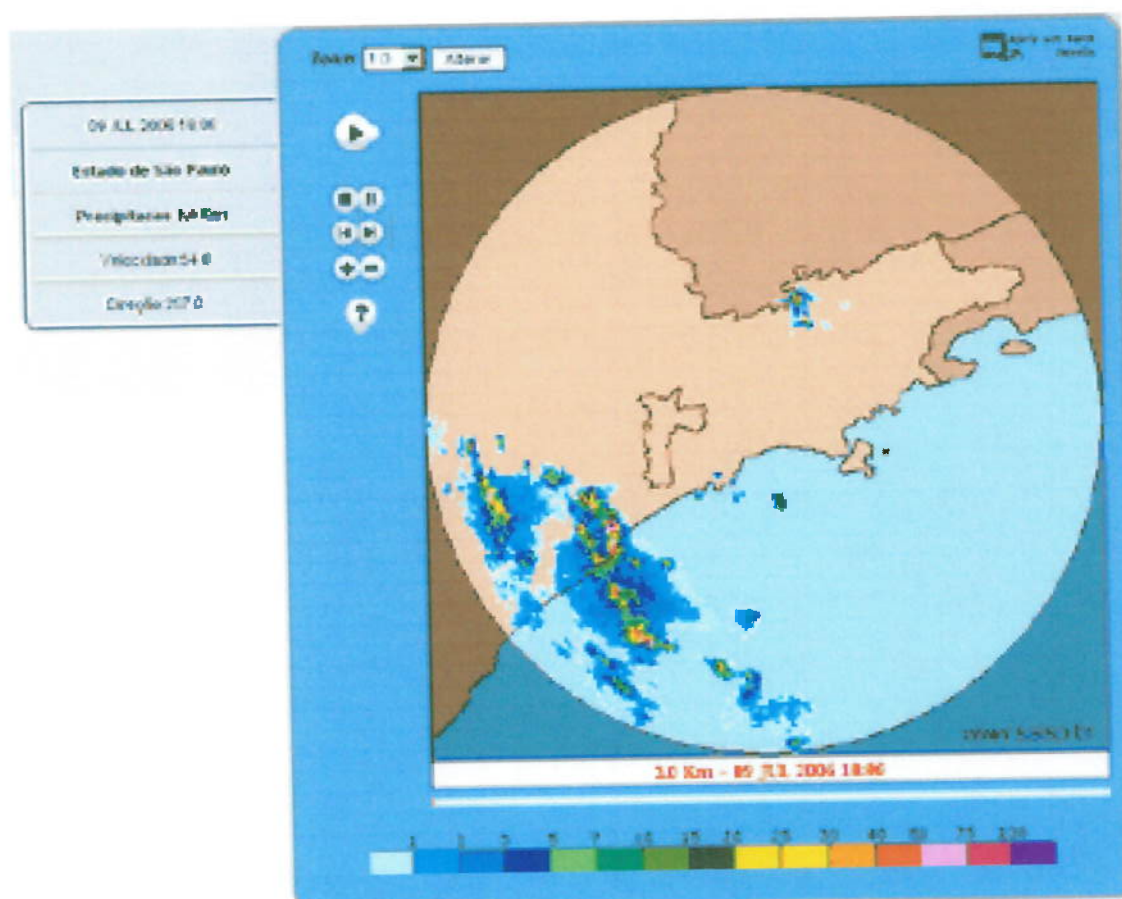


Figura 3.2 Exemplo de tela de saída do radar de Ponte Nova (modelo CAPPI); FCTH (2007).

Em 1967, o INPE instalou a primeira estação de recepção de imagens de satélites meteorológicos do Brasil (SOUZA et al, 2005). As imagens potencializaram a capacidade de análise e impuseram um salto qualitativo nas previsões

meteorológicas. Ao longo do tempo, o conceito de "imagem de satélite" foi substituído por "dados de satélite".

SOUZA et al (2005) enumera as informações que são processadas rotineiramente pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e que são obtidas através do processamento de dados dos satélites das famílias GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) e NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (tabela 3.2). Esses produtos estão disponíveis *on-line* no sítio eletrônico <http://satellite.cptec.inpe.br/home/>, com atualização a cada 15 minutos.

Tabela 3.2: Principais produtos oriundos do processamento de satélites meteorológicos (SOUZA et al, 2005).		
Radiação	Radiação solar e terrestre Índice ultravioleta (IUV) Classificação de nuvens	
Teledeteção da superfície	Queimadas Índice de vegetação Temperatura da superfície do mar (TSM) Pontos de coleta de dados (PCDs)	
Teledeteção da atmosfera	Sondagens atmosféricas Sistema convectivo e tempestades Precipitação Nevoeiro	Vento Atraso zenital troposférico Temperatura de brilho Produtos MODIS

No campo das precipitações, os satélites são empregados para:

- Aferir/comparar dados obtidos em superfície, através de redes de pluviômetros ou PCD's (plataformas de coleta de dados).
- Obter a precipitação em tempo real.
- Realizar previsões de precipitação.

Conforme SOUZA et al (2005), as informações de pluviometria por satélite para a escala continental (América do Sul) permitem minimizar as incertezas causadas pela interpolação de valores dos 1.300 pluviômetros pertencentes a diferentes entidades e que normalmente são medidos em pontos de coleta localizados muito distantes uns dos outros. Esta rede produz informações sobre a quantidade de chuva acumulada em vinte e quatro horas, em áreas continentais e oceânicas. Os campos de chuva produzidos pelo CPTEC são disponibilizados através do sítio eletrônico http://www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor_as.shtml. A figura 3.3 exemplifica a

extraída do canal infravermelho do satélite (figura 3.4) (VICENTE, SCOTFIELD e MENZEL, 1998).

VICENTE, SCOTFIELD E MENZEL (1998) compararam os resultados para ajustes diferentes na estimativa de chuva por satélite, exemplificado na figura 3.5. A correção por umidade insere parâmetros relativos à quantidade de água precipitável contida na nuvem para diminuir as distorções associadas ao tipo de chuva: tempestades, pancadas de chuva, linhas de instabilidade, sistemas frontais, tipos de nuvens, estação do ano, localidade, condições diversas nas camadas mais baixas, entre outras.

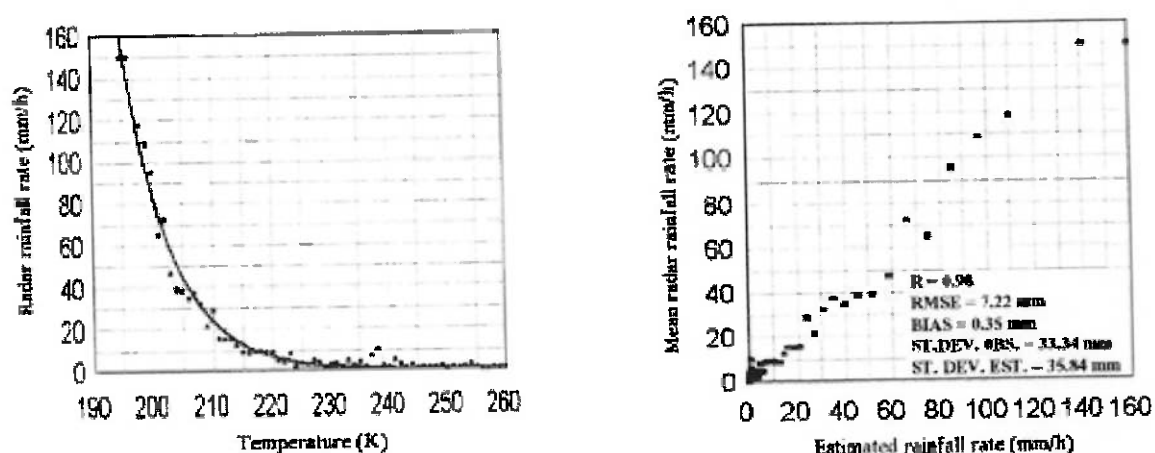


Figura 3.4- Correlação entre a precipitação estimada pelo radar e a temperatura do topo das nuvens (esquerda) e a correlação entre a precipitações estimadas pelo radar e pelo satélite (direita) (VICENTE, SCOTFIELD e MENZEL, 1998).

O CPTEC/INPE utiliza preferencialmente a família de satélites GOES para coleta e previsões meteorológicas. O processo de obtenção da precipitação instantânea é essencialmente o mesmo desenvolvido por Vicente, Scotfield e Menzel (1998), adicionado de ajustes e melhoramentos (CPTEC, 2007a) e é denominado Modelo Hidroestimador (MHDSA). Sua principal vantagem é a possibilidade de introduzir imagens do satélite METEOSAT sempre que as imagens do satélite GOES não são geradas, garantindo a atualização dos dados de precipitação a cada meia hora (SOUZA et al, 2005).

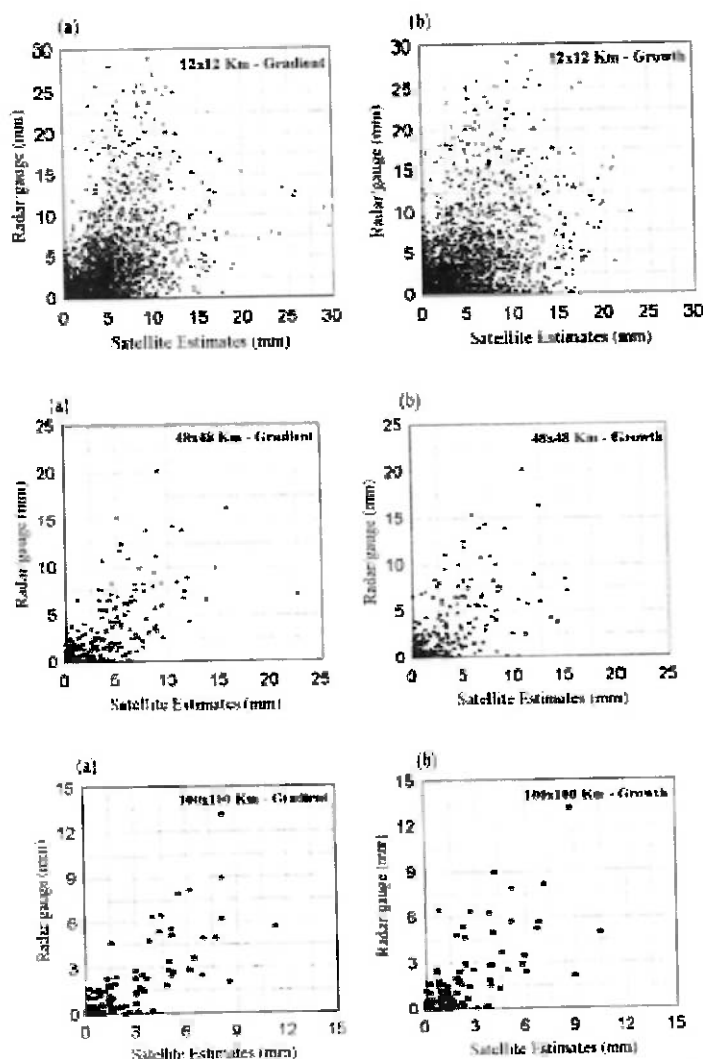


Gráfico de dispersão para uma área de 12 km x 12 km, comparando as medidas de chuva por radar com:

- correção por gradiente,
- correção por taxa de crescimento.

Gráfico de dispersão para uma área de 48 km x 48 km, comparando as medidas de chuva por radar com:

- correção por gradiente,
- correção por taxa de crescimento.

Gráfico de dispersão para uma área de 100 km x 100 km, comparando as medidas de chuva por radar com:

- correção por gradiente,
- correção por taxa de crescimento.

Figura 3.5- Gráficos de dispersão comparando a medição de chuva por radar e a estimativa por satélite, para áreas de diferentes tamanhos (VICENTE, SCOTFIELD e MENZEL, 1998).

O CPTEC utiliza o aplicativo FORTRACC para realizar o acompanhamento de SCMs (Sistemas Convectivos de Mesoescala¹). O sistema realiza automaticamente previsões de chuvas intensas com até 2 horas de antecedência, comparando imagens de satélite consecutivas no tempo.

A figura 3.6 ilustra a avaliação de um mês de prognósticos do FORTRACC. Em geral, as previsões apresentam uma precisão em torno de 95 a 98%. Deve-se levar em conta que esse índice diminui para previsões de maior tempo, possivelmente

¹ MESOESCALA: escala de fenômenos meteorológicos com extensão variando de alguns quilômetros até cem quilômetros aproximadamente. Isso inclui os Complexos Convectivos de Mesoescala, Sistemas Convectivos de Mesoescala e as rajadas de vento. Fenômenos de menores dimensões são classificados como de microescala, enquanto que os de maior extensão são classificados como de escala sinótica (CANAL DO TEMPO, 2007).

devido aos SCM novos e não previstos que surgem espontaneamente na imagem observada.

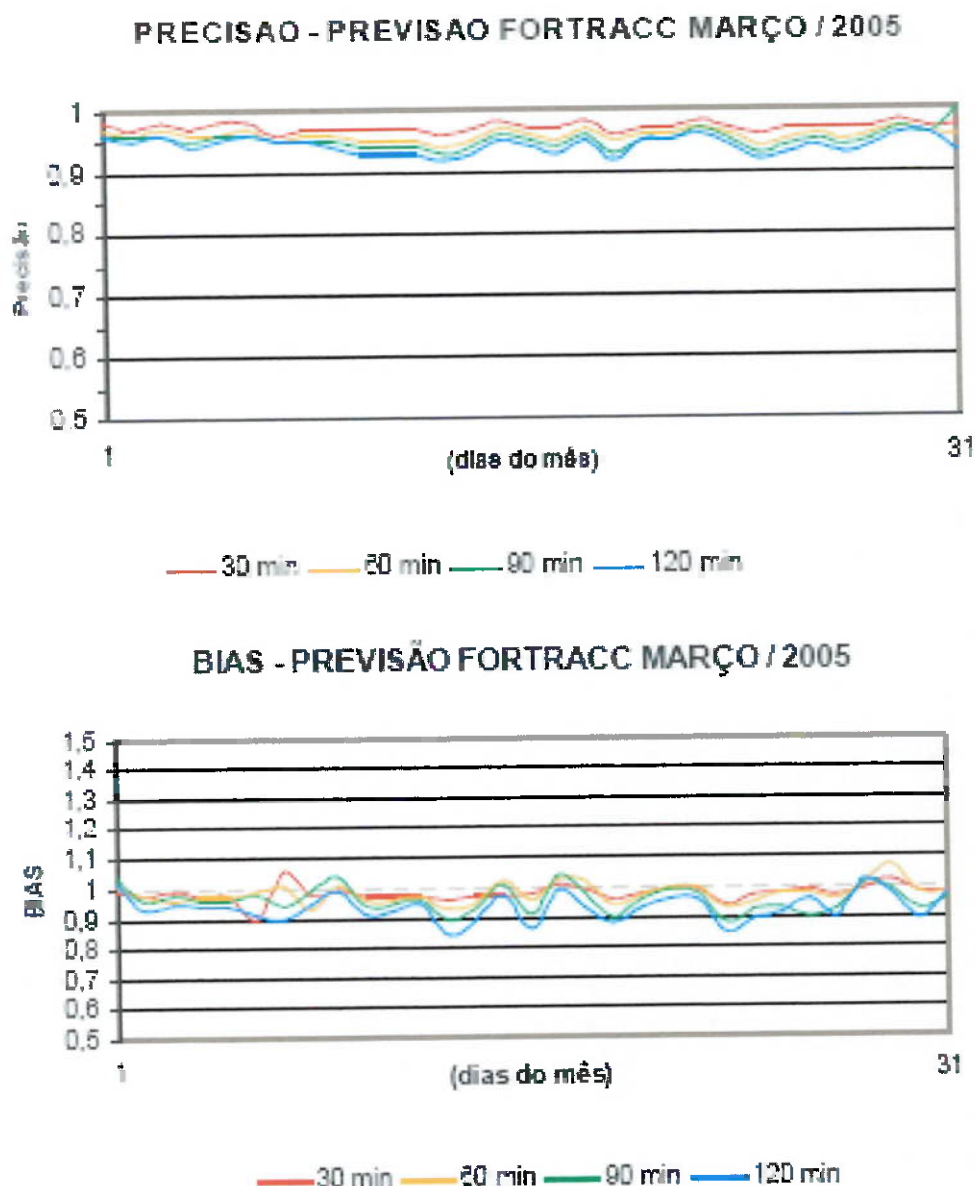


Figura 3.6- Avaliação do desempenho do sistema FORTRACC para o mês de março/2005 (SOUZA et al, 2005).

Para a compreensão da figura, é importante introduzir os conceitos de precisão e viés (ou bias), conforme as fórmulas e a tabela de contingência 3.3:

Tabela 3.3- Tabela de contingência para avaliação de desempenho de previsões meteorológicas (SOUZA et al, 2005).

		Observado		
		Ocorre	Não ocorre	Total
Previsto	Ocorre	Acerto (a)	Alarme falso (b)	Previsto
	Não ocorre	Falhas (c)	Negativa correta (d)	Não previsto
	Total	Observado	Não observado	Total

- Precisão = $(a + d) / (a + b + c + d)$
- Viés = $(a + b) / (c + a)$
- Razão de falso alarme (RAF) = $b / (a+b)$. O falso alarme é a proporção de previsões de ocorrência de chuva que não se concretizaram. Quanto mais próximo for o valor de 1, pior é a previsão de chuva.
- Probabilidade de detecção (POD) = $a / (a + c)$. O POD é a relação do evento de chuva prevista corretamente com os eventos previstos corretamente ou não. Ou seja, resulta o desempenho de detecção da chuva. A melhor previsão de chuva ocorre quando o POD é igual à unidade.
- O sistema SIGMA (Sistema de Informações Geográficas Aplicadas ao Meio Ambiente) do INPE é uma ferramenta moderna e abrangente para a observação de parâmetros ambientais, incluindo precipitações, em tempo real.

As funcionalidades do sistema SIGMA foram apresentadas por MACHADO E ANGELIS (2007) e ANGELIS et al (2007). Trata-se de um sistema tipo SIG – Sistema de Informações Geográficas (ou GIS, em inglês), baseado na web, que aglutina diversos tipos de informação sobre uma mesma base cartográfica, permitindo ao usuário executar diversos tipos de análises diferentes. Essa capacidade de aglutinação é importante na medida em que existe uma grande variedade de dados disponíveis produzidos por modelos numéricos, satélites, estações telemétricas e radares, cujo acesso é dificultado pela diferença de formatos, escala temporal e resoluções. O SIG não apenas permite capturar, modelar, manipular e guardar dados e resultados de diferentes fontes, mas analisar dados georreferenciados com o auxílio de recursos de processamento dedicados. O SIGMA está acessível no link <http://moingatu.cptec.inpe.br/paginas/atual/index.php#>. As principais funcionalidades do SIGMA estão condensadas na tabela 3.4:

O SIGMA permite acessar a previsão de tempestades com até 120 minutos de antecedência. Essa previsão é feita por meio de modelos atmosféricos automatizados, sem a intervenção humana. O modelo faz a integração com radares meteorológicos de superfície, que se constitui em mais uma ferramenta de análise e

decisão. A figura 3.7 apresenta uma tela de saída do modelo SIGMA (CPTEC, 2007b).

Tabela 3.4- Principais funcionalidades do sistema SIGMA.

Ferramentas	Produtos
Arraste	Descargas elétricas
Zoom	Precipitação
Consulta	Imagem GOES-4
Atualizar	Precipitação instantânea por satélite
Apagar	Precipitação acumulada por satélite
Layers	Precipitação instantânea por radar
Países	PCD – Plataforma de Coleta de Dados
Estados	Queimadas
Capitais	Sistemas convectivos
Aeroportos	Tempestades
Ferrovias	Tempestades previstas 30 minutos
Rodovias	Tempestades previstas 60 minutos
Hidrografia	Tempestades previstas 90 minutos
Sede municipal	Tempestades previstas 120 minutos
Relevo	Classificação de nuvens
Mosaico Landsat	

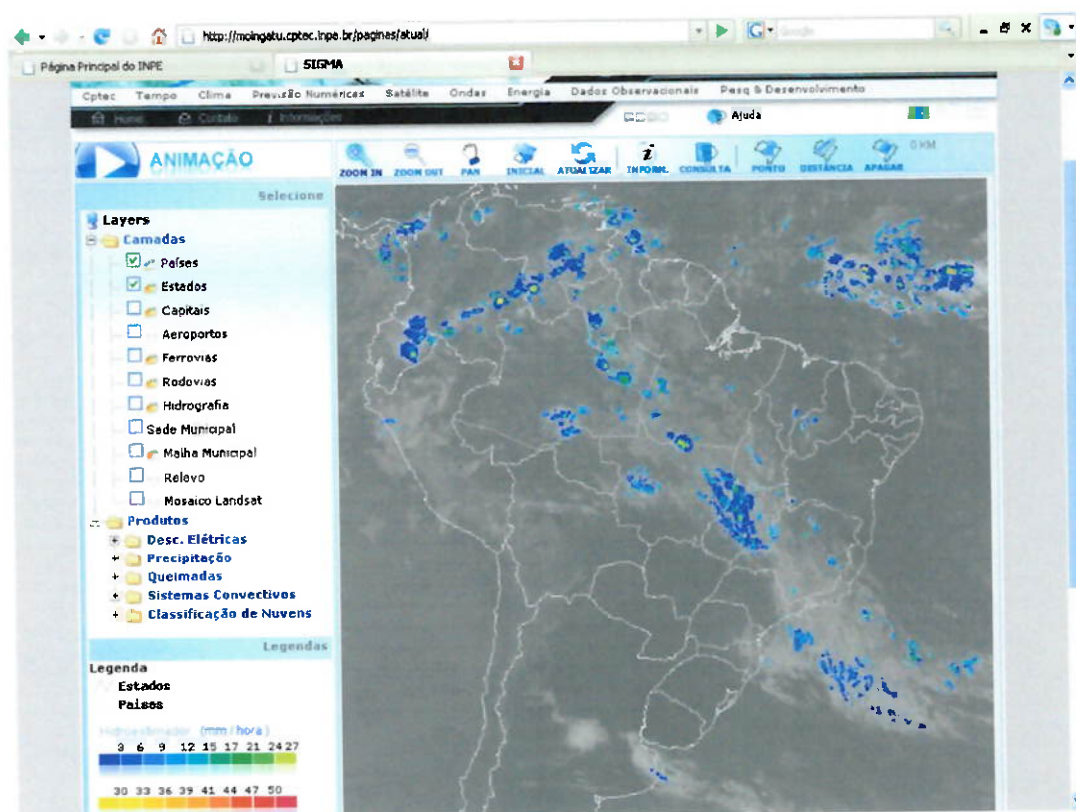


Figura 3.7: Exemplo de tela de saída do sistema SIGMA, mostrando a intensidade de precipitação no território brasileiro. Na data observada (21/12/07), as atualizações ocorriam com *delay* máximo de 30 minutos em relação à hora observada.

O desenvolvimento tecnológico atual não recomenda o prognóstico de chuvas intensas por satélite (FORTRACC) com antecedência maior que duas horas. Para períodos maiores, são utilizados modelos atmosféricos computacionais, que se agrupam em duas grandes famílias: os determinísticos e os estatísticos.

Os modelos atmosféricos determinísticos procuram reproduzir o comportamento da atmosfera, ou seja, tudo o que ocorre na atmosfera e na superfície dos oceanos é atribuível entre forças que competem e se equilibram entre si, como pressão, vento e umidade. Como esses agentes são físicos, podem ser descritos matematicamente. Portanto, se o estado atual da atmosfera é conhecido e é possível descrever matematicamente as interações entre os agentes, a condição futura é previsível.

Um exemplo de sistema de coleta de dados para a caracterização inicial da atmosfera é mostrado na figura 3.8 (HAGEDORN, 2007). Os números ao lado de cada plataforma de coleta de dados representam a quantidade de informações recebidas no intervalo de 24 horas.

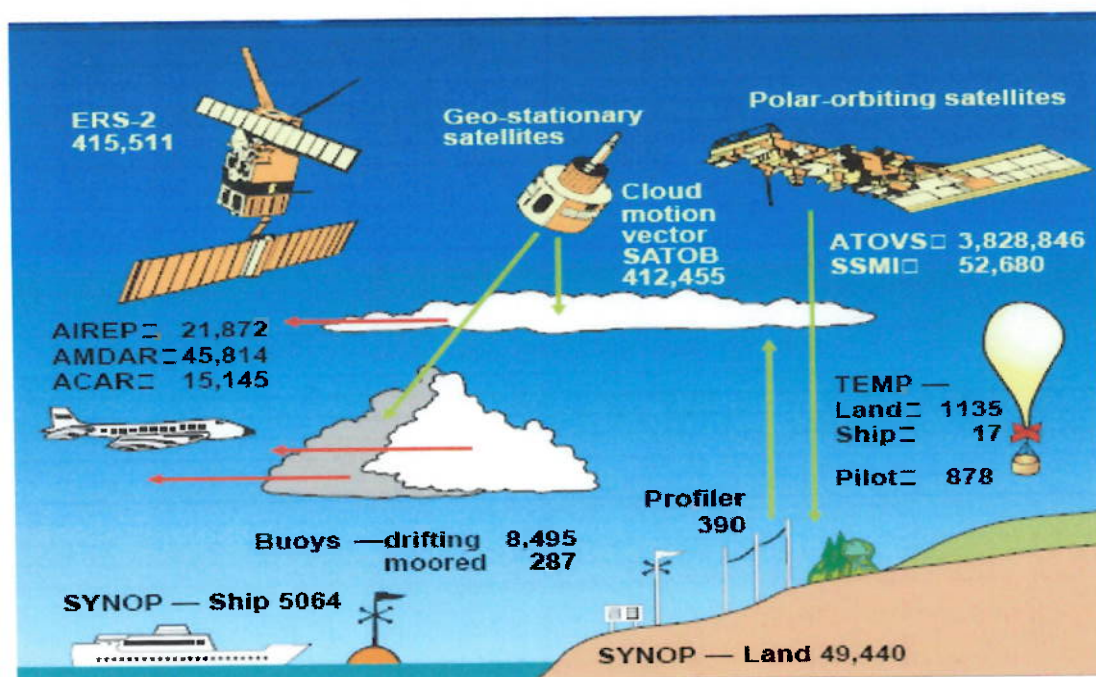


Figura 3.8- Exemplo de sistema de coleta de dados para alimentação de modelos atmosféricos (HAGEDORN, 2007).

Os dados coletados alimentam uma representação computacional na qual o terreno, a atmosfera e mesmo os oceanos são decompostos em elementos infinitesimais (figura 3.9). O tamanho de cada elemento varia conforme a escala de modelagem (global, regional ou local) e está associada à capacidade do computador ou conjunto

de computadores empregado. Para cada elemento são calculadas a direção e a velocidade do vento, umidade, temperatura e altura geopotencial¹ (SAMPAIO, 2007). A tabela 3.5 (SAMPAIO, 2007) representa a evolução no tempo da capacidade de processamento do CPTEC/INPE, e sua correlação com a resolução obtida nos modelos atmosféricos global e regional, rodados pela instituição.

Como consequência do aumento da resolução e dos aperfeiçoamentos e calibrações nos modelos, há um aumento na incidência de acertos nas previsões, indicado na figura 3.10 (SAMPAIO, 2008).

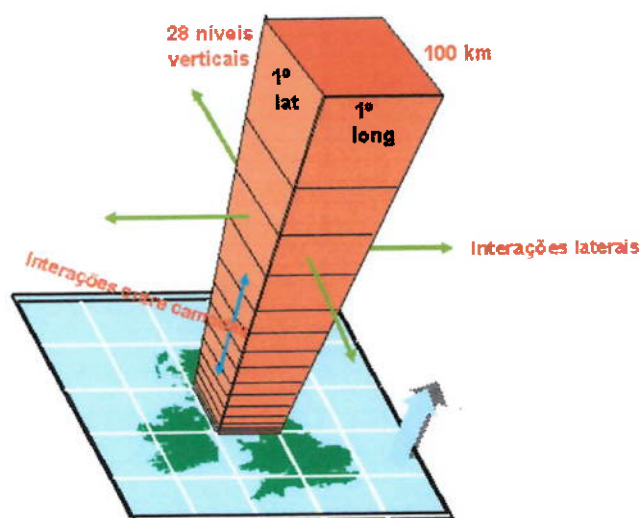


Figura 3.9- Exemplo de discretização do meio em um modelo atmosférico (SAMPAIO, 2007).

Tabela 3.5- Evolução da capacidade de processamento do CPTEC-INPE e a correspondente resolução obtida nos modelos atmosféricos global e regional. A grandeza "resolução" corresponde ao lado, em km, de cada um dos elementos que discretizam a superfície do terreno (adaptado de: SAMPAIO, 2007).				
	1994	1998	2002	2003
	SX3	SX4	SX6	SX6
Número de unidades	1	1	4	12
Número de processadores	1	8	32	96
Desempenho máximo ¹	3,2 Gflops	16 Gflops	256 Gflops	768 Gflops
Memória ¹	0,5 Gbytes	8 Gbytes	128 Gbytes	728 Gbytes
Disco	60 Gbytes	220 Gbytes	4Tbytes	16 Tbytes
Resolução no modelo global (km)	200	100	75	50
Resolução no modelo regional (km)	---	40	---	20

¹ Geopotencial, designado ϕ , é a energia potencial de uma parcela do ar de massa unitária, sendo que o seu valor referencial de zero encontra-se, em geral, no nível médio do mar. Ou, $\phi(z) = \int g dz$ é o trabalho requerido para levantar uma massa unitária do nível médio do mar ao nível z . A altura geopotencial é obtida dividindo o geopotencial pela aceleração de gravidade referencial do planeta. As unidades são m^2 e s^{-2} . Fonte: http://www.cptec.inpe.br/glossario_tecnico/glos_GHI.shtml.

DIAS, MOREIRA E NETO (2006) elencam cerca de dez instituições brasileiras que rodam modelos atmosféricos regularmente com finalidade científica. Os principais modelos e suas características fundamentais estão condensados na tabela 3.6.

Todavia, os modelos determinísticos são limitados quanto ao horizonte de previsibilidade, até aproximadamente duas semanas. SHUKLA (1998) observa que, desde o início do século XX, os cientistas atmosféricos acreditavam na possibilidade de criar modelos atmosféricos determinísticos com horizonte de previsão ilimitados, desde que houvesse equações que representassem a física da atmosfera, associadas com uma forma de integrá-las e processá-las.

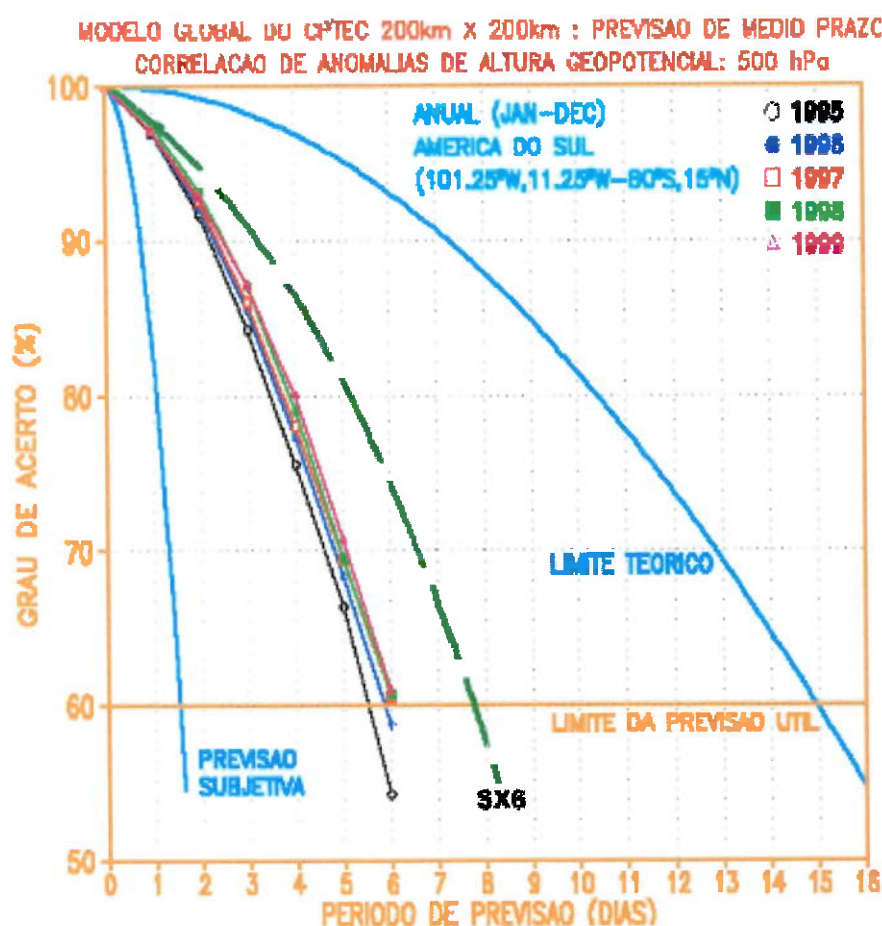


Figura 3.10- Aumento do grau de acerto nas previsões de médio prazo em função do tempo; modelo global, resolução 200 x 200 km, anomalias de altura geopotencial = 500 hPa. (SAMPAIO, 2007).

¹ 1 flop= unidade de medida de velocidade de computador, equivalente a uma operação de ponto flutuante por segundo (Merriam – Webster Dictionary).

Quando essas ferramentas foram obtidas, houve frustração na medida em que se descobriu:

[...] que as equações matemáticas para a previsão de tempo representam um sistema não linear forçadamente dissipativo, onde um mínimo desvio na apropriação das condições iniciais crescerá a ponto de tornar a previsão não utilizável ao longo de um tempo finito. Essa descoberta contribuiu para o nascimento da “teoria do caos” e essa propriedade do limite finito da previsibilidade do tempo é conhecida popularmente como “efeito borboleta”. SHUKLA (1998)

Os modelos atmosféricos estatísticos compreendem técnicas baseadas em diferentes métodos para estabelecer a probabilidade e magnitude de um evento, diferindo dos modelos determinísticos que fornecem uma magnitude definida para um determinado evento.

Tabela 3.6- Produtos de modelos atmosféricos determinísticos disponibilizados pelo CPTEC (2007).
www.cptec.inpe.br/prevnum

Instituição	Modelo	Horizonte de previsão	Resolução (aresta do reticulado em km)	Análise e previsões meteorológicas variáveis para previsão de tempo	Meteogramas históricos em pontos de grade e cidades selecionadas
CPTEC	Regional ETA	5 dias	40	América do Sul Animação de modelo	Brasil – todos os estados Outros países – principais cidades
CPTEC	Regional ETA	7 dias	20	América do Sul	
CPTEC	ETA/RPSAS	7 dias	40	América do Sul	
CPTEC	Global T126L28	15 dias	100	América do Sul Global	
CPTEC	Global T213L42	7 dias	63	América do Sul Global	
CPTEC	Global T299L64	7 dias	45	América do Sul Global	
CPTEC	GPSAS 213L42	7 dias	63	América do Sul Global	
CPTEC	CATT-BRAMS	2 dias	30	América do Sul	
INMET	MBAR- 25	78 horas	25	América do Sul	Brasil – todos os estados
INMET	MBAR- 7	2 dias	7	Brasil (parcial)	---
INMET	NCEP	5 dias	60	América do Sul	---

Embora ambas as técnicas objetivem a predição de eventos, a incerteza quanto à ocorrência/magnitude do evento somente está presente nas técnicas probabilísticas. A informação de probabilidade é tipicamente derivada da computação de vários modelos determinísticos, que são inicializados com condições ligeiramente diferentes entre si. Essa técnica é conhecida como *ensembling* ou EPS (*ensemble*

prediction system). De acordo com a quantidade de modelos que predizem o mesmo evento com a mesma magnitude, é possível computar a probabilidade final para um determinado evento. A possibilidade de estender o prazo de previsão de tempo através da técnica de *ensemble* é descrita pelo CPTEC (2007c):

A técnica de previsão de tempo por *ensemble* surgiu como uma tentativa de aumentar o prazo de previsão e a previsibilidade dos modelos dinâmicos. Em geral, supõe-se que os modelos sejam perfeitos e, assim, considerando apenas a incerteza na condição inicial, busca-se, através de alguma técnica específica, estimar os erros associados às observações para criar um conjunto de condições iniciais perturbadas. O conjunto de previsões é obtido integrando-se o modelo a partir de cada uma destas novas análises perturbadas. De forma ideal, um número ilimitado de condições iniciais seria necessário para representar todos estados atmosféricos possíveis, entretanto, isto seria impraticável, pois para cada condição inicial corresponderia uma rodada do modelo. Como a taxa de crescimento dos erros depende do regime de circulação da atmosfera, da estação do ano, e do domínio geográfico, é possível construir um número limitado de perturbações “ótimas” que representem os modos de crescimento mais rápido associados aos padrões atmosféricos da condição inicial. A idéia é eliminar condições iniciais perturbadas que geram previsões muito semelhantes entre si e, através de um número menor de integrações, tentar estimar os cenários futuros mais prováveis associados à evolução dinâmico-caótica da atmosfera [...] demonstrando ser esta uma ferramenta complementar muito útil para a previsão numérica de tempo, especialmente de médio prazo.

Um desafio para todos os centros que operam previsões por *ensemble* é lidar com a grande quantidade de informações geradas, seja na seleção e apresentação de dados para o profissional ou pesquisador envolvido com a previsão, seja para o usuário final. Esforços significativos têm sido dedicados ao desenvolvimento de produtos que sintetizem as informações do *ensemble* e que auxiliem a interpretação dos previsores (CPTEC, 2007c). Atualmente, o CPTEC disponibiliza os seguintes produtos de *ensemble*:

O *Ensemble Médio* representa a média simples das previsões feitas nos diversos modelos, sem qualquer atribuição de peso a qualquer um deles, pois pressupõe que todos possuem igual probabilidade de ocorrência; pode ser considerado, numa

aproximação determinística, como a melhor estimativa de atmosfera futura, para previsão em médio prazo.

O Espalhamento do *Ensemble* reflete a incerteza associada a determinado padrão atmosférico previsto. A incerteza ou confiabilidade de uma previsão é avaliada em função do espalhamento do conjunto de previsões, definido como o desvio padrão das previsões em relação ao *ensemble* médio. Para regiões onde há menor espalhamento é atribuída maior confiabilidade à previsão e, para regiões onde os membros estejam afastados, é atribuída menor confiabilidade. A figura 3.11 (CPTEC, 2007c) ilustra a saída gráfica do espalhamento para a previsão de 5 dias, para a geopotencial de 500 hPa. Por meio do espalhamento pode-se avaliar geograficamente as regiões em que há maior discordância entre os membros do *ensemble*, ou seja, incerteza.

Os “diagramas spaghetti” consistem, essencialmente, em *plotar* em um único gráfico a previsão de alguns contornos específicos dos diversos membros do *ensemble*, como exemplificado na figura 3.12. Por meio destes diagramas pode-se fazer uma espécie de análise de agrupamento gráfica para identificar os cenários futuros mais prováveis, de acordo com o número de previsões que apontam naquela direção.

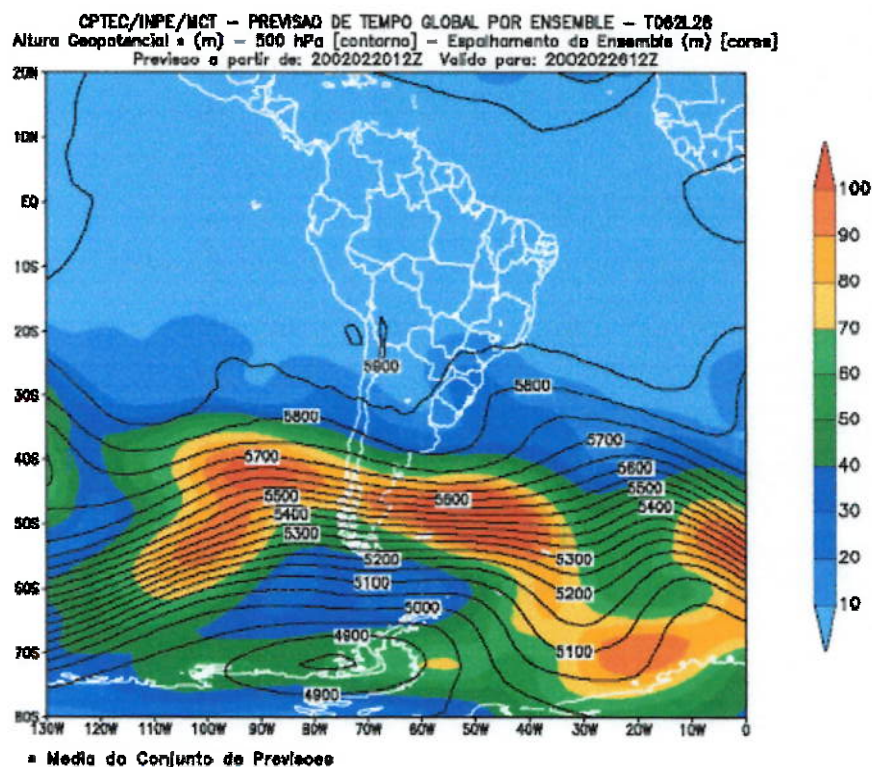


Figura 3.11- Exemplo de saída gráfica do espalhamento de *ensemble*. As linhas representam o *ensemble* médio, e as cores, o espalhamento (CPTEC, 2007c).

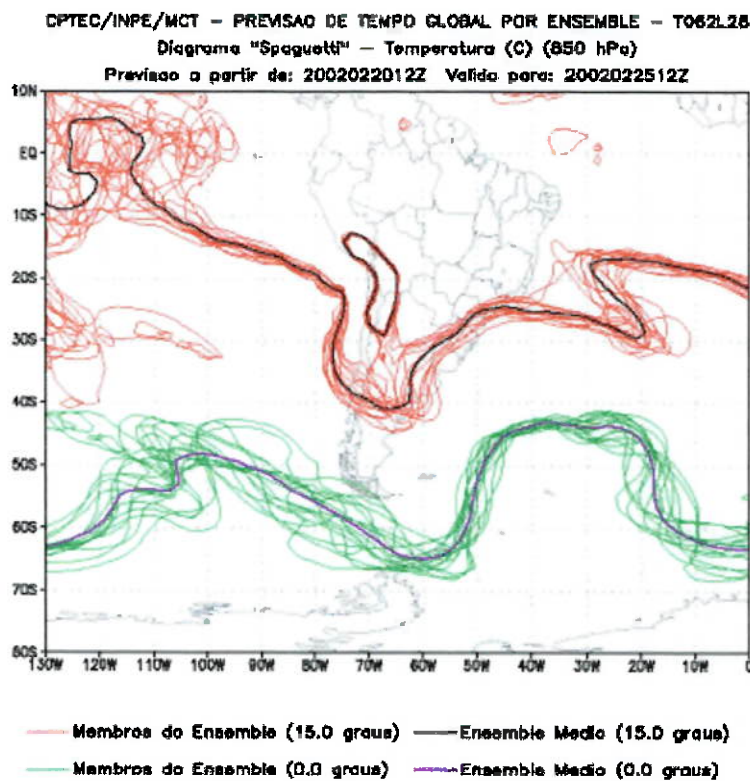


Figura 3.12: Exemplo de saída gráfica do diagrama em spaghetti (CPTEC, 2007c).

A previsão de probabilidades é gerada a partir da previsão por ensemble. Dado um limiar pré-estabelecido, suponhamos precipitação acumulada em 24 horas acima de 1 mm, pode-se estimar, espacialmente, quais são as regiões mais prováveis de ocorrência de precipitação nas últimas 24 horas de previsão do modelo.

Para tentar discriminar qual é a categoria de precipitação prevista para determinada região, pode-se classificar a quantidade de precipitação em categorias, conforme exemplificado na tabela 3.7, e, em seguida, calcular as probabilidades para os demais limiares, desenhando as linhas em uma única figura. O cálculo das probabilidades é realizado considerando-se que todos os membros do *ensemble* são equiprováveis, ou seja, não se atribui nenhuma espécie de peso para os membros.

Tabela 3.7- Exemplo de divisão em categorias de limiares de precipitação.

Categorias	Limiares (mm)
Chuva / Não Chuva	1,0
Fraca	5.0
Moderada	10.0
Forte	20.0

A figura 3.13 (CPTEC, 2007c) apresenta a previsão de probabilidades de precipitação acumulada em 24 horas, válida para o dia 25/02/2002 (previsão de 120 horas). No canto superior esquerdo são apresentadas as probabilidades de ocorrência de precipitação acima de 1 mm, ou seja, chuva ou não chuva.

As plumas de probabilidade são construídas para apresentar a probabilidade de distribuição em um determinado prazo de previsão, em um determinado ponto geográfico. A figura 3.14 exemplifica uma saída gráfica de plumas de probabilidade gerada para a cidade de São Paulo em 06/01/2008, com previsões de até 15 dias. Notar que as incertezas aumentam na medida em que o horizonte de previsão se torna mais distante.

CPTEC/INPE/MCT – PREVISÃO DE TEMPO GLOBAL POR ENSEMBLE – T06ZL28
Previsão de Probabilidades (%) – A partir de: 2002022012Z Valido para: 2002022512Z

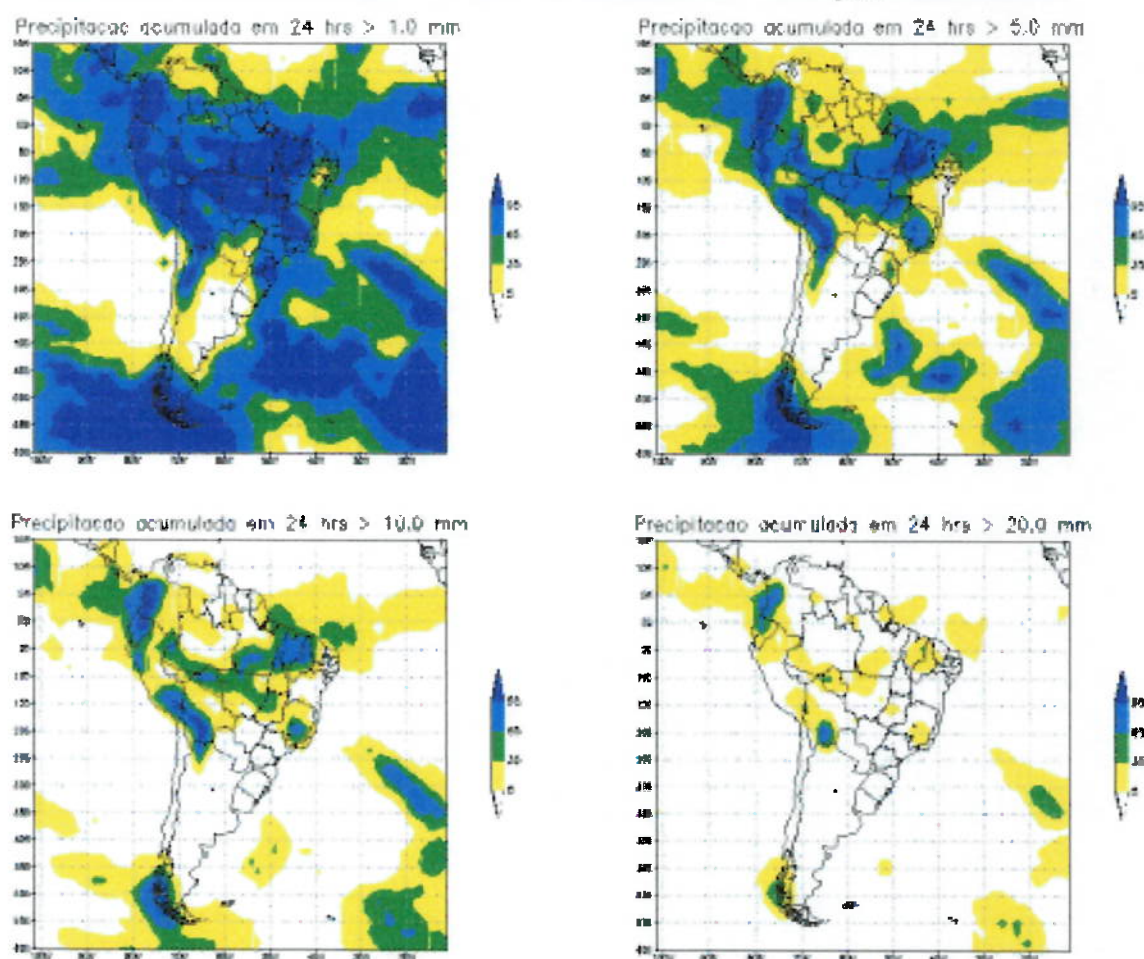


Figura 3.13- Exemplo de previsão de probabilidades de precipitação acumulada em 24 horas.

Uma informação importante que pode ser obtida das plumas de probabilidade está relacionada à confiabilidade do evento previsto. É possível notar, por exemplo, que, entre os dias 6 e 7 de janeiro, todos os membros do *ensemble* prevêm um máximo de precipitação aproximadamente no mesmo horário, com alguma divergência quanto à intensidade. Desta forma, pode-se atribuir maior confiabilidade a esta previsão e considerar que há possibilidade de chuvas intensas, uma vez que o período, entre o início e o final da precipitação, é razoavelmente curto. Entre os dias 10 e 11 de janeiro, os membros do *ensemble* prevêm precipitação razoável. Entretanto, não há concordância quanto ao horário das chuvas. Nesse caso, a confiabilidade quanto ao horário de ocorrência do máximo de precipitação é menor, mas os membros concordam que deve haver chuva no período. O CPTEC disponibiliza os resultados do *ensemble* no sítio <http://www.cptec.inpe.br/prevnum/>.

PROBABILITY PLUMES – GLOBAL ENSEMBLE FORECAST – T126L28
 CPTEC: 048:53W–23:51S SAO PAULO (SP)
 06JAN2008 01Z: Greenwich Meridian Time: Vertical Dotted Line: Midnight
 ■ 1 – 20 % ■ 20 – 40 % ■ 40 – 60 % ■ 60 – 80 % ■ 80 – 100 %
 — Central Forecast

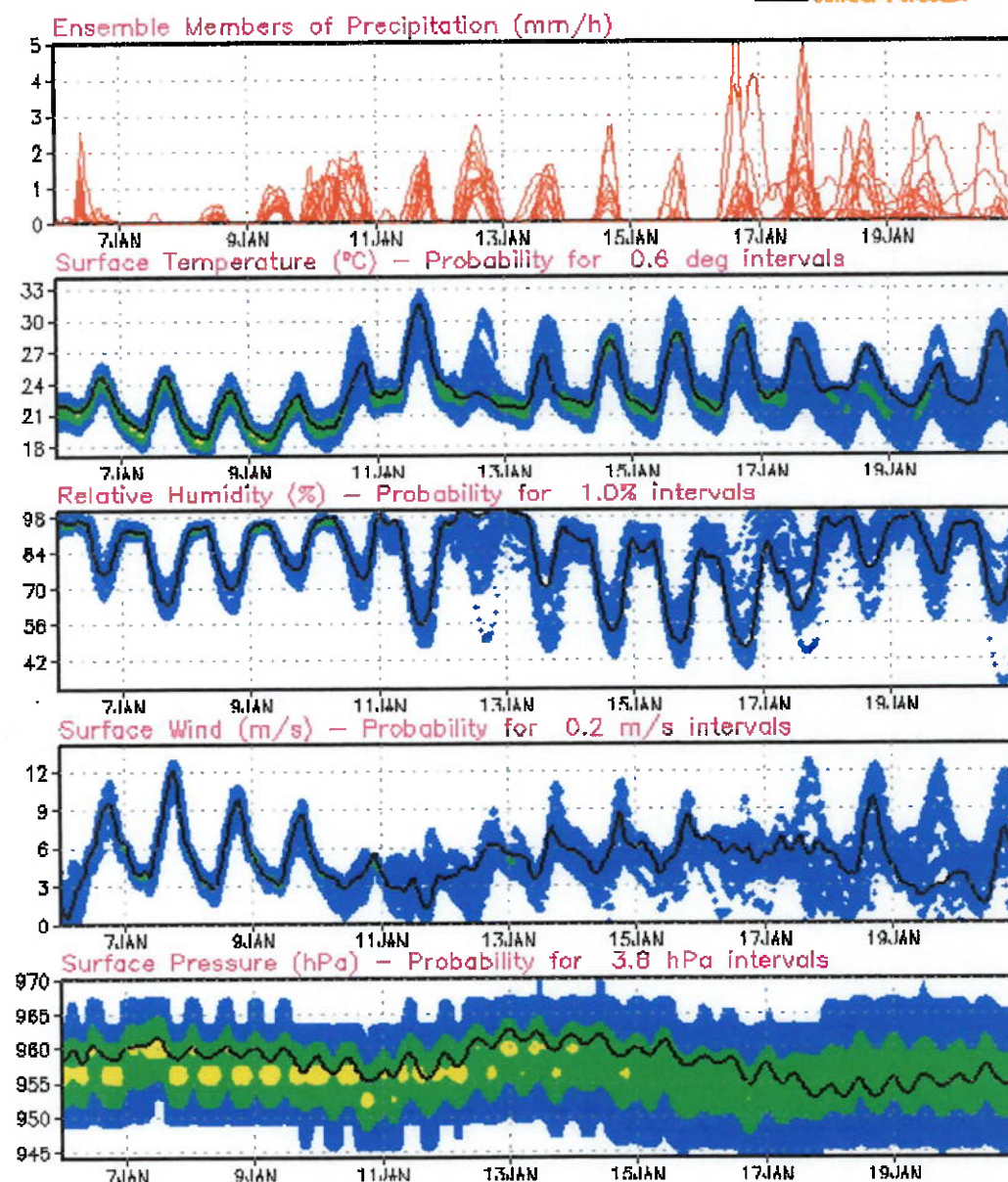


Figura 3.14- Exemplo de saída gráfica de plumas de probabilidade geradas para a cidade de São Paulo em 06/01/2008, com previsões de até 15 dias.

Apesar da técnica de *ensemble* aumentar o horizonte de previsão de precipitação para algo em torno de duas semanas, algumas aplicações, como o gerenciamento agrícola e de grandes reservatórios, precisam de indicações com prazos significativamente maiores. Para contornar esse problema, são feitas previsões qualitativas, baseadas em modelos que consideram os padrões de temperatura e circulação nos oceanos, ainda de acordo com os conceitos apresentados por SHUKLA (1998):

Os padrões tropicais de fluxo e chuva, especialmente sobre o mar aberto, são tão fortemente determinados pela temperatura da água em sub-superfície, que mostram pequena sensibilidade a mudanças nas condições iniciais da atmosfera. Múltiplas integrações tem sido feitas com diferentes condições iniciais da atmosfera, que são realísticos e complexos como os modelos usados para a previsão do tempo rotineira. Foi mostrado que mesmo partindo de condições atmosféricas muito diferentes (grandes como as diferenças observadas na mesma estação do ano nos últimos 50 anos) os padrões em larga escala de vento e chuva em certas regiões tropicais não divergem, como seria esperado em um sistema puramente caótico; ao invés disso, há uma convergência para valores próximos aos indicados pela temperatura dos oceanos. Aparentemente a única propriedade fundamental da atmosfera tropical é que a circulação em grande escala e a chuva são governadas unicamente pelas condições da temperatura da água em sub-superfície. Isso fornece a explicação científica para o fato da previsão do tempo ainda não ser precisa para uma seqüência diária com 1 a 2 semanas de antecedência, mas é possível prever a circulação tropical em larga escala com a mesma antecedência com que a temperatura dos oceanos pode ser prevista.

A figura 3.15 (SAMPAIO, 2007), apresenta os níveis de previsibilidade climática para a América do Sul. O autor destaca que a previsão climática é fortemente dependente das seguintes variáveis:

- Sistema de observação das condições oceânicas;
- Acoplamento oceano-atmosfera (mudança do padrão oceânico).
- O modelo numérico.
- Avaliação, verificação e desenvolvimento do modelo.
- Esforço na interface predictor/modelo.

O CPTEC disponibiliza a previsão climática mensalmente, com horizonte trimestral no sítio <http://www.cptec.inpe.br/infoclima/>. Essa previsão é produto de diferentes modelagens, interpretadas por um conjunto de especialistas. O exemplo da saída gráfica para a previsão de precipitação é mostrado na figura 3.16, para o primeiro trimestre de 2008.

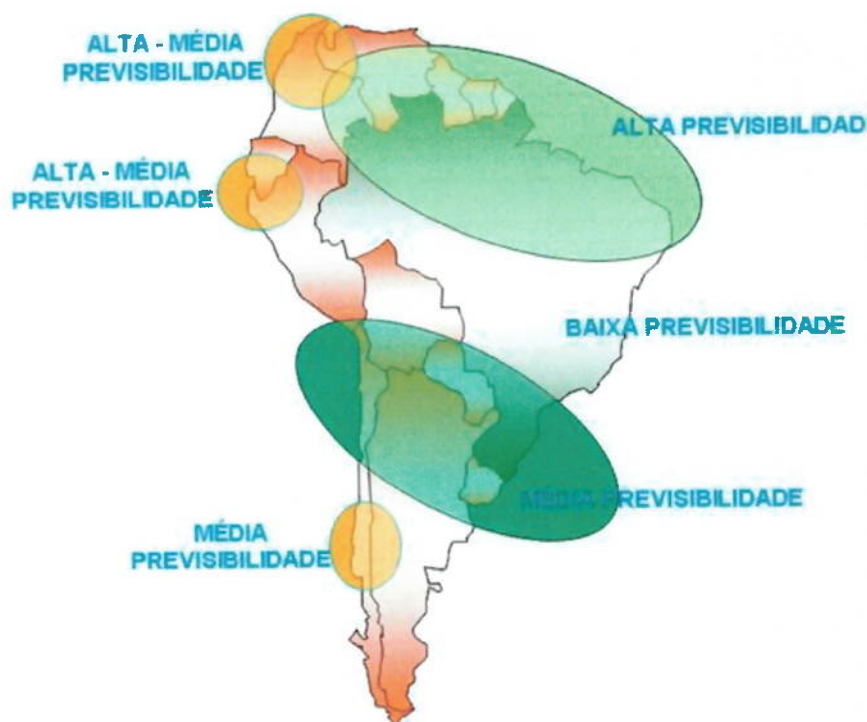


Figura 3.15- Níveis de previsibilidade climática para a América do Sul (SAMPAIO, 2007).

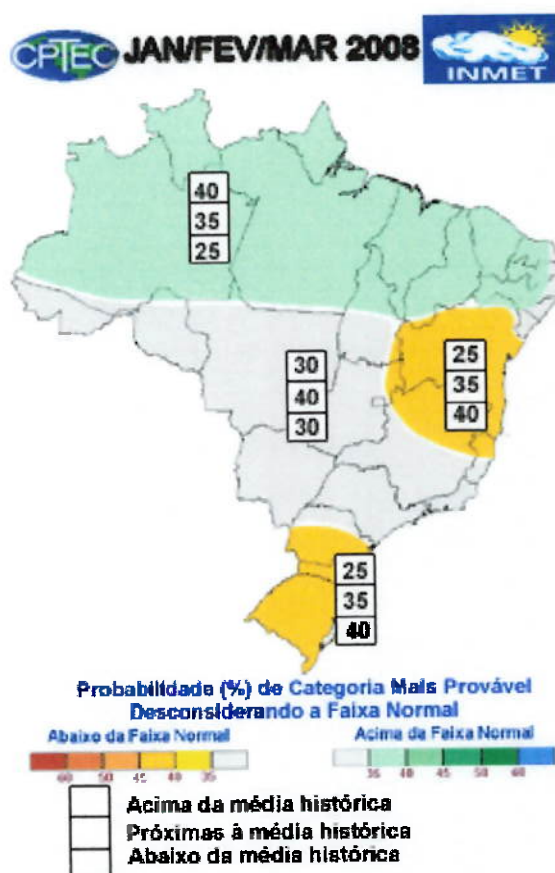


Figura 3.16 Saída gráfica da previsão de anomalias de precipitação para o primeiro trimestre de 2008 Infoclima, ano 14, número 12.

3.3 Avaliação de desempenho para as previsões de precipitação: princípios e exemplos

Avaliar o desempenho das previsões de precipitação é uma tarefa que envolve variáveis múltiplas:

- Antecedência da previsão.
- Modelo(s) utilizados na previsão (preditor).
- Abrangência ou extensão geográfica da área de interesse.
- Determinação da precipitação ocorrida na área investigada (preditando).
- Ferramentas e metodologia da avaliação propriamente dita.

Outros processos se valem do geoprocessamento e de representações espaciais para ilustrar o desempenho das previsões. São as representações “em selos”, exemplificadas na figura 3.17.

Na avaliação subjetiva, a comparação entre preditor e predictando é classificada manualmente segundo categorias amplas. Por exemplo, no caso da posição de sistema frontal, é avaliada a porcentagem de acerto. Para o conjunto das previsões erradas, é estabelecida a classificação conforme a diferença entre o tempo de chegada previsto e o tempo de chegada efetivo (atrasado, adiantado, não previsto).

As figuras 3.18 a 3.23 representam a avaliação do desempenho das previsões para o horizonte de até sete dias. A plotagem para os meses ímpares demonstra que o desempenho das previsões foi mais ou menos constante ao longo do ano, com bons resultados qualitativos até o horizonte de 72 horas.

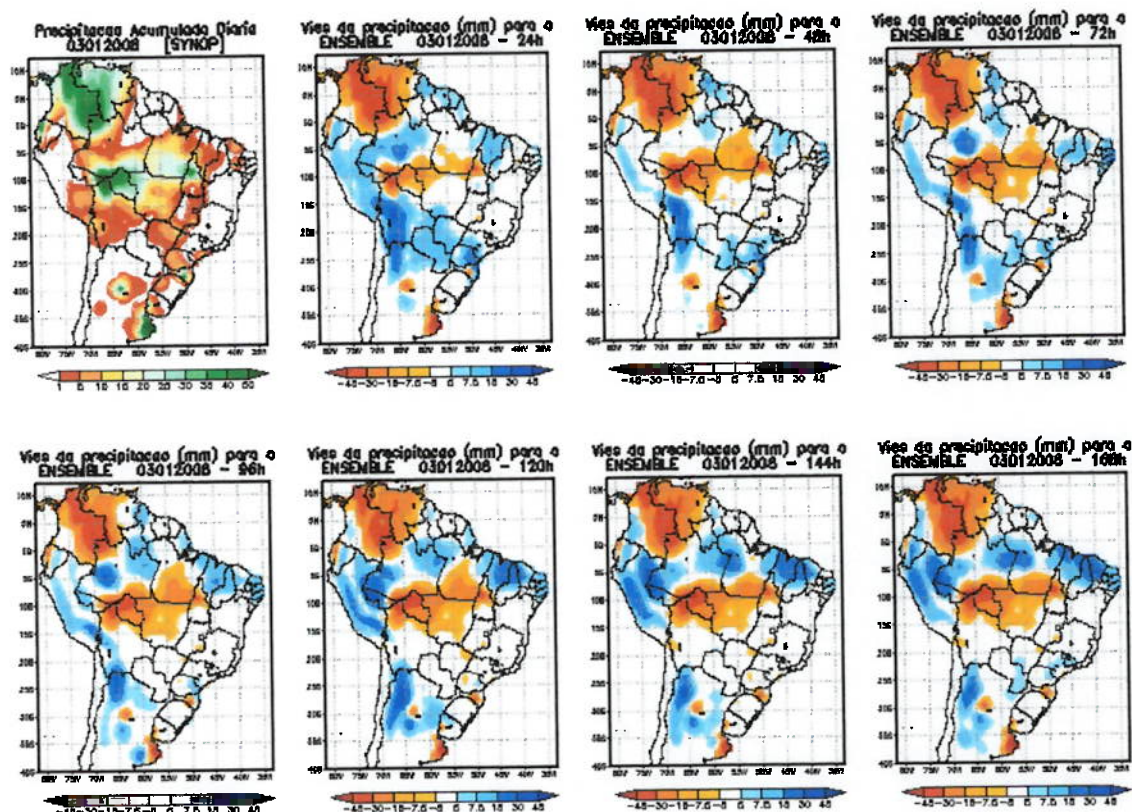


Figura 3.17- Exemplo de saída gráfica em selos – avaliação de desempenho de previsão de precipitação, modelo *ensemble*, 03/01/2008.

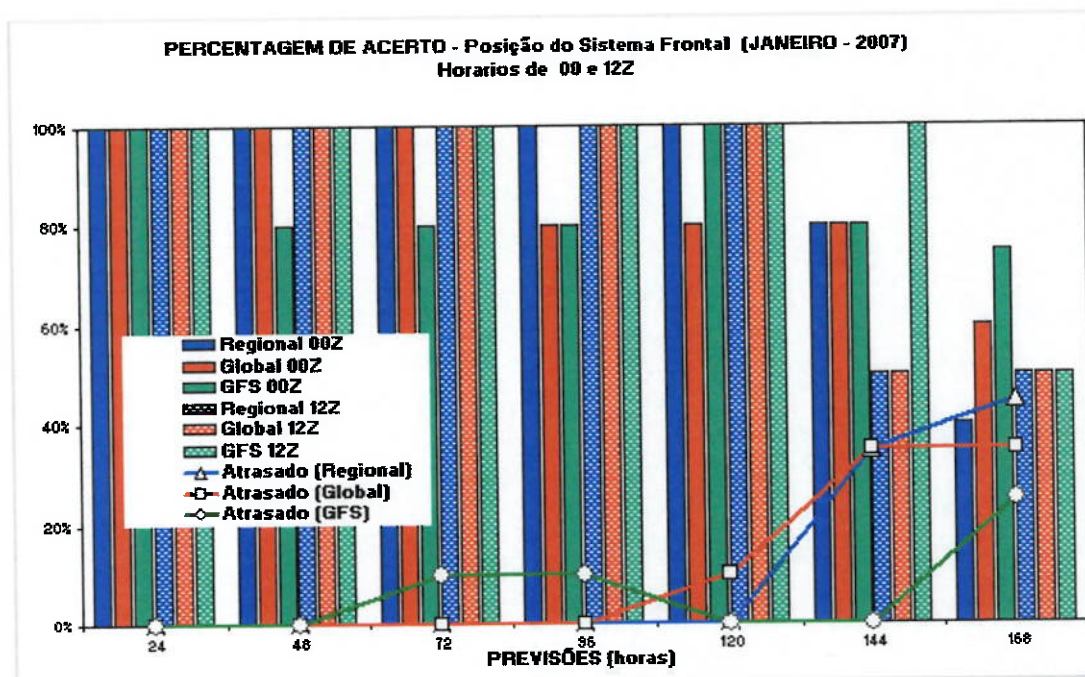


Figura 3.18- Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, janeiro de 2007: <http://www.cptec.inpe.br/avaliacao/subjetiva.shtml>

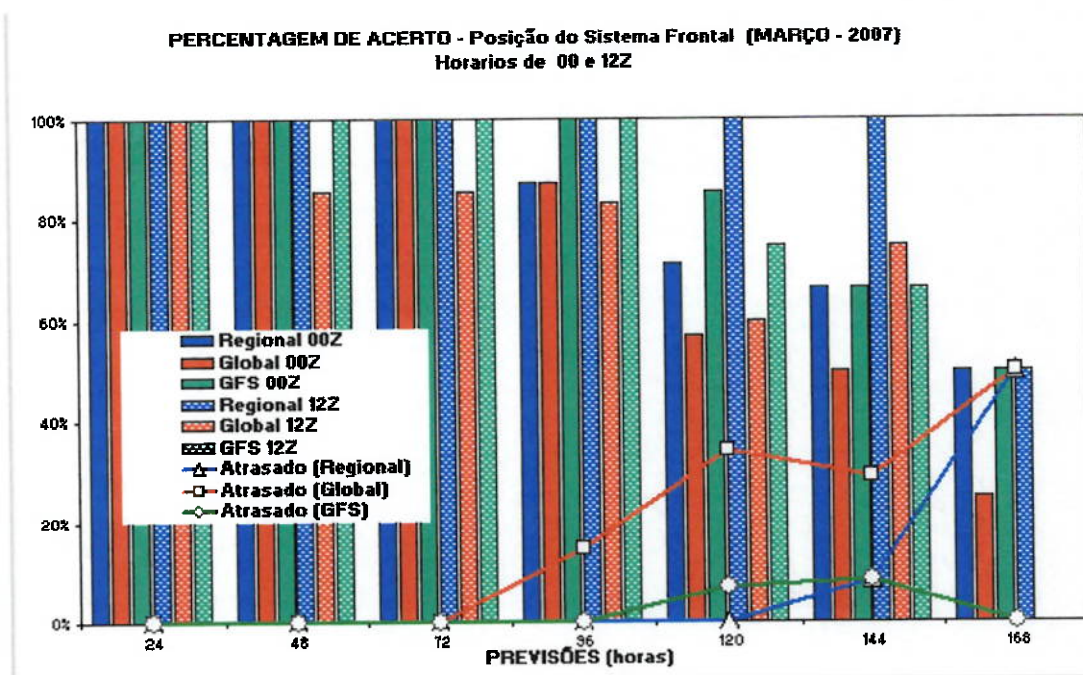


Figura 3.19- Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, março de 2007 – <http://www.cptec.inpe.br/avaliacao/subjetiva.shtml>.

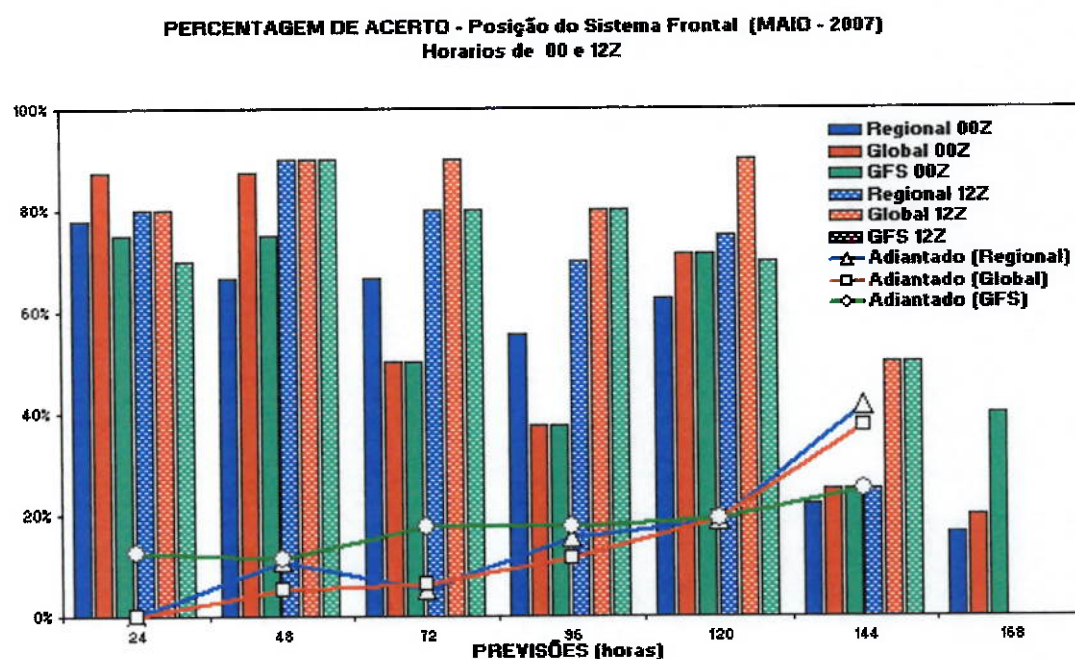


Figura 3.20- Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, maio de 2007 – <http://www.cptec.inpe.br/avaliacao/subjetiva.shtml>.

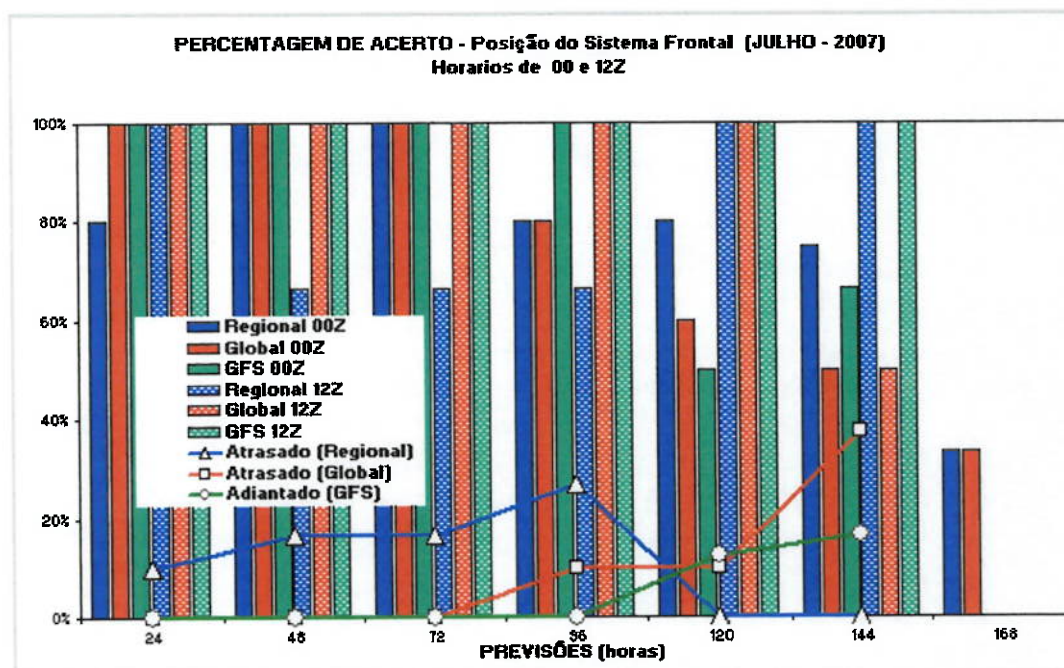


Figura 3.21- Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, julho de 2007 – <http://www.cptec.inpe.br/avaliacao/subjetiva.shtml>.

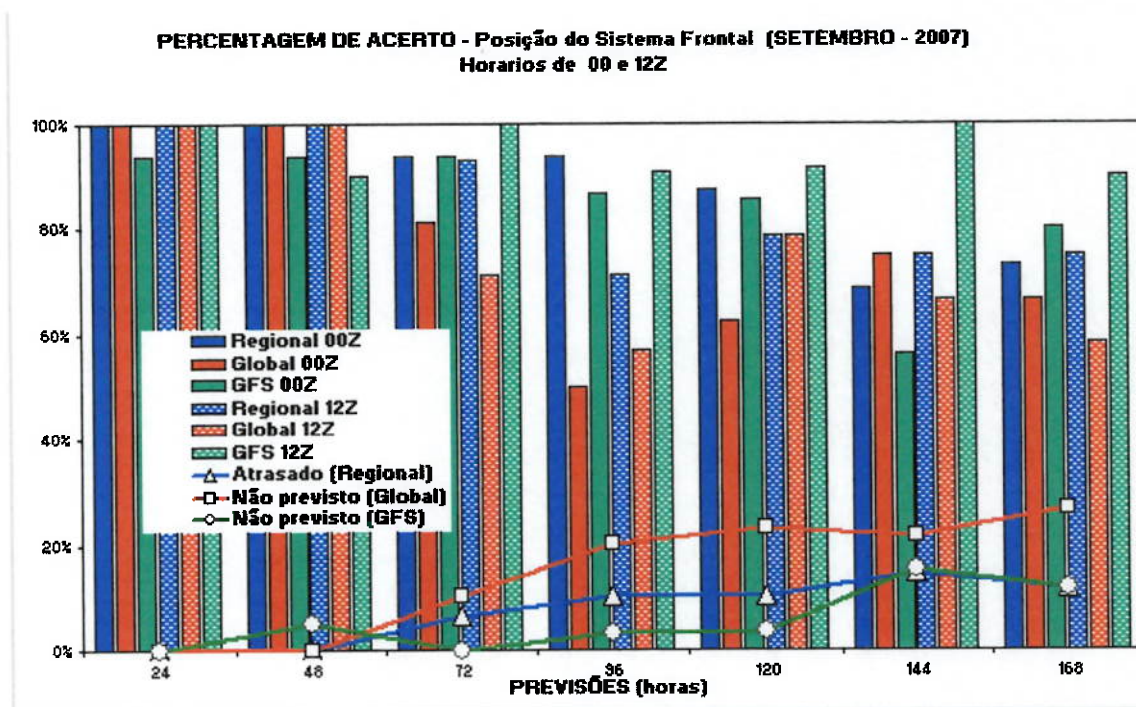


Figura 3.22- Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – porcentagem de acerto na posição de sistemas frontais, setembro de 2007 – <http://www.cptec.inpe.br/avaliacao/subjetiva.shtml>.

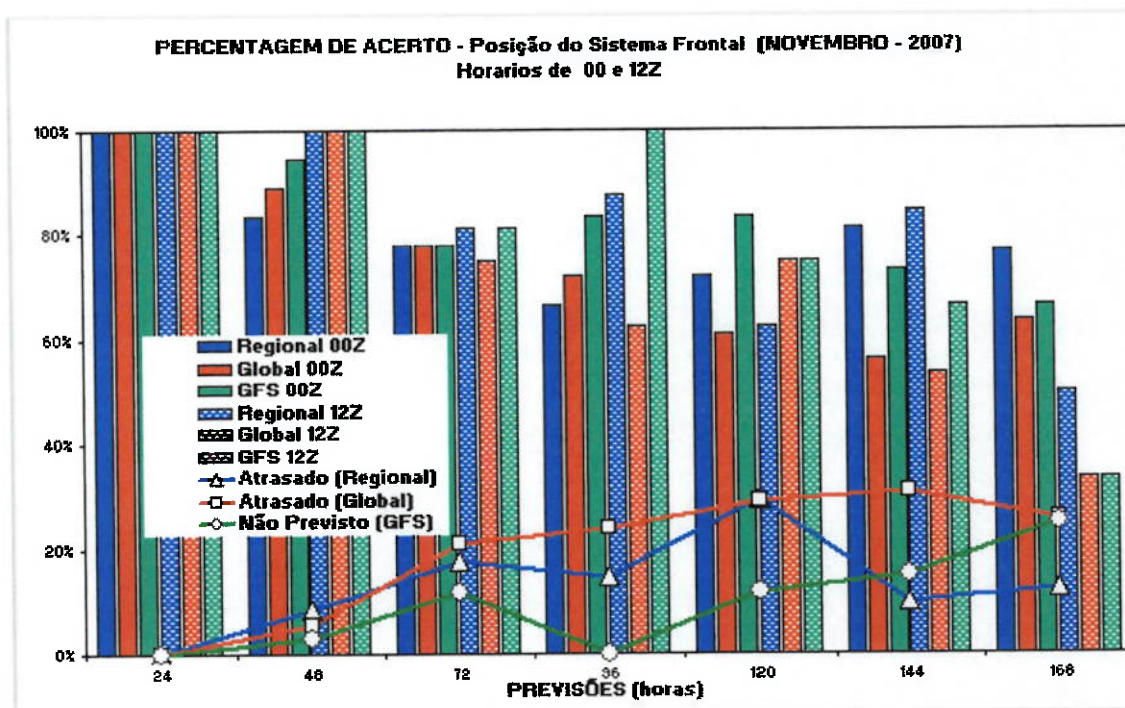


Figura 3.23- Avaliação subjetiva do desempenho de previsões – percentagem de acerto na posição de sistemas frontais, novembro de 2007 – <http://www.cptec.inpe.br/avaliacao/subjetiva.shtml>.

Existe um esforço coordenado no qual 12 entidades nacionais e estrangeiras avaliam as previsões numéricas de tempo disponíveis e desenvolvem esquemas de previsão baseadas na multiplicidade dos produtos. Embora não existam relatórios consolidados desse trabalho, o banco de dados é de acesso público (www.cptec.inpe.br/comparacao) e permite que sejam feitas consultas personalizadas.

A título de exemplo, deu-se a comparação das previsões de precipitação feitas a partir do modelo ETA 40 km do CPTEC com a estimativa de precipitação feita pelo TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>), para a estação SBSP (Aeroporto de Congonhas) e para a média das estações no Sudeste do Brasil. Os resultados, expostos nas figuras 3.24 a 3.28, ilustram:

- A diferença entre a qualidade das previsões obtida para um ponto, no caso a Estação Meteorológica do Aeroporto de Congonhas em São Paulo (SBSM) e para uma área de grande extensão, ou seja, a região Sudeste do Brasil.
- A perda de qualidade nas previsões de maior tempo de integração.

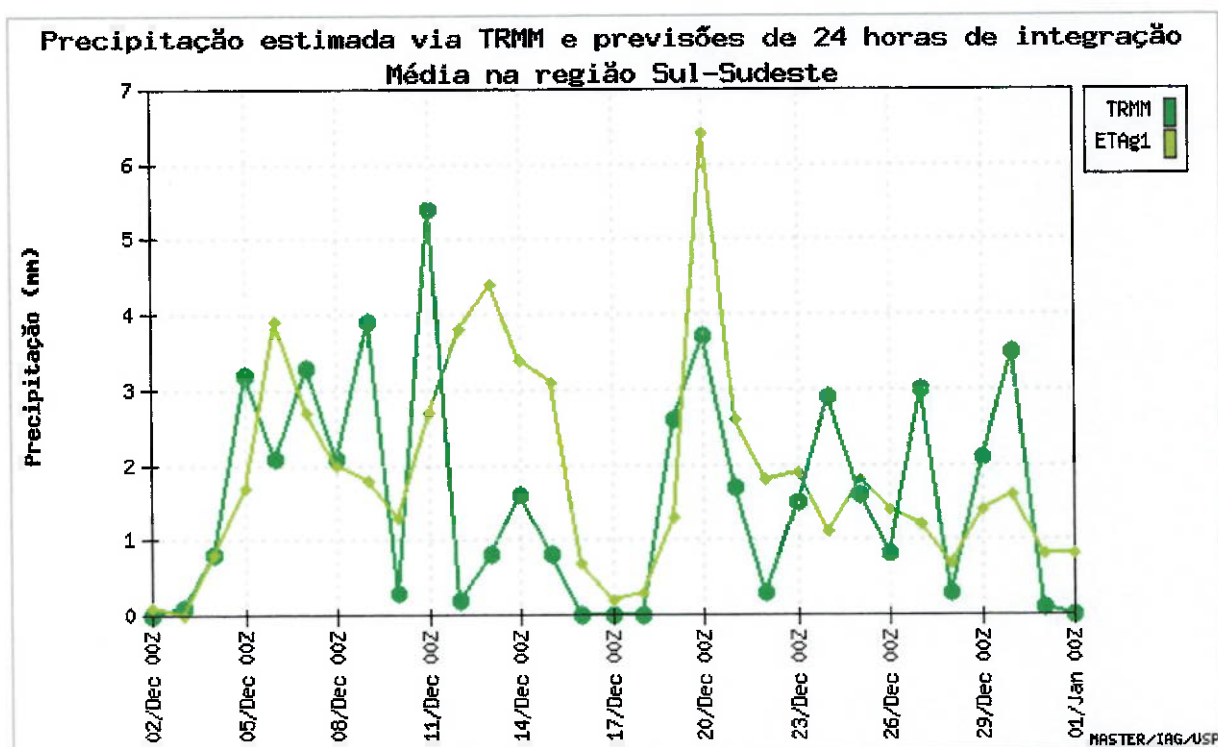
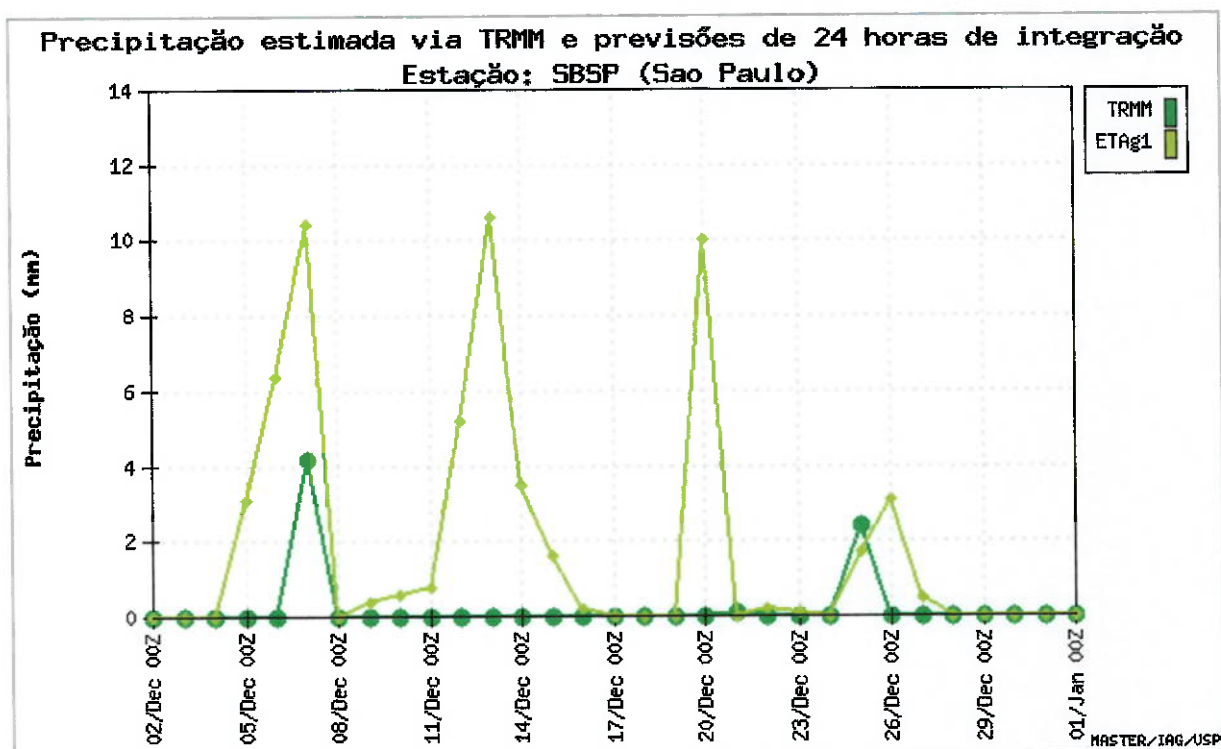


Figura 3.24- Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 24 horas:

(a) para a Estação SBSP (Aeroporto de Congonhas) e (b) para a região Sudeste.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/comparacao/>, acesso em 13/1/2008.

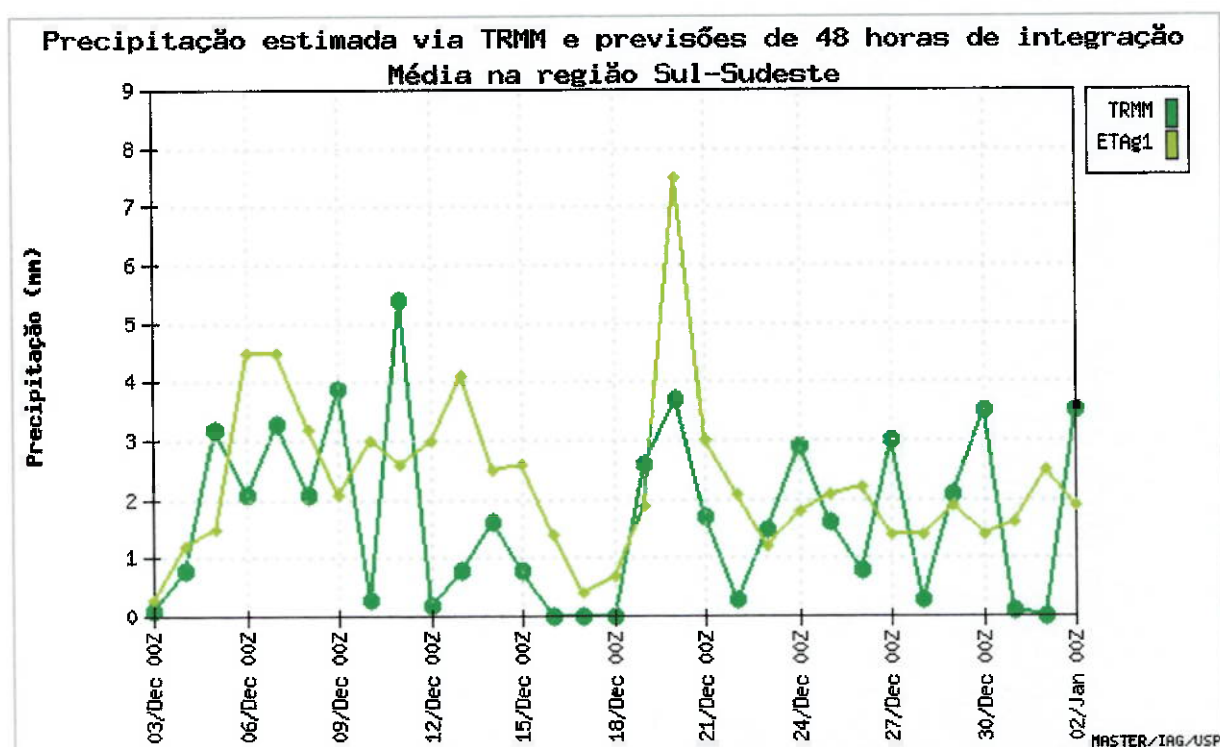
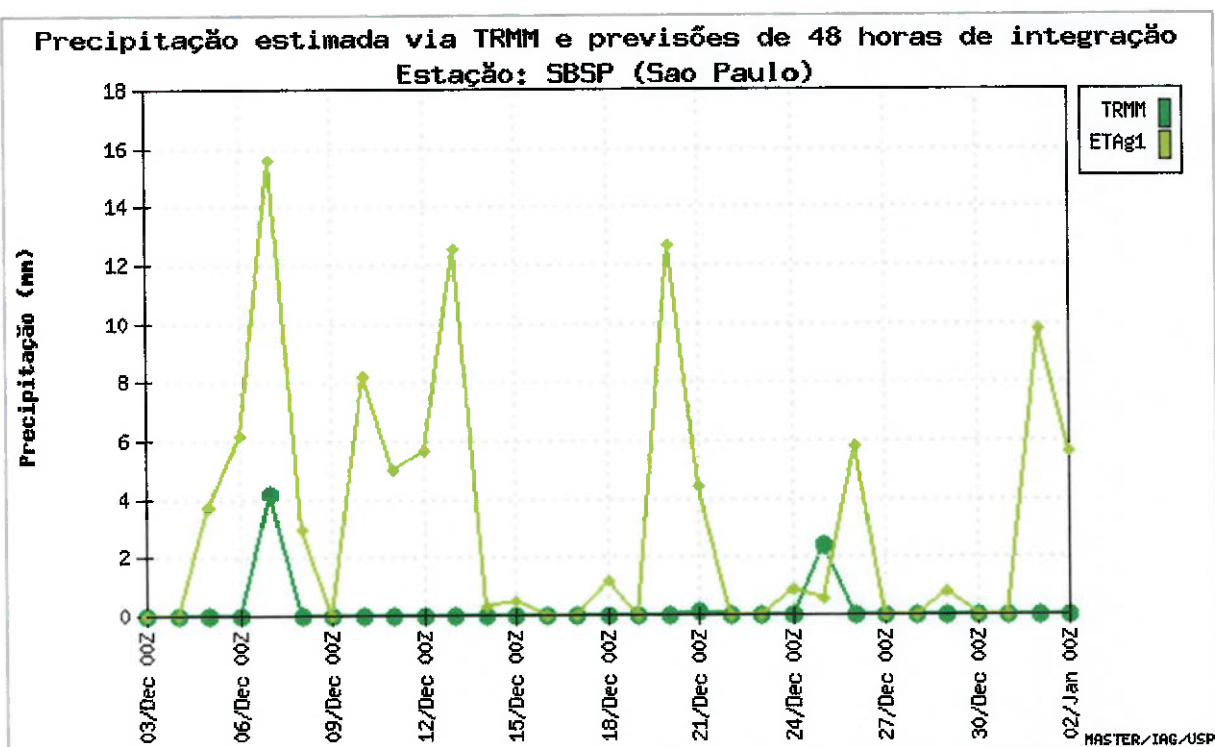


Figura 3.25- Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 48 horas:

(a) para a Estação SBSP (Aeroporto de Congonhas) e (b) para a região Sudeste.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/comparacao/>, acesso em 13/1/2008.

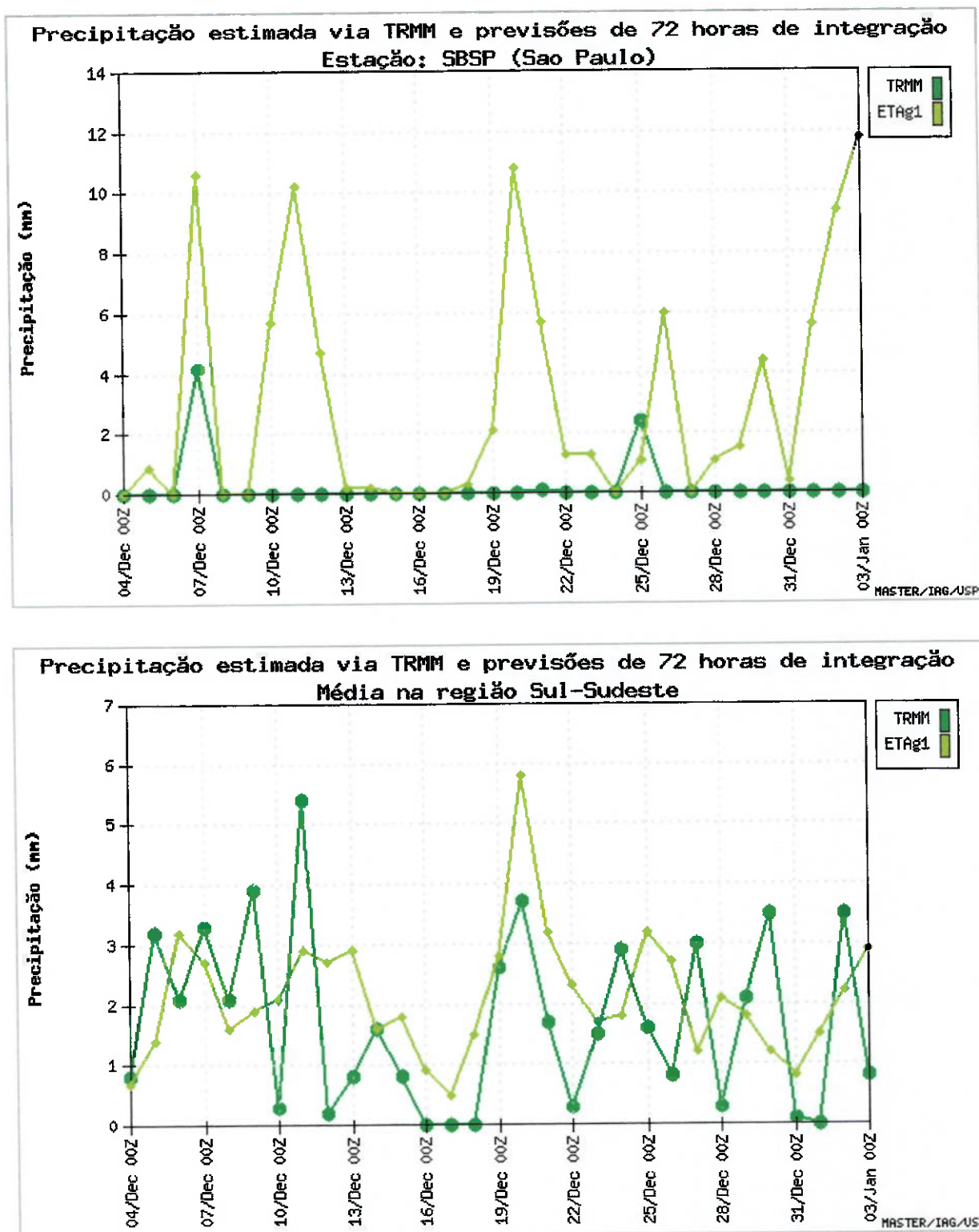


Figura 3.26- Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 72 horas:

(a) para a Estação SBSP (Aeroporto de Congonhas) e (b) para a região Sudeste.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/comparacao/>, acesso em 13/1/2008.

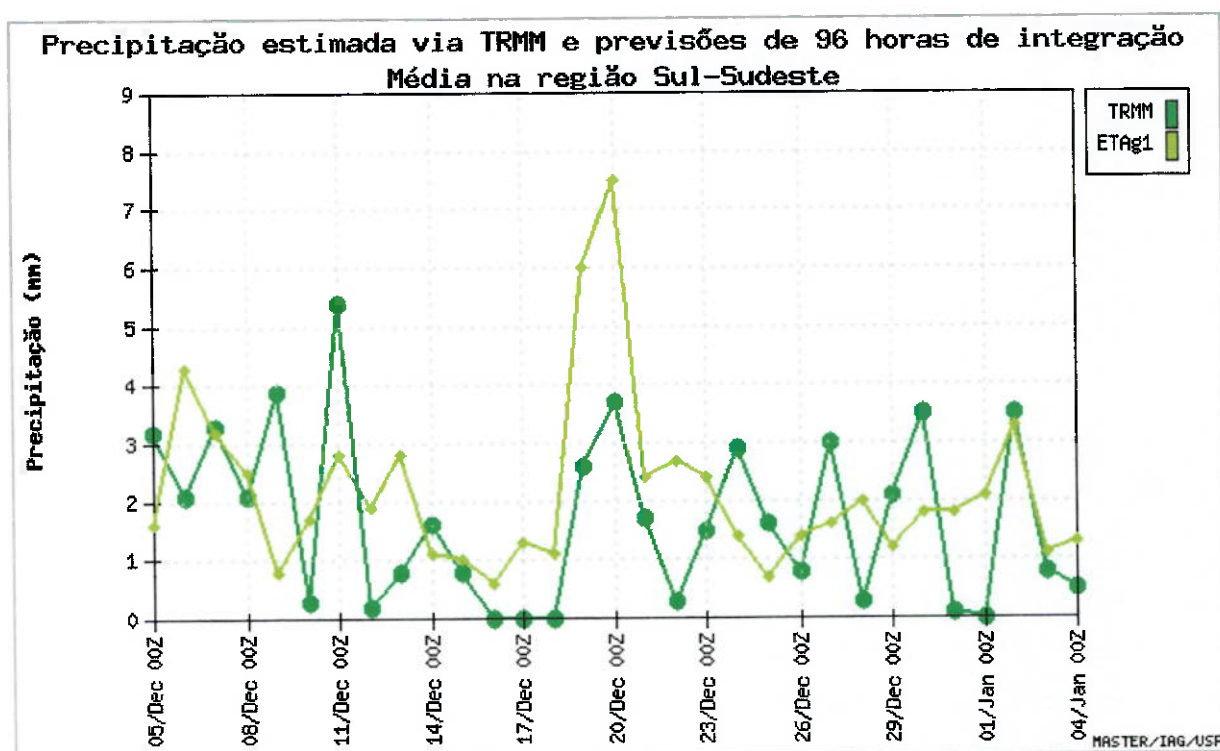
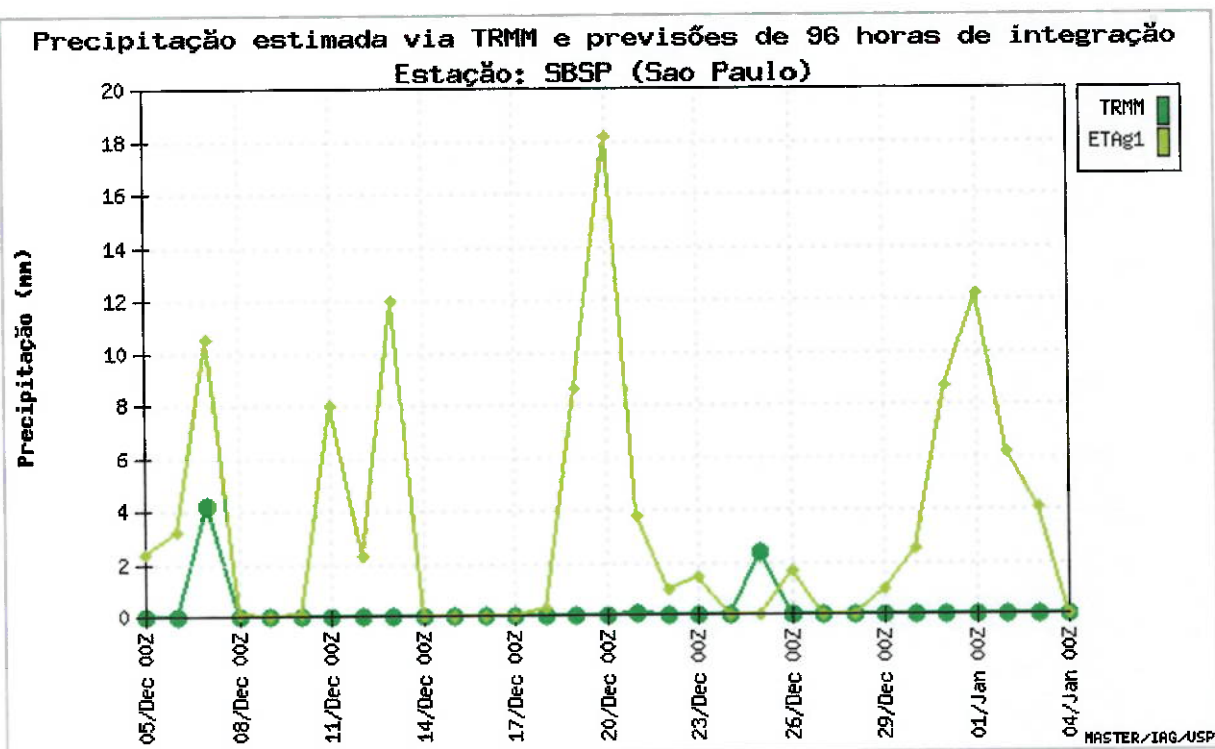


Figura 3.27- Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 96 horas:

(a) para a Estação SBSP (Aeroporto de Congonhas) e (b) para a região Sudeste.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/comparacao/>, acesso em 13/1/2008.

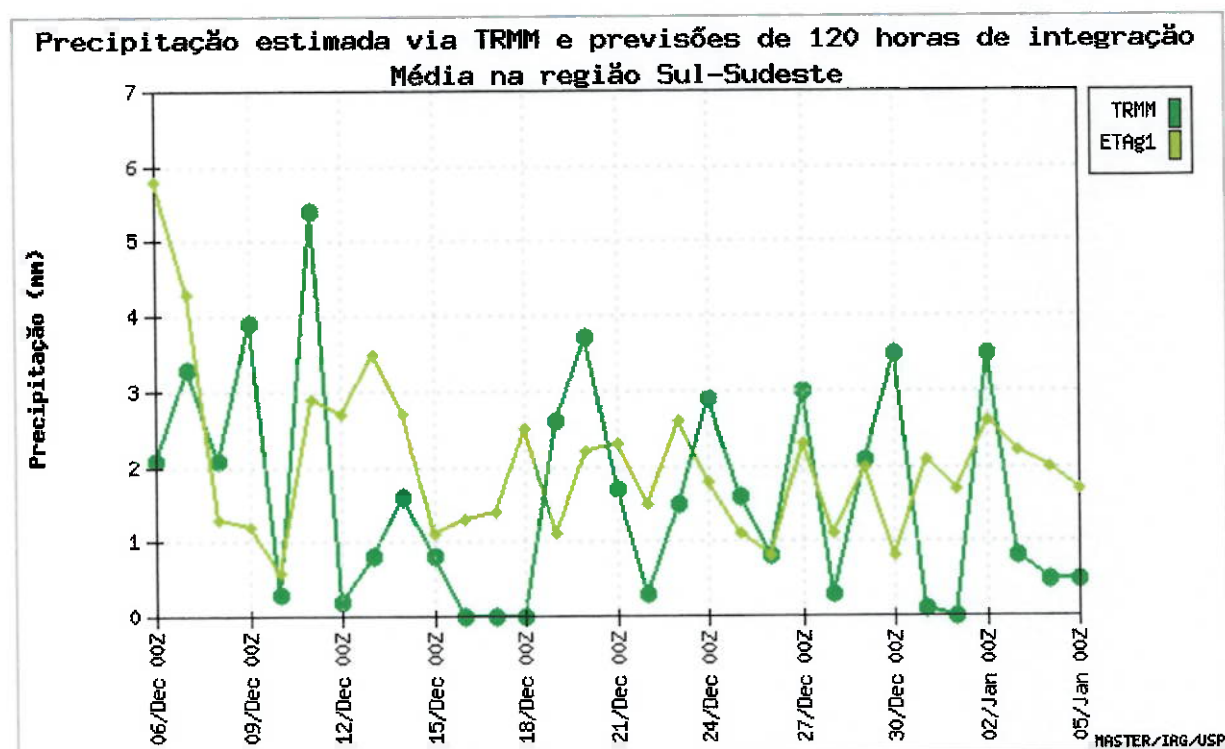
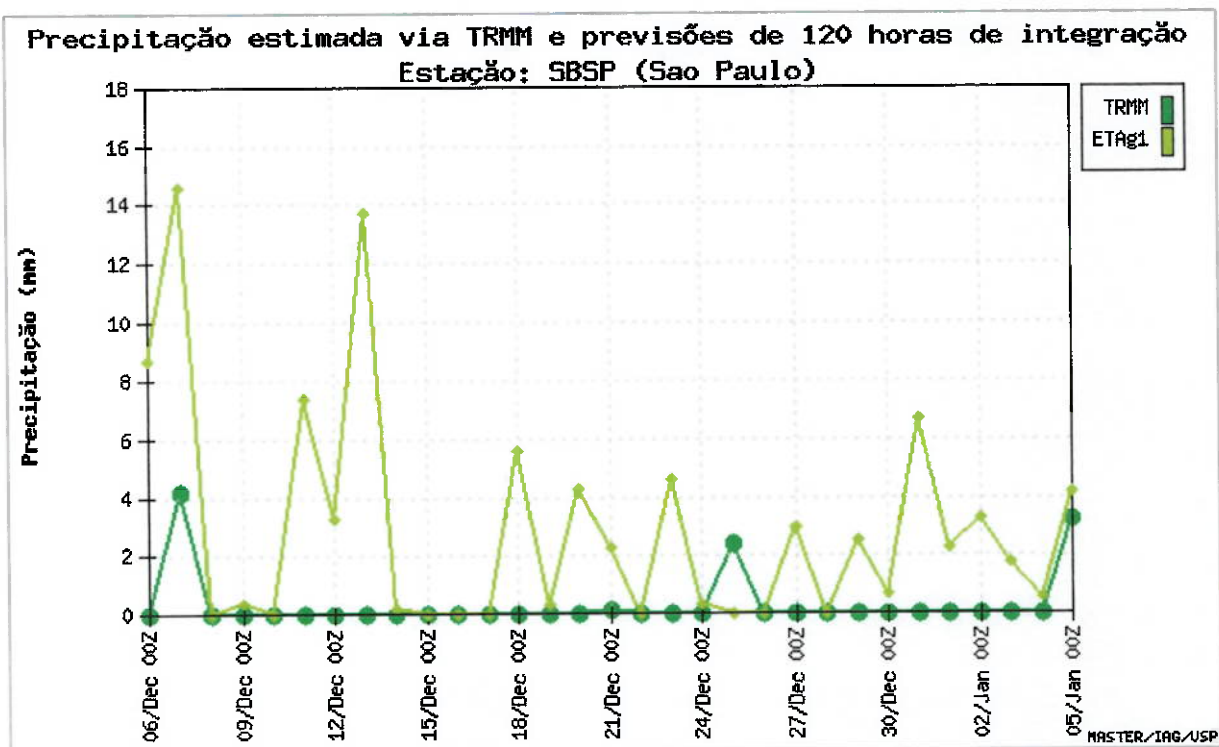


Figura 3.28- Comparação entre a precipitação estimada pelo modelo TRMM e a prevista pelo modelo ETA, tempo de integração de 120 horas:

(a) para a Estação SBSP (Aeroporto de Congonhas) e (b) para a região Sudeste.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/comparacao/>, acesso em 13/1/2008.

O “downscaling estatístico” é uma técnica utilizada para aprimorar as previsões dos modelos numéricos. O principal atrativo é a possibilidade de transferir a previsão espacial de um modelo numérico para uma previsão pontual, ajustando as previsões do modelo para localidades específicas. A seguir é descrito um experimento realizado no estado de São Paulo (RAMIREZ, FERREIRA e VELHO, 2006).

O “downscaling estatístico” empregado pelos autores utilizou redes neurais (RNA). A RNA é uma técnica matemática que permite mapear conjuntos de dados de entrada e de saída através de uma função de transferência não linear. Os autores utilizaram como conjunto de entrada as variáveis em nove pontos de grade do modelo ETA mais próximos de cada estação meteorológica, em horários pré-determinados. O conjunto de saída foi a precipitação diária, na estação correspondente.

Ao invés de utilizar toda a massa de dados existentes na série temporal como preditores, RAMIREZ, FERREIRA E VELHO (2006) separaram somente os períodos que refletissem os sistemas de tempo previstos, ou seja, o padrão de atuação simultânea ZCAS-VCAN (Zona de Convergência do Atlântico Sul e Vórtice Ciclônico em Alto Nível), responsáveis por episódios severos de chuva no estado de São Paulo (figura 3.29).

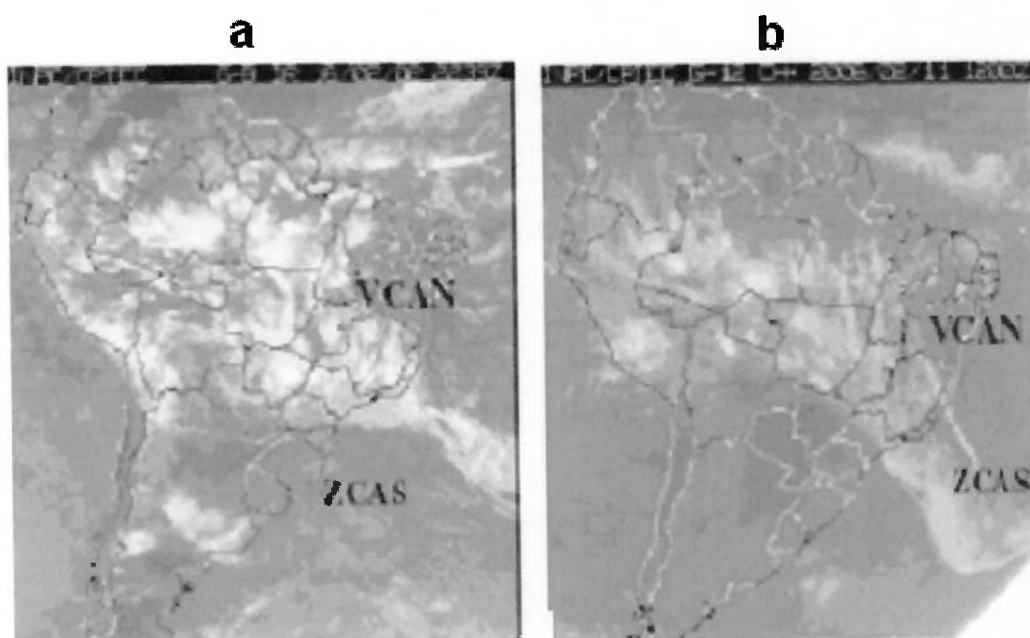


Figura 3.29- Imagens do Satélite GOES-8: (a) dia 16/2/2002 e (b) dia 11/02/2006 (RAMIREZ, FERREIRA e VELHO, 2006).

A ZCAS é um fenômeno em escala continental caracterizado, na composição de imagens de satélite, como uma banda de nebulosidade de orientação NW/SE, estendendo-se desde o sul da região amazônica até a região central do atlântico sul. Para as regiões Sul e Sudeste, no período de verão, a ZCAS tem importante papel na ocorrência de veranicos e enchentes severas; no estado de São Paulo, por exemplo, os períodos mais úmidos dentro da estação chuvosa são caracterizados pela presença de ZCAS (IAG, 2008).

Algumas características do VCAN foram condensadas por LOURENÇO E GAN (1996):

Os vórtices ciclônicos em altos níveis (VCAN) de origem subtropical atuam sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil por um período de 1 ou 2 dias, provocando chuvas e ventos fortes. A influência de VCAN na região Sudeste do Brasil foi estudada recentemente por SILVA DIAS E GRAMMELSBACHER (1991) e SAKURAGI (1992). O primeiro trabalho mostrou que a possível ocorrência de um tornado, no dia 26 de abril de 1991, sobre Franco da Rocha e São Bernardo do Campo, estava associada à interação de um sistema frontal com um VCAN. SAKURAGI (1992) demonstrou que chuvas intensas ocorridas em São Paulo, no dia 19 de março de 1991, estavam associadas a um VCAN que atuava na região. Além de causar chuvas fortes, os VCAN também estão muitas vezes associados à ocorrência de geadas (FORTUNE, 1982).

O experimento utilizou dados de precipitação provenientes de 12 estações meteorológicas distribuídas pelo estado de São Paulo, bem como saídas do modelo ETA compreendidas entre os anos de 1999 e 2006, com os seguintes parâmetros: umidade específica, convergência de umidade, divergência, temperatura potencial equivalente, água precipitável e velocidade vertical. Do conjunto total de dados foram selecionados 12 casos de ZCAS-VCAN. A avaliação estatística dos resultados foi feita através do coeficiente de correlação (ρ) e o Skill Score (SS). Um SS positivo indica melhorias em valor de porcentagem de previsão do modelo neural sobre o modelo ETA.

A tabela 3.8 apresenta os parâmetros de avaliação estatística dos resultados, no qual o RNA corresponde à saída da rede neural que emprega toda a massa de dados na escala temporal; RNA-P, a massa de dados correspondente aos períodos

de ocorrência de ZCAS-VCAN; e ETA, a saída de previsões do modelo ETA. Na coluna esquerda, os códigos das 12 estações utilizadas.

As figuras 3.30 e 3.31 comparam as precipitações previstas pelo modelo ETA, RNA e RNA-P, para dois episódios de ZCAS-VCAN.

Tabela 3.8- Avaliação estatística do experimento de *downscaling* estatístico (RAMIREZ, FERREIRA e VELHO, 2006).

	Fevereiro 2002 (16-29)					Fevereiro 2006 (8-14)		
	ρ			SS (%)		P		SS (%)
	RNA	RNA-P	Eta	RNA	RNA-P	RNA-P	ETA	RNA-P
BR	0,32	0,91	0,51	-40,02	-43,81	-	-	-
CAT	0,79	0,57	0,19	31,38	10,35	0,72	0,46	0,67
FR	0,03	0,05	0,11	-48,90	-23,32	-0,20	-0,32	-157,67
GR	0,56	0,89	0,50	-3,40	38,60	-	-	-
IAG	0,70	0,81	-0,03	-0,76	6,08	-	-	-
KP	0,35	0,88	0,39	18,88	71,97	-	-	-
PP	-0,09	0,82	0,95	-105,29	-63,13	0,54	0,44	64,36
RP	-0,12	0,44	0,44	-40,0	5,29	-	-	-
SC	0,7	0,3	0,6	30,46	-54,59	0,61	0,61	-16,34
SJC	0,7	0,8	0,5	-9,33	49,75	0,54	0,18	15,56
UBA	0,3	0,3	-0,2	15,40	23,22	0,94	0,79	50,12
VO	0,7	0,5	0,2	28,44	31,06	0,86	0,75	7,11

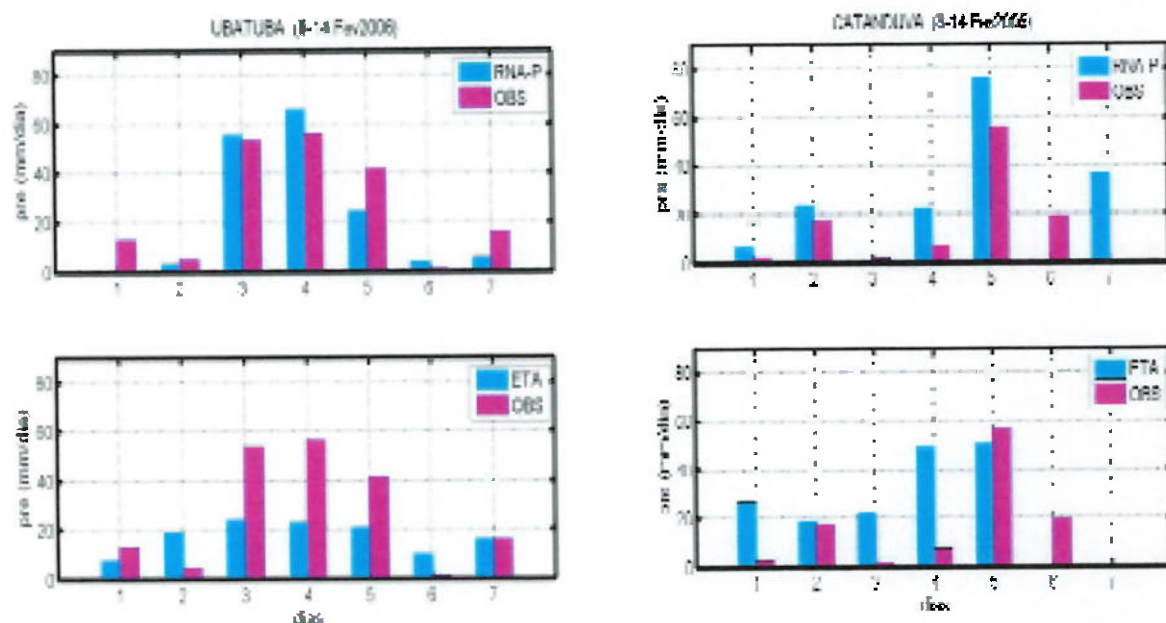


Figura 3.30: Comparação entre a chuva observada, a previsão do modelo ETA e a previsão feita por "downscaling estatístico" (RNA-P) para as estações de Ubatuba (esquerda) e Catanduva (direita) entre 8 e 14 de fevereiro de 2006 (RAMIREZ, FERREIRA e VELHO, 2006).

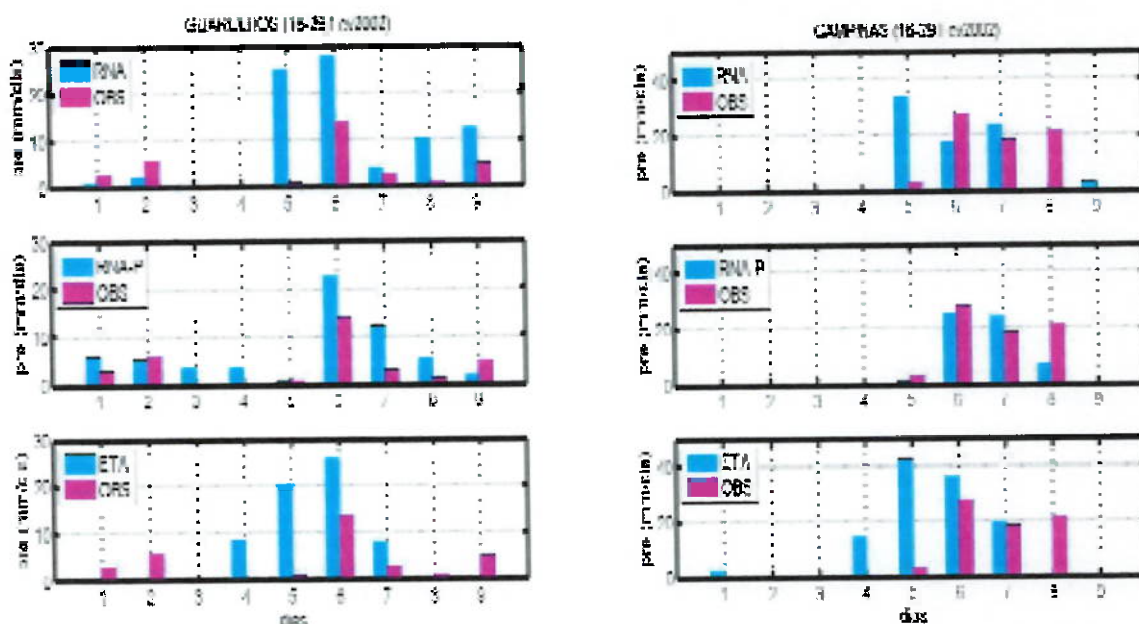


Figura 3.31: Comparação entre a chuva observada, a previsão do modelo ETA e a previsão feita por "downscaling estatístico" (RNA e RNA-P) para as estações de Ubatuba (esquerda) e Catanduva (direita) entre 16 e 29 de fevereiro de 2006 (RAMIREZ, FERREIRA e VELHO, 2006).

3.4 Modelos de conversão chuva x vazão

Os processos hidrológicos e hidráulicos são difíceis de serem entendidos e quantificados devido ao grande número de variáveis que se modificam no espaço e no tempo. Avaliar esses processos com certo grau de precisão é essencial para gerenciar de maneira racional o uso da água e, além disso, prever eventos extremos de cheias e períodos de estiagem (MACHADO et al, 2005).

Os fundamentos do ciclo hidrológico foram estabelecidos na Renascença, quando Da Vinci e Bernard Palissy observaram a correlação entre as precipitações e as vazões nas fontes. No século XVII, medições demonstraram o papel da precipitação como fonte dos volumes escoados em uma bacia e a evaporação foi medida, provando que os oceanos poderiam se constituir na fonte geradora de todos os cursos d'água. O século XVIII foi marcado pelos estudos de hidráulica experimental de Bernoulli, Pitot, Chezy e D'Álembert, entre outros (CHOW, 1964, in: KRAUSKOPF NETO et al, 2005).

O século XIX é reconhecido como o período da modernização (CHOW, 1964, in: KRAUSKOPF NETO et al, 2005), com avanços na medição de vazões e águas subterrâneas e o estabelecimento da lei de Darcy, lei de Dalton para a evaporação e das equações de escoamento de Manning.

Nos anos 1920, a atenção dos pesquisadores estava direcionada para o reconhecimento e quantificação de ciclos meteorológicos plurianuais, que poderiam fornecer empiricamente a chave para a previsão de chuvas (e vazões) em períodos futuros (DAVENPORT, in: MEINZER, 1942).

Os primeiros modelos chuva-vazão surgiram na década de 1930. No início, esses modelos eram simples e nem sempre eram capazes de considerar os efeitos não lineares inerentes ao problema. O computador permitiu trabalhar com grande número de dados num pequeno intervalo de tempo. Esses novos modelos, denominados conceituais, consideravam de forma simplificada os processos físicos que ocorrem na bacia hidrográfica. Precipitação, interceptação, evaporação, infiltração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo são os principais processos descritos por esses modelos (figura 3.32). Cada um desses processos é avaliado por um algoritmo independente, que, integrados, constituem o modelo chuva-vazão conceitual (MACHADO et al, 2005).

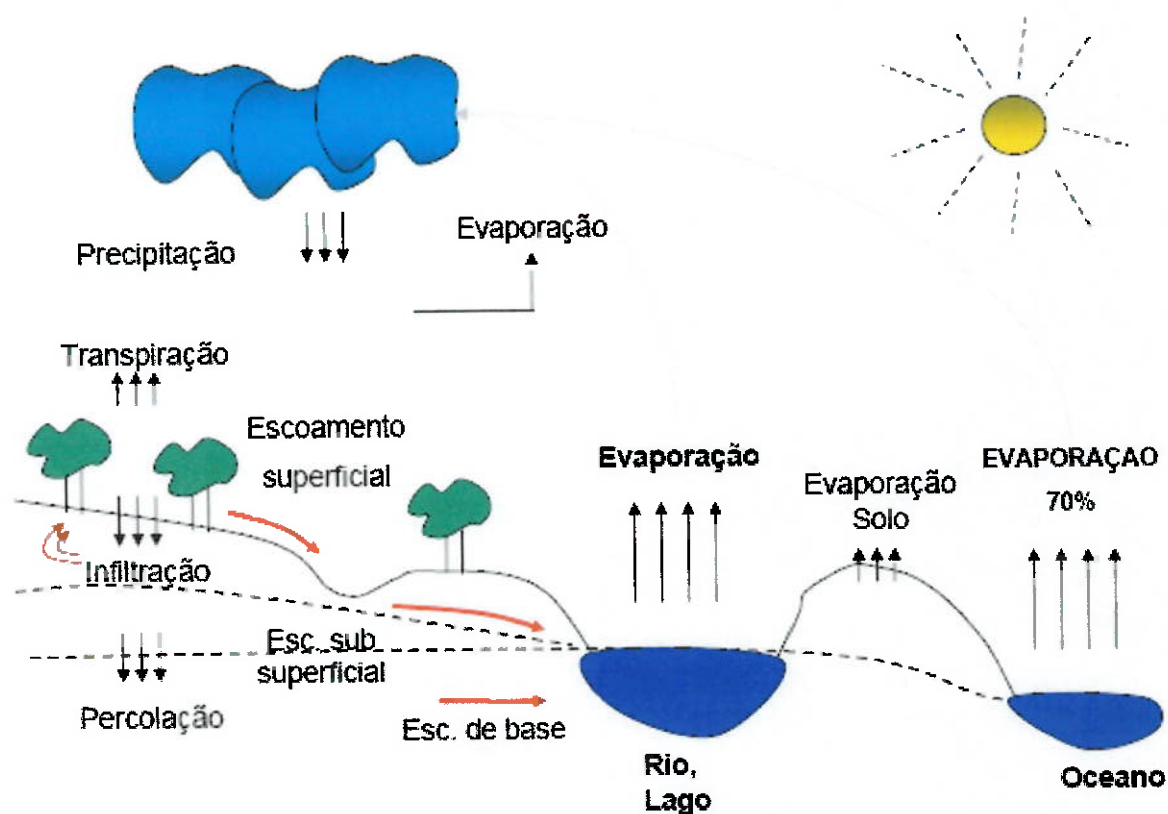


Figura 3.32- Representação do ciclo hidrológico.

A variedade de modelos aplicáveis em hidrologia é extensa. A tabela 3.9 (adaptada de KRAUSKOPF NETO et al, 2005) classifica os modelos conforme diferentes aspectos. O autor também expõe algumas limitações desse tipo de classificação:

Embora o objetivo básico da classificação de um modelo seja adiantar informações sobre ele, o autor considera que, de maneira geral, as classificações têm fronteiras difusas, não claramente definidas, o que diminui significativamente o ganho com sua utilização. Como exemplo, temos a classificação de modelo conceitual e empírico: a representação de um componente do ciclo hidrológico com uma função empírica gera um modelo empírico, mas uma coleção de funções empíricas, cada uma representando um dos componentes do ciclo, gera um modelo conceitual. Além disso, é opinião do autor que todo modelo hidrológico matemático é, sempre, um modelo de comportamento, simplificado ao menos em estrutura, empírico, discreto e estocástico. O modelo será sempre simplificado em estrutura porque não há como reproduzir de forma realista, por exemplo, a miríade de canalículos formados pelo solo, o que geraria um modelo conceitual, devendo este componente ser modelado através de representantes, geralmente componentes homogêneos com propriedades médias. É empírico porque a complexidade e variabilidade dos processos de fluxos de água e energia na bacia praticamente obrigam a utilização de heurísticas sobre pelo menos parte do processo. E o modelo é de natureza estocástica porque muitos dos dados e propriedades do modelo são representados por valores médios: as variações espacial e temporal dos valores reais que produziram esta média tornam os resultados do modelo automaticamente estocástico. O fato da maioria dos modelos não explicitar a natureza estocástica da resposta não muda esta natureza.

Para o propósito específico de transformação chuva x vazão, a comparação entre os modelos matemáticos conceituais e empíricos é feita por Machado et al (2005):

Apesar dos bons resultados obtidos, os modelos conceituais apresentam certos limites em alguns aspectos como a necessidade de interpretação do algoritmo do modelo, o grande número de parâmetros que devem ser calibrados e a necessidade de levantamento de dados em campo, que geralmente acrescem custos e prazo à modelagem. Para interpretar um modelo conceitual é necessário conhecer hidrologicamente quais são os principais processos envolvidos no ciclo hidrológico e como eles são representados matematicamente e qual seu comportamento na escala do tempo. Como a interação entre os parâmetros é muito complexa, o processo de otimização na calibração deve ser acompanhado de um procedimento de ajuste por tentativa e erro. Nessas circunstâncias, a qualidade dos

resultados obtidos pelos modelos conceituais torna-se subjetiva e muito dependente da experiência do usuário em relação ao modelo. Uma alternativa aos modelos conceituais é o empirismo. Um modelo empírico é definido basicamente por uma equação matemática. A característica principal deste tipo de modelo consiste em estabelecer uma relação estável entre as variáveis de entrada e saída sem considerar neste processo quais as leis físicas que governam o processo natural de transformação da chuva em vazão. Exemplos destes modelos são equações lineares e não lineares multivariáveis, com os parâmetros estimados por mínimos quadrados, e redes neurais artificiais – RNA.

MACHADO et al (2005) compararam as vantagens e desvantagens dos modelos de transformação chuva x vazão. Ressaltam que a escolha de um ou outro modelo é subjetiva e “depende, além de questões como objetivos, limites, quantidade e qualidade de dados, da questão da maior ou menor sensibilidade do usuário com o modelo [...] A precipitação é um exemplo disso, os erros devido às simplificações quanto à distribuição temporal e espacial da mesma são muito maiores do que qualquer refinamento da metodologia que simule os processos físicos da bacia”.

Os modelos determinísticos representam o ciclo hidrológico através da conservação de volumes e de equações empíricas, utilizadas para retratar um ou outro processo da bacia. Como essas equações são obtidas pontualmente, as extrapolações para a área da bacia nem sempre levam a uma boa relação entre as vazões calculadas e medidas. Além disso, cenários que proponham alterações nas bacias, especialmente no uso e ocupação do solo, não podem ser verificados com esses modelos.

Os modelos empíricos estabelecem uma relação estável entre as variáveis de entrada e saída sem considerar neste processo quais as leis físicas que governam o processo natural de transformação da chuva em vazão. Exemplos destes modelos são equações lineares e não lineares multivariáveis, com parâmetros estimados por mínimos quadrados, e redes neurais artificiais – RNA. Os modelos empíricos possuem calibração mais simples em relação aos conceituais, exigem menos levantamentos de campo e interpretação hidrológica.

Tabela 3.9- Classificação de modelos aplicáveis em hidrologia (adap. KRAUSKOPF NETO, 2005).

2005).

Quanto ao aspecto a ser representado	modelo de forma: busca reproduzir apenas a forma do sistema. Ex.: maquete.	
	modelo de comportamento ou de processo: busca reproduzir o comportamento, a parte dinâmica de um sistema. Ex.: modelo hidrodinâmico.	
Quanto ao grau de representação dos aspectos	modelo simplificado: os aspectos a serem reproduzidos são descritos com grau de complexidade menor que o do sistema original. Ex.: modelo de propagação de onda cinemática. Os modelos podem ser simplificados em relação a:	comportamento: o comportamento do sistema é representado de maneira simplificada.
		estrutura: a estrutura do sistema é representada de maneira simplificada. A estrutura do sistema é definida por seus componentes físicos e pela forma como eles se relacionam. Ex.: talvegue de um rio em modelo hidrodinâmico.
	modelo completo: reflete os aspectos modelados com o maior nível de detalha possível. Ex.: modelo de propagação hidrodinâmico tridimensional	
Quanto à forma de representação dos aspectos	modelo físico: os aspectos a modelar são reproduzidos por alguma grandeza física, como forma, vazão, nível, tensão, corrente etc. Os modelos físicos podem ser divididos em dois tipos:	modelo símile: o aspecto é reproduzido em forma de representação semelhante à do sistema original, mas em uma escala apropriada. Ex.: modelo reduzido de canal;
		modelo analógico: o aspecto é reproduzido em uma forma de representação diferente, mas que apresente comportamento semelhante ao do sistema original. As grandezas medidas no modelo são diferentes das grandezas do sistema real, mas guardam uma relação de valor. Ex.: modelo de propagação de vazão por circuitos elétricos.
	modelo matemático: os aspectos são representados por conjuntos de equações matemáticas. Ex.: modelo hidrodinâmico. Os modelos matemáticos podem ser divididos em:	modelo conceitual: as equações que representam os aspectos da realidade tentam reproduzir os fenômenos geradores destes aspectos e não apenas seu comportamento;
		modelo empírico: as equações que representam os aspectos são definidas sem levar em conta seus fenômenos geradores, procurando reproduzir apenas o comportamento destes aspectos.

(continua)

Tabela 3.9: Classificação de modelos aplicáveis em hidrologia (adap. KRAUSKOPF NETO, 2005).
(continuação)

Quanto ao comportamento no tempo	modelo contínuo: em um modelo contínuo, as saídas estão definidas para todos os instantes do período que o modelo deve representar. Modelos contínuos são, basicamente, os físicos e os matemáticos com entrada contínua (definida como função matemática contínua) e solução analítica. Ex.: modelo reduzido de canal.
	modelo discreto: em um modelo discreto, as entradas, processamento e saídas são definidos apenas para alguns instantes do período a ser representado pelo modelo. Os valores associados a cada um destes instantes representam o valor de uma grandeza naquele instante ou em um período de tempo que inicia ou termina naquele instante.
Quanto ao tipo da informação de saída	modelo determinístico: modelo que, para um estado definido, relaciona univocamente uma entrada com uma saída. Ou seja, são modelos em que, dados um estado e uma entrada, obtém-se uma única saída.
	modelo estocástico: modelo no qual uma ou mais saídas são variáveis estocásticas. Em um modelo estocástico, dados um estado e uma entrada, obtém-se um conjunto das saídas possíveis. Ex.: modelo de previsão de vazões para controle de enchentes do setor elétrico.
Quanto ao tipo de comportamento do processo sendo modelado	modelo linear: atende às propriedades de superposição ($f(x+y) = f(x) + f(y)$) e de homogeneidade (se $f(x) = y$, então $f(n x) = n y$). Do ponto de vista matemático, um modelo é linear se os coeficientes da equação diferencial parcial que o define não são função da variável independente.
	modelo não-linear: todo modelo que não atende às condições definidas para um modelo ser linear.
Quanto ao comportamento em operação	modelo de simulação: a atualização de variáveis de entrada e/ou parâmetros e/ou variáveis de estado se dá em tempo diferido, ou seja, por procedimento fora do ambiente de operação.
	modelo adaptativo: atualiza variáveis de entrada e/ou parâmetros e/ou variáveis de estado durante a operação do modelo.
Quanto à discretização da representação espacial	modelo concentrado: representa uma bacia hidrográfica como um todo.
	modelo semidistribuído: representa uma bacia hidrográfica como um conjunto de sub-bacias.
	modelo distribuído: representa a bacia hidrográfica como um conjunto de áreas que não constituem, necessariamente, sub-bacias.

3.5 Sistemas informatizados de gerenciamento de reservatórios e suporte à decisão

Um sistema de suporte à decisão que envolva a otimização do uso de reservatórios e o controle de cheias dentro de um horizonte de tempo de poucas horas requer cuidados redobrados. Estes não devem se restringir à elaboração da parte de coleta de dados e estimativas de vazões. A forma com que essas informações são processadas e entregues ao usuário têm pesos igualmente importantes, pois

interferem na qualidade e rapidez da tomada das decisões e na comunicação aos organismos externos, como, por exemplo, a Defesa Civil.

A literatura sobre os aspectos operacionais dos Sistemas de Suporte à Decisão (SSDs) em reservatórios é restrita. BOWLES et al (2004) descrevem as características e funções de um SSD em operação no Rio American, próximo à cidade de Sacramento, estado da Califórnia, EUA.

O “Complexo Folsom” é operado pelo *U.S. Bureau of Reclamation (USBR)* e engloba as seguintes estruturas (NORCALWATER, 2008):

- Reservatório, Barragem e Hidroelétrica Folsom;
- Barragem, Hidroelétrica e Estação de Piscicultura Nimbus;
- Lago Natoma.

A Barragem e o Reservatório de Folsom são as estruturas principais. A área de drenagem é de 4.876 km² e o volume de acumulação normal é de $1,79 \times 10^9$ m³. O volume de espera sazonal mínimo é de $7,33 \times 10^8$ m³. O reservatório tem as funções de:

- Proteção de cheias para a Cidade de Sacramento;
- Suprimento de água potável, de irrigação e industrial;
- Recreação, manutenção da qualidade da água a jusante para otimizar o meio para peixes anádromos e residentes;

O lago Natoma, a jusante da Barragem Folsom, tem a função de regularizar as vazões diárias para otimizar a operação da Usina Hidroelétrica de 162 MW.

Concebido nos anos 1940, o Complexo Folsom era operado na forma tradicional, de acordo com níveis de espera previamente determinados. A partir de 1999, um dispositivo legal estabeleceu que o conjunto fosse operado de forma a refletir as melhorias e oportunidades decorrentes do aumento da capacidade de vertimento e das possibilidades de previsão de tempo.

A figura 3.33 mostra o esquema geral do SSD do Complexo Folsom (BOWLES et al, 2004):

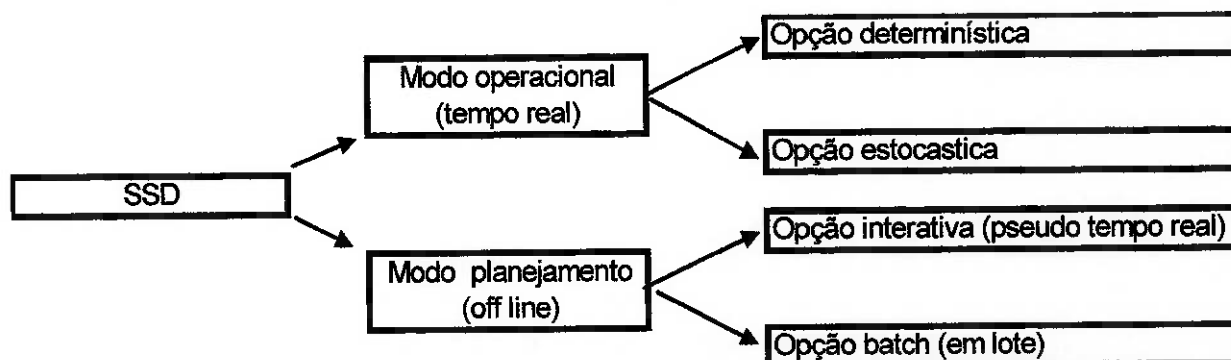


Figura 3.33: Esquema do Sistema de Suporte à Decisão (SSD) do Complexo Folsom (BOWLES et al, 2004).

Na opção determinística em tempo real ou na opção interativa (pseudo tempo real), o sistema possui as seguintes características :

- Captura em tempo real dados provenientes de previsões meteorológicas e modelos chuva x vazão com 5 dias de antecedência;
- Captura outros dados em tempo real (efetivos e previstos), necessários para a implementação de rotinas de descarga, incluindo informações de nível dos reservatórios.
- Executa o diagrama de controle de cheias (normal e de emergência) para obter as descargas no período previsto, bem como os cálculos relativos aos reservatórios, incluindo a disponibilidade dos dispositivos de descarga (operação recomendada);
- Executa os diagramas de controle de cheias e os cálculos pertinentes aos reservatórios em paralelo, de acordo com condições e cenários impostos pelo operador (operação alternativa);
- Adota, a critério do operador, uma das operações estudadas (recomendada ou alternativas), desde que dentro de critérios previamente aprovados;

- Obtém “estimativas determinísticas” de tempos de trânsito de cheias para descargas excedentes nos reservatórios, para locais específicos;
- Gera instruções operativas para o pessoal de campo

O SSD apresenta ainda algumas comodidades para o operador, como:

- Interface gráfica adaptável pelo operador;
- O demonstrativo dos cálculos dos reservatórios é feito de forma interativa, com aparência de planilha;
- Os dados de previsão de tempo e vazões são capturados automaticamente, mas o seu uso para atualizar as previsões é feito mediante autorização expressa do operador.
- Arquivamento de dados e operações, incluindo notas do operador.

A opção estocástica inclui a propagação de incertezas na previsão de vazões para a operação do reservatório e condições previstas para jusante, e inclui:

- Captura em tempo real da estimativa de erros nas previsões de vazões;
- Geração de um “*ensemble*” de previsões de vazões, com simulações de Monte Carlo;
- Executa os diagramas de cheias e cálculos de reservatórios para os modos “recomendado” e “alternativas”, conforme imposições do operador, e permite a adoção de uma das simulações;
- Obtém a distribuição de probabilidades para o tempo de transito de cheias, para locais pré-determinados;

O modo de planejamento permite que sejam testadas novas regras de operação, protocolos de emergência, de acordo com eventos de cheias hipotéticos, que podem ser gerados a partir de cheias passadas, previsões estatísticas ou quaisquer outras,

à escolha do operador. O modo de planejamento permite que sejam realizados treinamentos.

O modo de planejamento pode ser rodado no modo interativo ou em lote, tendo em conta a conveniência dos recursos de computação. A opção em lote não permite que o operador interaja durante o processamento, por exemplo, explorando operações alternativas.

3.6 Benefícios da previsão meteorológica na operação de reservatórios

Os benefícios decorrentes da possibilidade de previsão de chuvas e vazões para a produção de hidroeletricidade já eram reconhecidos na primeira metade do século passado. DAVENPORT, *in*: MEINZER (1942), escreveu:

Em grandes projetos hidroelétricos, nos quais, através do armazenamento das vazões, existe uma maior utilização do suprimento de água disponível, pode haver um incentivo comercial forte para explorar as possibilidades das previsões de água o mais distante possível no futuro. A previsão bem-sucedida trará uma base de planejamento para a previsão de fontes auxiliares ou suplementares, como usinas térmicas ou outras.

Naquela ocasião, não era possível realizar previsões de vazão com base em previsões de chuva, e os pesquisadores buscavam, ainda que de forma rústica e sem o auxílio de computadores, a geração de séries de vazões futuras baseadas em vazões passadas.

No Brasil dos anos de 1970 a 1990, a grande capacidade de armazenamento do sistema hidroenergético, que tinha regularização plurianual, tornou o desenvolvimento de ferramentas de previsão de vazões pouco prioritário, pois o conhecimento das médias de afluência anuais já eram suficientes para o planejamento da operação, dentro de um cenário de energia barata, abundante e sem competição comercial entre as empresas de energia.

Mais recentemente, a competição entre as empresas de energia, a migração da matriz energética com a necessidade de complementação por usinas eletrotérmicas, a diminuição da capacidade de regularização média do sistema hidroelétrico como

um todo e o desenvolvimento acelerado de ferramentas para a previsão meteorológica reviveram o interesse na previsão de vazões.

É possível especular que o pioneirismo das instituições de pesquisas da região Sul no desenvolvimento de ferramentas de previsão de vazões não tenha sido produto do acaso, na medida em que a capacidade de transporte de grandes quantidades de energia elétrica dessa região com o sistema Sudeste foi limitada até poucos anos atrás e que os reservatórios da região Sul têm pequena capacidade de regularização.

Destacam-se os trabalhos de análises de tendências em séries de vazões dos rios da bacia do Paraná (TUCCI e CLARKE, 1997) e Paraguai (CLARKE et al, 2003); análises dos efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica na bacia do rio Uruguai (TUCCI e DAMIANI, 1994); e desenvolvimento de sistemas hidrológicos de previsão de vazão (MINE, 1998; ZAMANILLO, 1988; VILLANUEVA et al, 1987).

A incorporação de previsões de chuva obtidas de modelos de circulação global e de modelos atmosféricos regionais, em modelos de simulação hidrológica, permitiu obter estimativas da vazão de rios com antecedências de algumas horas até alguns meses. Entre esses trabalhos estão (BRAVO, 2006) a análise da previsão de vazão obtida a partir de previsões de chuva do modelo global do CPTEC com horizonte de três meses na bacia do rio Uruguai (TUCCI et al, 2003; COLLISCHONN e TUCCI, 2005); a previsão de vazão de curto prazo (dois dias) a partir das previsões de chuva do modelo ARPS no rio Uruguai até o Reservatório de Machadinho (ANDREOLLI, 2003; COLLISCHONN et al, 2005); a previsão de vazão com horizonte de até seis meses na bacia do rio São Francisco, utilizando previsões de chuva do modelo global do CPTEC, assim como previsões de chuva obtidas por downscaling das previsões do modelo global com os modelos ETA e RAMS (SILVA, 2005; TUCCI et al, 2004).

Quando os reservatórios são operados com fins puramente energéticos ou de abastecimento de água, os níveis devem ser mantidos o mais elevado possível, pois há um aumento na produção de energia, seja pela maior queda líquida média, seja pelo ganho no fator de capacidade devido ao armazenamento. As limitações

relativas à vazão e níveis em geral são distantes da faixa de operação normal e se relacionam com a capacidade dos dispositivos de descarga do reservatório.

Quando os reservatórios têm a função exclusiva de controle de cheias, o nível deve ser mantido o mais baixo possível, para garantir o maior volume de amortecimento e proteger as populações ribeirinhas a jusante. Nesse caso, a limitação de vazão surge para que o rio não exceda uma determinada cota em um determinado local, sob pena de causar prejuízos à população.

O adensamento populacional e a tendência das pessoas para a ocupação de áreas ribeirinhas sujeitas a inundações faz com que cada vez mais freqüentemente o gerenciamento dos reservatórios tenha que atender aos dois objetivos: geração de energia e controle de cheias, simultaneamente, e com tendência à imposição de restrições cada vez maiores às descargas excepcionais.

Paradoxalmente, a existência de um grande reservatório a montante tende a acelerar a ocupação das várzeas a jusante, pois a função regularizadora do reservatório tende a diminuir as cheias, seja em freqüência, seja em magnitude, gerando na população uma falsa sensação de segurança frente às inundações.

Como a operação típica para atender a esses objetivos é conflitante, existe uma tendência natural para a priorização do controle de cheias, em nome da preservação da vida e do patrimônio das pessoas, em detrimento da geração de energia.

O processo tradicional para controle dos reservatórios consiste na adoção de uma curva-guia, na qual, para cada período, é estabelecido um nível máximo, como no exemplo da figura 3.34 (BRAVO, 2006). Essa curva é fixada em função de estatísticas envolvendo as séries de vazões afluentes disponíveis para o reservatório e sempre considera a pior condição esperada.

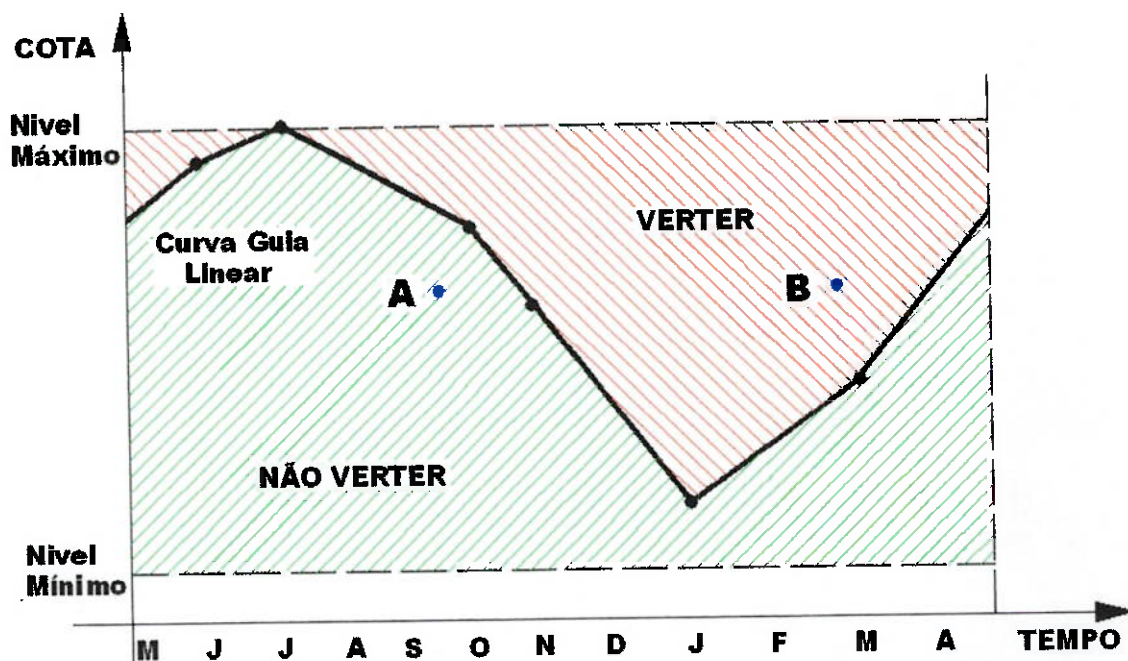


Figura 3.34- Exemplo de curva-guia (BRAVO, 2006).

Na operação normal, ao final de um período de verão, o reservatório volta a ficar cheio, garantindo o abastecimento ou a geração de energia durante os meses de estiagem. Num ano com período chuvoso anormal, ou abaixo do esperado, é possível que o reservatório não volte a ficar completamente cheio no final do período de chuvas, implicando em riscos ao atendimento durante o período de estiagem.

O uso de previsões meteorológicas para a operação de reservatórios é uma ferramenta importante para conciliar as duas funções conflitantes: controle de cheias e produção de energia.

BRAVO(2006) desenvolveu a hipótese de que, com o auxílio das previsões meteorológicas, é possível modificar os volumes de espera e as curvas-guia, de forma a manter o nível do reservatório mais elevado, resultando em benefícios econômicos sem prejuízo para o outro objetivo da operação do reservatório, que é o controle de cheias.

A figura 3.35 mostra, de forma esquemática, a diferença esperada entre uma curva-guia desenvolvida para a operação sem previsão e outra desenvolvida para operação com a previsão de vazão baseada na previsão meteorológica. A curva-guia com previsão de vazão está acima da curva-guia sem a previsão de vazão

porque a primeira é desenvolvida de forma tal que, na operação do reservatório, sempre está sendo esperada a pior, ou uma das piores, cheias de todo o registro histórico, independentemente das condições atmosféricas observadas no momento.

O benefício da curva-guia preta em relação à azul estaria relacionado a: (a) menor volume de espera e maior queda líquida, resultando em maior produção de energia; e (b) maior volume acumulado (energia) no início de um período crítico de estiagem, reduzindo os efeitos da variabilidade interanual.

Os estudos sobre os benefícios da previsão de vazão na operação de reservatórios são restritos. YEH et al (1982) e MISHALANI E PALMER (1988), apud BRAVO (2006), demonstraram que os benefícios da previsão na operação de reservatórios dependem dos horizontes de previsão, isto é, maiores benefícios são obtidos para maiores horizontes de previsão.

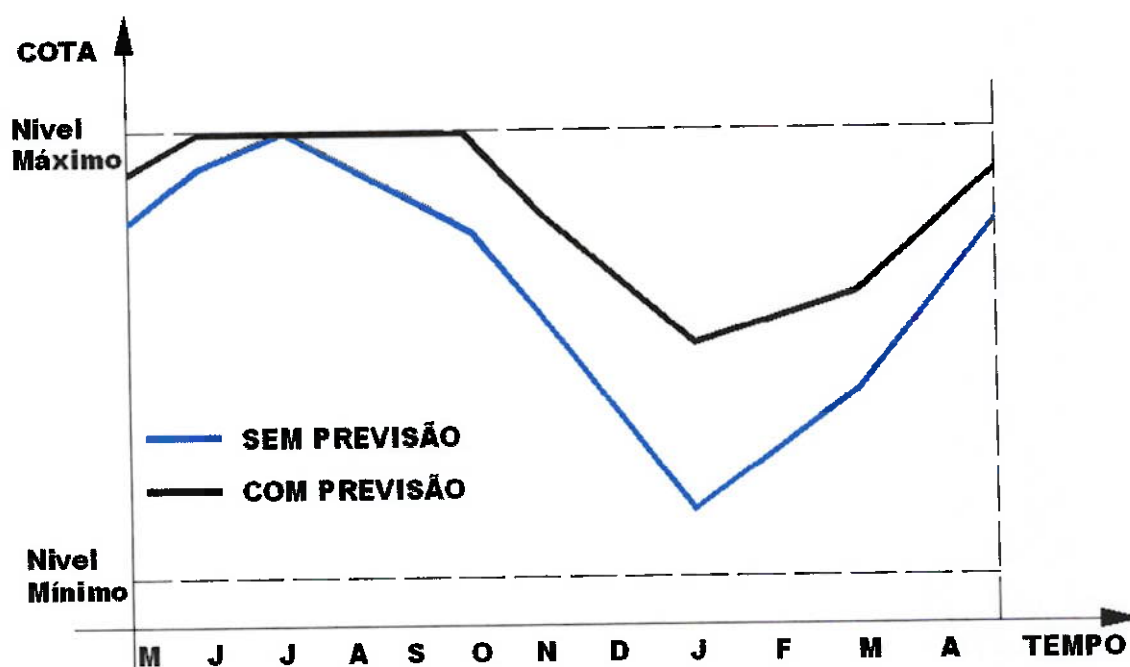


Figura 3.35: Esquema da diferença esperada entre uma curva-guia desenvolvida para operação sem previsão e uma curva-guia desenvolvida para operação com previsão de vazão (BRAVO, 2006).

MAURER E LETTENMAIER (2004), in BRAVO (2006), analisaram os benefícios da previsão perfeita de vazão na operação de reservatórios com diferentes capacidades de regularização, e resumiram as avaliações dos benefícios da consideração da previsão de longo prazo na operação de reservatórios através do gráfico reproduzido

na figura 3.36. O quociente entre o volume útil do sistema e o volume afluente médio anual caracteriza os diferentes reservatórios ou sistemas de reservatórios. Os resultados obtidos mostraram que o benefício do uso da previsão perfeita na operação de reservatórios tende a aumentar na medida em que as dimensões do sistema de reservatórios diminuem.

Observa-se que a tendência observada na figura 3.36 deve se inverter para reservatórios muito pequenos, a fio d'água, e que em reservatórios muito grandes o benefício se anula, pois tem a capacidade de regularizar uma vazão muito próxima à vazão média do rio (BRAVO, 2006).

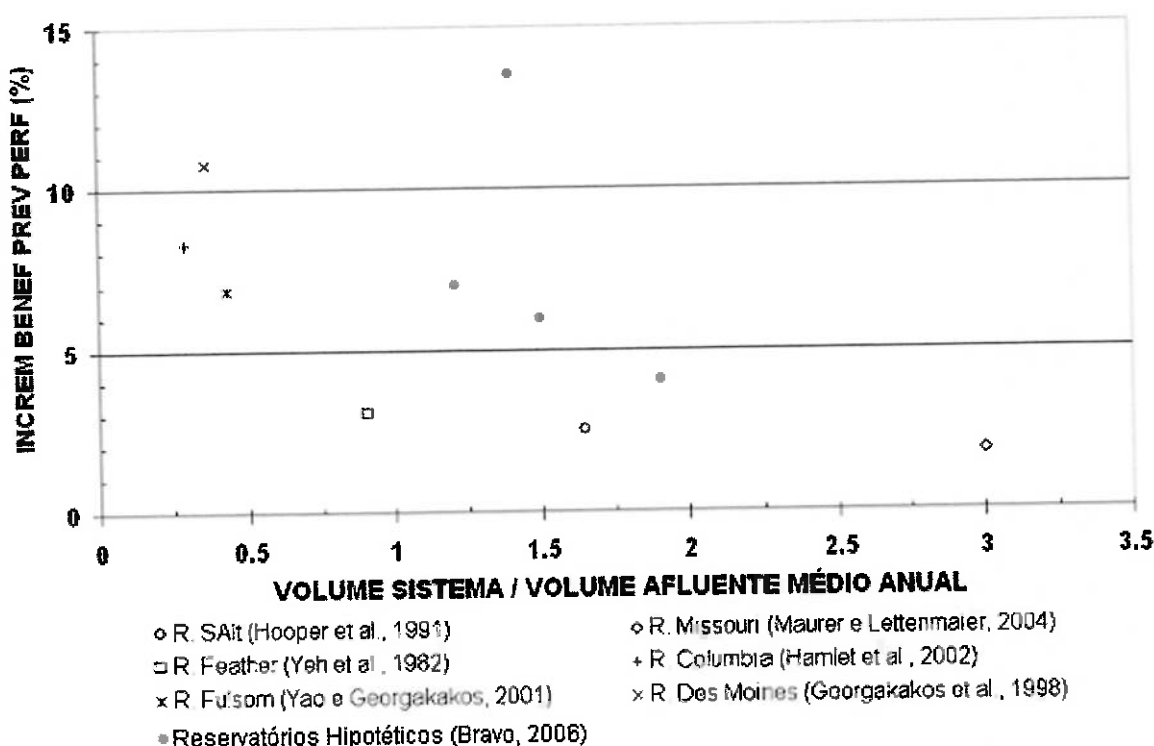


Figura 3.36: Benefícios da previsão perfeita de longo prazo em função do quociente: volume do sistema e volume afluente médio anual (BRAVO, 2006, adaptado de MAURER e LETTENMAIER, 2004).

BRAVO (2006) seguiu o seguinte roteiro para fazer a estimativa dos benefícios decorrentes da previsão meteorológica:

- Modelo de balanço hídrico de um reservatório com intervalo de tempo diário;
- Algoritmo de otimização de curva-guia;
- Modelo de operação de reservatório com base na previsão de vazão;

- Utilização de vazões observadas como previsões perfeitas, sobre um estudo de caso de um reservatório isolado com objetivos conflitantes;
- Utilização de previsões de vazão obtidas a partir de previsões meteorológicas.

Um modelo de balanço hídrico de um reservatório é um modelo simples de contabilização de entradas e saídas de vazão de um sistema de armazenamento de água, conforme indicado na figura 3.37. O balanço hídrico pode ser expresso simplificadaamente pela equação:

$$V_{(t+1)} = V_{(t)} + Q_{afi} \times \Delta t - Q_{efl} \times \Delta t - E \times A_{(t)},$$

onde:

$V_{(t+1)}$ = Volume do reservatório no tempo "t+1"

$V_{(t)}$ = Volume do reservatório no tempo "t"

Q_{afi} = Vazão afluyente média no período " Δt "

Q_{efl} = Vazão efluente média no período " Δt "

E = Taxa de evaporação

$A(t)$ = área do reservatório

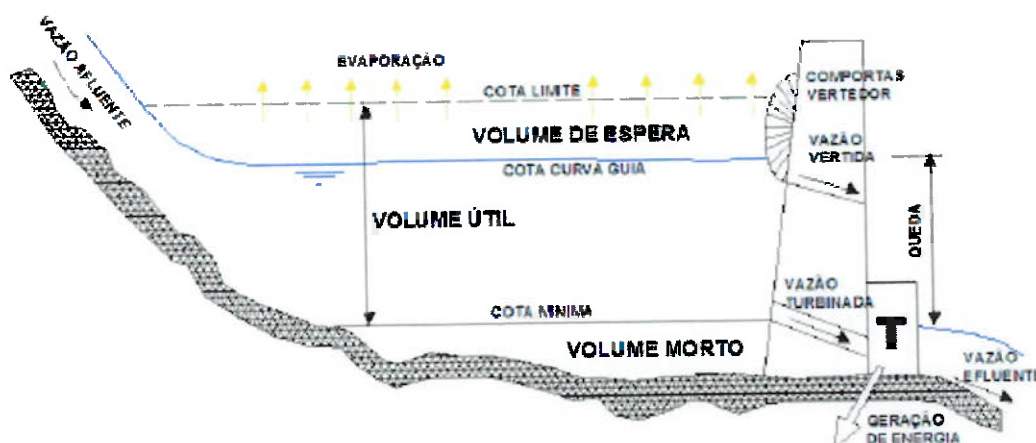


Figura 3.37- Representação esquemática de um reservatório, destacando as variáveis que compõem o balanço hídrico (BRAVO, 2006).

A otimização da curva-guia pode ser realizada de forma manual ou automática. Na forma manual, o algoritmo de balanço hídrico é aplicado, verificando-se a ruptura de alguma e calculando a potência média gerada. O ajuste é feito por tentativa e erro, de forma a maximizar a potência gerada. O processo automático envolve parametrização, simulação e otimização. Uma curva-guia pode ser representada por segmentos de retas, considerando as coordenadas dos pontos extremos destes segmentos como as variáveis de otimização. A figura 3.38 representa da curva-guia construída a partir de segmentos de retas resultantes de parametrização. Note-se que o número de pares (cota, tempo) é igual ao número de segmentos de reta da curva.

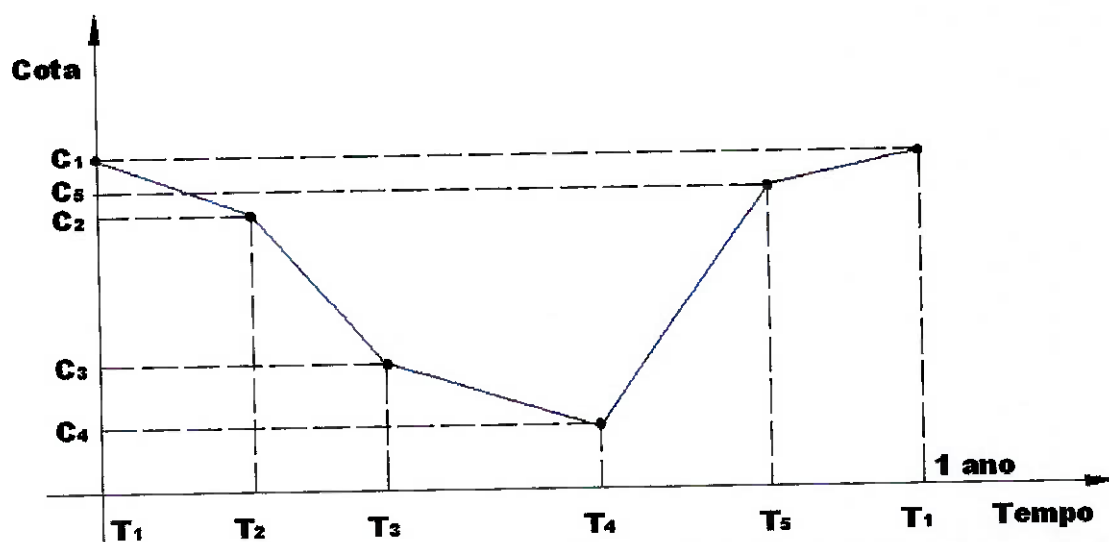


Figura 3.38- Representação da curva-guia construída a partir de segmentos de retas resultantes de parametrização (BRAVO, 2006).

A otimização da curva-guia é comumente feita através de *softwares* específicos, de forma a maximizar a energia gerada sem romper restrições de cota e descargas.

O modelo de operação com base na previsão de vazão afluente foi construído por BRAVO (2006) com o auxílio de um software desenvolvido especificamente, cujas características principais são:

- Aplicável a um reservatório com características de aproveitamento de cabeceira com operação isolada de controle de cheias.
- A operação do reservatório é feita com base numa curva-guia e na previsão de vazão afluente.

- O intervalo de tempo utilizado na simulação é o diário.
- Utiliza previsões de vazão afluyente com um horizonte e frequência pré-definidos.

A previsão de operação recebe as previsões de vazão afluyente para todos os intervalos de tempo do horizonte de previsão e realiza o balanço hídrico do reservatório segundo a equação de balanço hídrico. A função do módulo de previsão de operação é definir as vazões efluentes (turbinaadas e vertidas). Isto é feito através de 1 a 3 passos (BRAVO, 2006):

Passo 1: Vazões vertidas e turbinaadas são definidas de acordo com a curva-guia e é feita a simulação do balanço hídrico do reservatório até o final do horizonte de previsão.

Passo 2: Se necessário, corrige as vazões efluentes definidas no passo 1, buscando diminuir as vazões vertidas definidas pela curva-guia.

Passo 3: Se necessário, corrige as vazões efluentes definidas no passo 1, buscando aumentar as vazões vertidas definidas pela curva-guia.

Para a operação real, são comparados os balanços hídricos previstos e reais. A vazão turbinaada definida na previsão de operação sofre pequenas alterações em função dos erros da previsão.

4 ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO PARA O ALTO /MEDIO TIETÊ

4.1 Confiabilidade de previsão de chuvas na área da bacia do Alto Tietê

A comparação entre as previsões e as precipitações (previsão x preditando) na bacia a montante da Barragem Edgard de Souza foi comprometida em parte pela inexistência de um banco de dados com previsões sob a forma numérica. Com efeito, para uma qualquer instituição manter os arquivos com previsões para uma

lista de localidades distintas, seria necessária uma capacidade de armazenamento de dados muito grande.

A dificuldade foi contornada empregando-se as previsões de precipitação e respectivas probabilidades feitas para a cidade de São Paulo, coletadas diariamente no sítio da empresa Climatempo, ou distribuídas por e-mail. As previsões e respectivas probabilidades foram condensadas no anexo 1. As falhas observadas na série de previsões foram pouco significativas em termos globais. Cada falha de previsão de precipitação para um determinado dia foi preenchida com o valor da previsão feita no dia anterior, para o dia faltante.

Evidentemente, a metodologia carrega limitações importantes:

- A empresa Climatempo gera as suas previsões empregando modelos e recursos de computação próprios. Tais meios parecem ser adequados para a divulgação da previsão do tempo na forma pública e livre adotada pela empresa, porem podem estar aquém do que seria desejável para um serviço meteorológico dedicado à bacia.
- A abrangência geográfica da previsão feita pela Climatempo para a Cidade de São Paulo não é necessariamente concordante com a bacia do Alto Tietê.
- O numero de amostras para comparação entre previsões e preditandos é pequeno, compreendendo apenas o período compreendido entre 01/07/07 e 30/06/08 (366 amostras).

Apesar das limitações apontadas, a comparação previsão x observação trouxe resultados aceitáveis, que puderam ser aproveitados no trabalho.

4.2 Comparação entre a chuva prevista e a chuva medida

A comparação entre a chuva medida e a prevista foi feita utilizando postos da bacia nos quais a precipitação diária medida foi obtida (tabela 4.1). Os postos utilizados permitiram uma cobertura razoável de uma área correspondente à mancha urbana da Grande São Paulo. Dados correspondentes a outros postos monitorados pelo

SAISP (Sistema de Alerta de Inundações de São Paulo) também foram obtidos. Como esses dados refletem a coleta de informações a cada 10 minutos, não se conseguiu processar de forma confiável a transformação desses dados em chuva acumulada diária.

Tabela 4.1- Postos pluviométricos utilizados

Nome	Código	Mantenedor	Latitude S	Longitude E
Barr. Edgard de Souza	PL011	EMAE	23°27'18"	46°41'42"
Barr. Guarapiranga	PL008	EMAE	23°40'17"	46°43'38"
Usina Traição	PL012	EMAE	23°35'44"	46°41'04"
ETT – Norte	P-12-006	CTEEP	23°29'13"	46°33'28"
ETD – Miguel Reale	P-12-007	CTEEP	23°32'46"	46°38'18"
Usina Pedreira	P-12-042 (C	EMAE	23°41'59"	46°40'11"
ETT – Sul	P-12-052 (P)	CTEEP	23°42'44"	46°30'30"
ETD – T. Edison	P-12-057	CTEEP	23°31'05"	46°39'53"
ETD – Pirituba	P-12-098 (G)	CTEEP	23°30'09"	46°42'46"
ETT – R.R.Filho	P-12-171	CTEEP	23°34'39"	46°31'25"
ETT – Leste	P-12-174	CTEEP	23°35'44"	46°28'04"

A correlação entre a média das precipitações diárias registradas nos postos e as previsões das precipitações é apresentada na figura 4.1. Apesar do coeficiente de correlação R^2 igual a 0,3, existe coerência entre a previsão e as medições correspondentes.

Para a dispersão dos resultados, contribuem a má distribuição dos pluviômetros de controle na bacia, o uso de uma previsão de precipitação não dedicada e com abrangência geográfica que muito possivelmente não é coincidente com a bacia, além dos próprios erros na previsão.

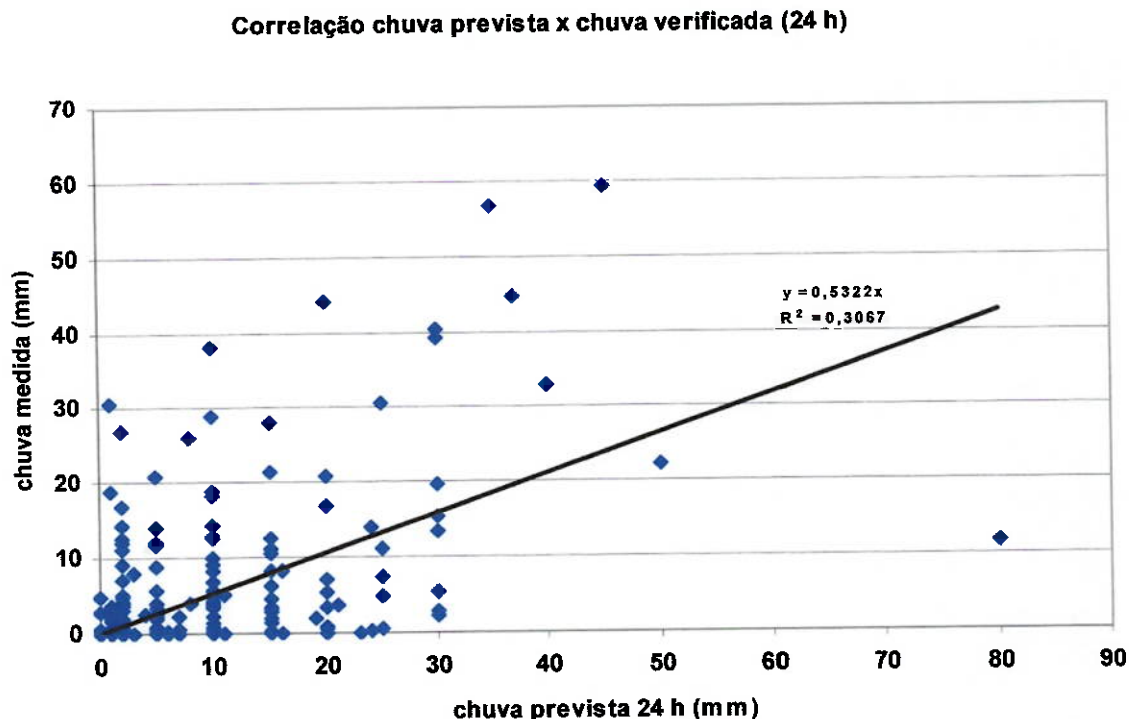


Figura 4.1- Correlação entre a média de chuva diária nos postos selecionados e a previsão Climatempo com horizonte de 24 horas.

4.3 Comparação entre chuva prevista e vazões registradas

Apesar de empírica, a relação entre a previsão de chuvas e vazões registradas em Edgard de Souza para um mesmo dia mostrou resultados similares à correlação obtida entre as previsões e precipitações (figura 4.2).

A maior limitação dessa correlação está associada ao parâmetro tempo, pois, apesar de rápidas, as cheias demandam certo tempo para chegar ao reservatório, principalmente quando as chuvas ocorrem na porção mais a montante da bacia. Também, o fator amostragem, que é inerente à correlação entre previsão de precipitações e chuvas, é anulado, na medida em que no modelo foi assumido que toda a onda de cheia da chuva precipitada sobre a bacia passa pela barragem de Edgard de Souza. A nuvem de pontos obtida guarda similaridade de aspecto com a obtida na figura 4.1, reforçando a validade desse modelo empírico como suporte para a modelagem de operação dos reservatórios.

Previsão de precipitações x vazões em Edgard de Souza

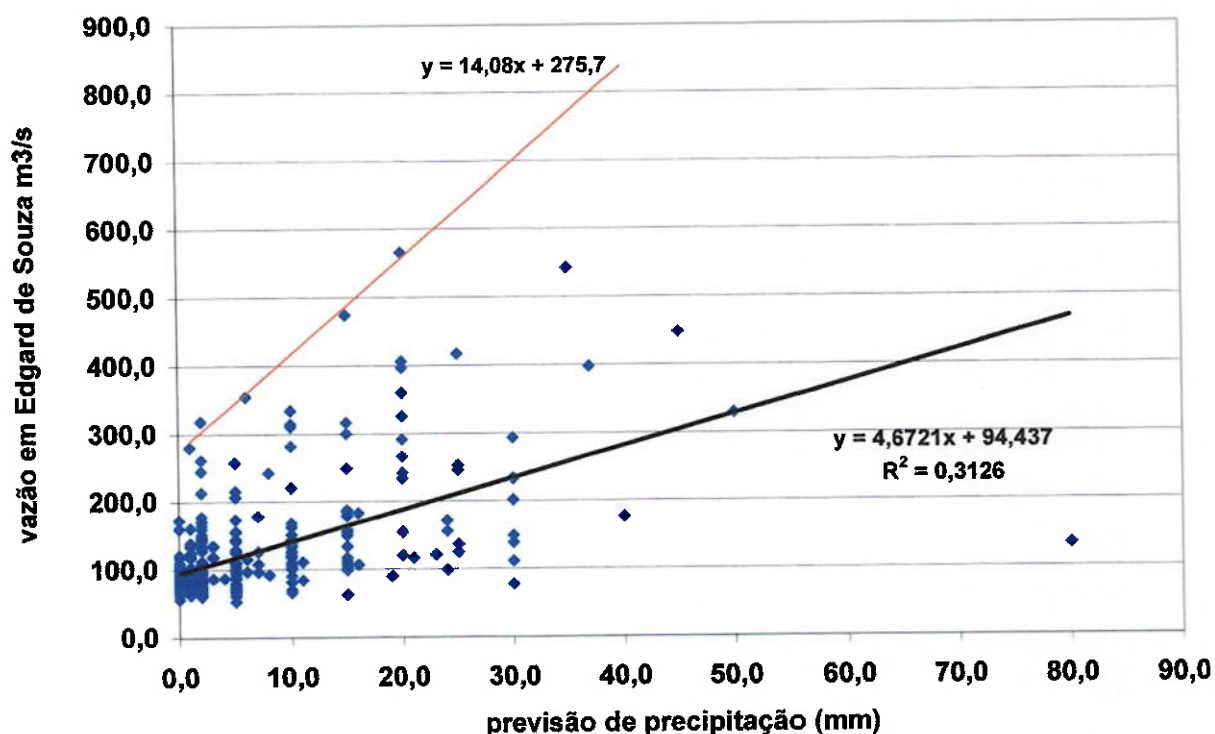


Figura 4.2- Correlação entre a vazão média diária em Edgard de Souza e as previsões Climatempo com horizonte de 24 horas, mostrando as retas de ajuste médio e máximo.

Para alimentar os modelos de simulação de operação dos reservatórios, é preciso que exista uma grande probabilidade da vazão associada a uma determinada chuva prevista ser maior ou igual à vazão real, caso contrário, a modelagem não trará segurança contra eventos excepcionais.

Por isso, é importante definir uma estimativa de vazão associada a uma previsão de chuva com a certeza de que a maioria das vazões registradas fosse inferior à prevista. Então, é possível utilizar o conceito de intervalo de confiança. Teoricamente, estabelecer um intervalo de confiança de 95% para um determinado conjunto de 100 amostras implica isolar apenas 5 amostras acima desse valor.

O conceito de intervalo de confiança pode ser traduzido pela fórmula (MEYER, 1969):

$$\text{Intervalo de confiança} = \bar{x} \pm (1-\alpha) \left(\sigma / \sqrt{n} \right)$$

Onde:

$\bar{x}$ = média das amostras

α = nível de significância; para um intervalo de confiança de 95% , $\alpha = 0,05$

σ = desvio padrão das amostras

n = número de elementos da amostra

A forma do gráfico de dispersão em leque sugere que o intervalo de confiança é crescente na medida em que a previsão de chuva aumenta. Caso um grande número de amostras estivesse disponível, seria possível estabelecer intervalos de confiança consistentes para as amostras contidas em diferentes faixas de previsão de precipitação, por exemplo, zero a 10 mm, 11 a 20 mm, e assim por diante, e desse modo traçar uma curva ligando os intervalos de confiança para as diferentes faixas.

Como o número de amostras é limitado, optou-se por dividi-las em dois grupos, livremente atribuídos. O primeiro com previsão de chuva de até 10 mm e o segundo englobando as amostras com previsão de chuva maior que 10 mm.

A tabela 4.2 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para os dois intervalos de amostras (previsão de chuva x vazão):

Tabela 4.2- Parâmetros estatísticos dos pares (previsão de vazão x vazão)

Previsão de chuva	0-10 mm	> 10 mm
Número de amostras	305,0	61,0
Média	104,0	182,7
Desvio padrão	47,4	130,3
Intervalo de confiança 95%	5,32	32,69

Os intervalos de confiança foram adicionados à reta de ajuste (figura 4.2) correspondente a todas as amostras, resultando nas expressões:

$$Q(95\%) = 4,6721 P + 99,75 \text{ para } P < 10\text{mm}$$

$$Q(95\%) = 4,6721 P + 127,27 \text{ para } P < 10\text{mm}$$

Onde:

$$Q(95\%) = \text{vazão máxima com 95\% de confiança (m}^3\text{/s)}$$

P= previsão de precipitação (mm/dia)

Depois que as primeiras simulações de operação dos reservatórios foram feitas, percebeu-se que as vazões previstas dessa forma foram relativamente baixas, quase não implicando a necessidade de operar os reservatórios. Essa constatação é respaldada pelos registros de operação reais do período analisado, que não mostram nenhum evento excepcional de cheias que colocasse o modelo à prova, ou seja, obrigando que os reservatórios fossem operados.

Então, optou-se por traçar uma reta que fosse definida pelos pares (previsão de precipitação, vazão), de modo que fosse delimitada a envoltória superior dos eventos. A equação encontrada foi:

$$Q(\text{máx}) = 14,08P + 275,5$$

Onde:

$Q(\text{máx})$ = vazão máxima definida pela envoltória (m^3/s)

P= previsão de precipitação (mm/dia)

4.4 Modelagem do sistema

A modelagem foi feita em planilha MS-Excel e compreendeu o trecho do rio Tietê entre as barragens de Edgard de Souza e Porto Góes (figura 4.3). Os aproveitamentos Edgard de Souza e Pirapora foram considerados como operantes, pois o início das obras de instalação de unidades geradoras nessas barragens é iminente. Porém, foi desprezada a Usina São Pedro, situada entre Rasgão e Porto Góes, porque a queda é muito baixa, da ordem de 6 metros, e também porque o engolimento das três unidades é muito baixo, sempre existindo sobras de água, independentemente do padrão de operação da cascata. As PCHs Salgueiro, Pirai, Guaxatuba e Pedra Azul, todas previstas no trecho entre Rasgão e Porto Góes, não foram consideradas, pois sua implantação ainda é incerta e deverá demorar alguns anos.



Figura 4.3: Representação esquemática da cascata do Rio Tietê no trecho estudado

As simulações foram feitas para o período compreendido entre 1 de julho de 2007 e 30 de junho de 2008. Os dados brutos utilizados foram:

- As séries de previsões de tempo para horizontes compreendidos entre 1 e 5 dias para a cidade de São Paulo, obtidas no sítio www.climatempo.com.br (anexo 1).
- As séries de vazões afluentes, efluentes e naturais, em médias diárias, fornecidas pelo Departamento de Planejamento e Supervisão da Operação da EMAE, para os reservatórios de Edgard de Souza, Pirapora, Rasgão e Porto Góes. As séries incluem as vazões médias diárias bombeadas para a Represa Billings, por meio da Usina Elevatória de Pedreira (anexo 2).
- Os níveis d'água dos reservatórios para o período assinalado, obtidos no sistema GDASH da EMAE (Gerenciamento de Dados e Auscultação do Sistema Hidráulico) (anexo 3). Enfatiza-se que todas as cotas e níveis são referenciados ao datum EPUSP. Os níveis correspondem a medições pontuais à zero hora.

4.5 Modelagem física das usinas na cascata

O item descreve a modelagem física das usinas na cascata do Tietê.

Para a futura UHE Edgard de Souza, o cálculo energético obedeceu às seguintes fórmulas:

$$\text{Potência (MW)} = g \times Q(\text{turb}) \times H(\text{liq}) \times \eta / 1000$$

e

Energia gerada diária (MWh) = Potência (MW) x 24 horas x Disponibilidade

Onde:

g = aceleração da gravidade ($9,81\text{m/s}^2$)

$Q(\text{turb efetiva})$ = Vazão turbinada efetiva (m^3/s)

$H(\text{líq})$ = Queda líquida (m)

η = rendimento turbina x gerador

Disponibilidade: fator de correção para paradas de unidades, adotado 0,95

Para o cálculo da energia, foram consideradas as seguintes premissas e variáveis:

- A futura UHE Edgard de Souza possuirá uma unidade geradora do tipo Francis, instalada no espaço correspondente à antiga unidade geradora 1, que foi transferida para a Usina Elevatória de Pedreira nos anos 1980. A premissa do projeto é utilizar os componentes da antiga unidade que não foram removidos, por estarem embutidos no concreto. Essas peças consistem basicamente no sistema de adução, pré-distribuidor, fixações metálicas (arranques) embutidas no concreto e tubo de sucção.
- A queda bruta $H(b)$ corresponde à diferença entre os níveis d'água de montante e jusante ($NA(\text{montante})$ e $NA(\text{jusante})$).
- O nível máximo maximorum do reservatório Edgard de Souza é de 716,80 m. O máximo normal é de 716,0 metros e a prática de operação atual vem mantendo o reservatório entre as cotas 708,0 e 711,0 m. Os estudos para a operação da unidade geradora consideraram um nível médio de montante de 712,0 metros.
- A queda líquida ($H(\text{líq})$) corresponde a 97% da queda bruta ($H(b)$). A relação foi atribuída tendo em conta as características do sistema de adução (HIDRO ENGENHEIROS CONSULTORES, 2002).

- O nível do canal de fuga relaciona-se à vazão efluente do reservatório Edgard de Souza através da equação (HIDRO ENGENHEIROS CONSULTORES, 2002):

$$NA(jusante) = 693,44 - (3,4907 \times 10^{-4} \times Q(efl)) + (1,1799 \times 10^{-5} \times Q(efl)^2)$$

Onde:

$NA(jusante)$ = Nível d'água de jusante (canal de fuga)

$Q(efl)$ = Vazão efluente do reservatório, m³/s

- Todavia, o NA (nível d'água) do Reservatório de Pirapora prevalecerá nas situações em que for superior ao valor resultante da aplicação da equação.
- Como se antevê uma grande flutuação no NA do reservatório, o modelo corrige a variação da vazão em função da queda. Para uma estimativa dessa função, foi utilizada a figura 4.4, que representa as curvas de desempenho da turbina originalmente instalada no local. Essa relação entre vazão e queda não deve se alterar significativamente na nova turbina a ser instalada. A relação simplificada entre queda e vazão foi extraída a partir da figura 4.4 e corresponde ao valor bruto, sem a aplicação de restrições relativas às características da turbina ou das vazões disponíveis para geração:

$$Q(turb,bruta) = 48,99 + 0,74323 (NA(montante) - 13,716)$$

Onde:

$Q(turb, bruta)$ = Vazão turbinada bruta (m³/s)

$NA(montante)$ = Nível d'água de montante do reservatório

Tabela 4.5: Extrato dos resultados das simulações para o caso I

Rio Tietê – Otimização de geração na cascata				
Estudo de caso				
Caso I – Operação real				
	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão	Porto Góes
Dados entrada				
Nível mínimo montante (m)	708,00	688,00	655,00	516,00
Nível máximo montante (m)	716,00	698,00	662,00	519,43
Descarga máxima (m ³ /s)	3885	700	1448	814
Potência máxima		25	22	24,6
Turbinamento máximo (m ³ /s)	60			
Turbinamento mínimo (m ³ /s)	28	6,45	4,4	1,2
Disponibilidade	0,95	0,95	0,95	0,95
Energia gerada (MWh)				
Janeiro/08	4.775	15.890	14.548	16.140
Fevereiro/08	4.818	16.480	14.419	16.195
Março/08	5.142	16.271	13.854	16.238
Abril/08	5.156	15.518	13.184	15.529
Maio/08	5.291	13.888	11.905	13.711
Junho/08	5.113	14.031	10.677	11.518
Julho/07	5.704	13.912	11.379	12.889
Agosto/07	5.853	11.988	9.841	10.515
Setembro/07	5.699	11.146	9.070	10.626
Outubro/07	5.917	12.292	10.311	12.252
Novembro/07	4.983	14.823	12.677	14.452
Dezembro/07	5.257	15.623	13.274	14.833
Total MWh	63.707	171.862	145.142	164.898

**Simulações dos reservatórios Edgard de Souza e Pirapora
Energia gerada mês a mês, casos I a VIII**

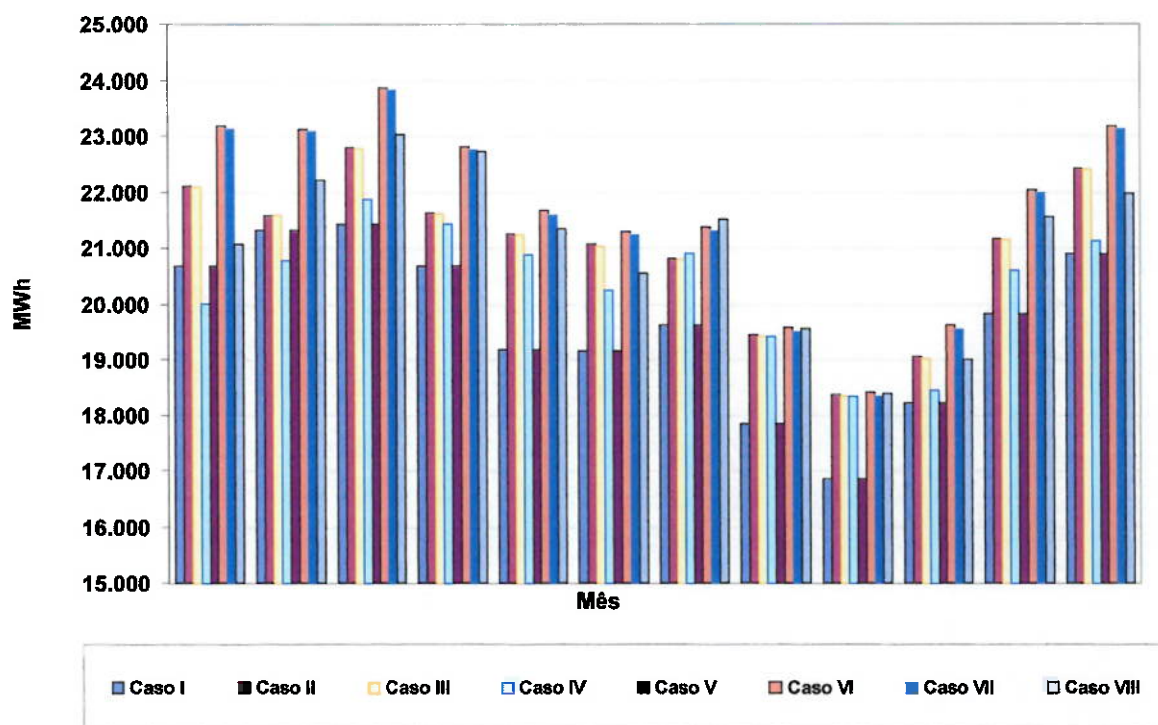


Figura 4.5- Representação da energia gerada mês a mês para as simulações realizadas.

resultados detalhados para as oito simulações, individualizando as energias geradas nas diferentes estruturas e os dados de entrada de cada simulação.

Notar que a diferença das energias geradas entre os casos I e II para as simulações feitas para Rasgão e Porto Góes é muito pequena. As diferenças obtidas podem ser atribuídas às variações de nível de jusante ou a uma ou outra situação em que tenha ocorrido paralisação da geração por excesso de nível no canal de fuga ou falta de vazão suficiente para geração. Por esse motivo, a simulação para Rasgão e Porto Góes não foi feita para todos os casos, assumindo-se que a energia gerada nessas estruturas é igual para qualquer situação.

Tabela 4.4- Resultados das simulações de reservatórios, energia total mensal e anual para Edgard de Souza e Pirapora (MWh)

	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV	Caso V	Caso VI	Caso VII	Caso VIII
Janeiro/08	20.665	22.094	22.100	20.011	20.665	23.181	23.140	21.074
Fevereiro/08	21.298	21.572	21.584	20.783	21.298	23.111	23.083	22.214
Março/08	21.413	22.770	22.775	21.887	21.413	23.864	23.832	23.030
Abril/08	20.674	21.619	21.623	21.440	20.674	22.797	22.755	22.709
Mai/08	19.179	21.241	21.234	20.893	19.179	21.658	21.595	21.330
Junho/08	19.144	21.067	21.053	20.254	19.144	21.292	21.232	20.531
Julho/07	19.616	20.805	20.798	20.906	19.616	21.371	21.314	21.500
Agosto/07	17.841	19.430	19.412	19.411	17.841	19.581	19.512	19.551
Setembro/07	16.845	18.359	18.342	18.341	16.845	18.416	18.350	18.388
Outubro/07	18.209	19.038	19.027	18.453	18.209	19.613	19.557	18.999
Novembro/07	19.806	21.148	21.147	20.608	19.806	22.028	21.982	21.560
Dezembro/07	20.880	22.414	22.411	21.134	20.880	23.173	23.121	21.966
Total MWh	235.569	251.562	251.506	244.121	235.569	260.086	259.472	252.853

- ✓ Situação normal, sem previsão de bombeamento para a Represa Billings nas próximas 24 horas: a vazão afluyente prevista adotada é igual à vazão medida.
- ✓ Situação de alerta, com previsão de bombeamento para a Represa Billings: a vazão afluyente prevista considerada na modelagem é a vazão prevista segundo cada caso, com intervalo de confiança de 95% ou vazão máxima.

Tabela 4.3- Exemplo de adoção de vazão prevista, para o Reservatório Edgard de Souza.

Dia	Bombeamento	Vazão afluyente real (m ³ /s)	Vazão afluyente prevista (m ³ /s)	Vazão prevista considerada (m ³ /s)
1	Não	70	60	70
2	Não	80	97	80
3	Sim	200	300	300
4	Sim	140	200	200
5	Não	70	64	70

- Essa hipótese foi necessária para permitir um ajuste realista do balanço de vazões nos reservatórios.
- Ainda para evitar distorções entre os valores vertidos de fato e os valores vertidos nas simulações, foi introduzido um controle que leva em conta a diferença acumulada entre a soma das vazões medidas e simuladas. Salvo nas situações de alerta, quando a vazão vertida simulada acumulada pode ser maior que a vertida de fato, a diferença entre as duas deve ser zero ou próxima a zero.

4.8 Resultados

4.8.1 Apresentação

A tabela 4.4 e a figura 4.5 apresentam o resumo dos resultados para as oito simulações, para Edgard de Souza e Pirapora. As tabelas 4.5 a 4.12 apresentam os

$$Q(\text{máx}) = 14,08P + 275,5$$

Onde:

$Q(\text{máx})$ = vazão máxima definida pela envoltória

P = previsão de precipitação

- Casos V, VI, VII e VIII; respectivamente idênticos aos casos I, II, III e IV, mas adotando para o Reservatório de Pirapora o NA Máximo 693,44, para eliminar a interferência com o canal de fuga de Edgard de Souza.

Os casos I, II, V e VI foram simulados aplicando o princípio da continuidade à cascata, desprezando evaporações e usos consuntivos. Respeitados e verificados os limites operacionais (capacidade de descarga, níveis e volumes máximos e mínimos), a vazão afluente a um reservatório corresponde à vazão efluente do reservatório superior, adicionada da vazão incremental, que foi calculada para a situação real e mantida fixa para todos os casos.

Para os casos III, IV, VII e VIII foram adotadas como verdadeiras as seguintes hipóteses:

- Todos os eventos com bombeamento para a Represa Billings com vazão média diária maior que 15 m³/s puderam ser previstos com 24 horas de antecedência, caracterizando uma situação de alerta. O rebaixamento do reservatório se inicia com 24 horas de antecedência sobre o início das precipitações na bacia. A partir da análise das informações contidas no item 3, um serviço meteorológico bem estruturado não deixaria de prever tais situações.
- Como o ajuste das vazões diárias no modelo é manual, haveria o risco de distorcer o modelo adotando-se sistematicamente vazões maiores que as reais. As vazões afluentes previstas adotadas em Edgard de Souza obedeceram aos seguintes critérios, com exemplo na tabela 4.3.

O modelo tem a característica de impor limites à operação dos reservatórios, conforme a situação que se deseja analisar. Os principais são:

- Níveis máximo e mínimo do reservatório (ou volume correspondente);
- Descarga máxima operacional permitida;
- Nível e vazão mínima para operação das unidades;
- Diferença acumulada entre as vazões reais e vazões simuladas. Essa grandeza foi definida para auxiliar as simulações, evitando que as vazões efluentes simuladas acumuladas fossem superiores às vazões reais;
- As vazões bombeáveis no Canal Pinheiros pela Usina Elevatória de Traição (vazão máxima 280 m³/s) foram desconsideradas. Ou seja, todas as simulações embutiram uma reserva de segurança no aspecto controle de cheias, contra uma pequena distorção para mais no cálculo da energia gerada, em todas as simulações.

4.7 Simulações

Foram simuladas 8 situações com o intuito de estabelecer a energia gerada em cada uma delas:

- Caso I: Operação real: compreende o cálculo da energia gerada utilizando os níveis e vazões medidas.
- Caso II: Operação energética, utilizando os níveis nominais dos reservatórios: simula a inexistência da função controle de cheias. Os reservatórios são operados nos seus níveis nominais, com as vazões medidas.
- Caso III: Operação otimizada com 95% de confiança na vazão associada à previsão de chuva, conforme item 4.1.
- Caso IV: Operação otimizada com previsão de vazão máxima, utilizando a equação:

4.6 Modelagem hídrica

A modelagem hídrica foi feita em intervalos diários. O reservatório da Usina de Porto Góes é muito pequeno, portanto, foi desprezado, assim como a evaporação e os usos consuntivos. Os volumes dos reservatórios de Edgard de Souza, Pirapora e Rasgão são definidos a partir das vazões afluentes através da expressão:

$$V(t+1) = V(t) + Q_{\text{afl}}(\text{méd}) \times \Delta t - Q_{\text{efl}}(\text{méd}) \times \Delta t$$

Onde:

$$V(t+1) = \text{Volume do reservatório no tempo "t+1"}$$

$$V(t) = \text{Volume do reservatório no tempo "t"}$$

$$Q_{\text{afl}}(\text{méd}) = \text{Vazão afluente média no período "}\Delta t\text{"}$$

$$Q_{\text{efl}}(\text{méd}) = \text{Vazão efluente média no período "}\Delta t\text{"}$$

O anexo 4 apresenta os pares cota x volume dos reservatórios de Edgard de Souza, Pirapora e Rasgão, fornecidos pelo Departamento de Planejamento e Supervisão da Operação da EMAE.

A vazão afluente Q_{afl} equivale:

- À vazão registrada ou prevista na simulação para o Reservatório de Edgard de Souza.
- À vazão efluente (registrada ou simulada) aos reservatórios de Pirapora, Rasgão e Porto Góes, acrescida da vazão incremental entre eles.

A vazão incremental $Q(\text{incr})$ média para um determinado dia é a diferença entre a vazão afluente (Q_{afl}) ao reservatório de jusante e a vazão efluente (Q_{efl}) no reservatório de montante. Esse valor foi mantido fixo em todas as simulações realizadas.

Os dados disponíveis, mecânicos, hidráulicos e de operação, foram utilizados para elaborar um modelo em MS-Excel no qual pode ser simulada a operação das quatro usinas simultaneamente, considerando vazões, níveis e energia gerada.

$$NA \text{ (jusante)} = 0,6464 \text{ LN (Qefl)} + 637,62 \text{ (para o datum Construção)}$$

Onde:

$NA \text{ (jusante)} = \text{Nível d'água de jusante (canal de fuga)}$

$Q(\text{efl}) = \text{Vazão efluente do reservatório (m}^3/\text{s)}$

- A potência é limitada a 22 MW. A potência mínima corresponde a 40% da potência nominal de uma unidade, ou 4,4 MW.
- A queda líquida $H_{(liq)}$ é atribuída como 97% da queda bruta $H(b)$.

A modelagem da Usina de Porto Góes é análoga à de Rasgão. O volume do reservatório é desprezível. Além das comportas, a barragem possui uma extensa soleira vertente na cota 519,43. Assim, as flutuações de nível do reservatório são mínimas, da ordem de poucos centímetros, exceto durante cheias ou manobras excepcionais, irrelevantes sob o ponto de vista energético. As premissas e critérios empregados são os seguintes:

- A Usina de Porto Góes possui três unidades geradoras tipo Francis, as duas mais antigas com potência de 5,5 MW, e a unidade 3, concluída em 2005, possui 13,6 MW.
- O nível de jusante é função da vazão efluente. A relação aproximada foi obtida a partir de pares de pontos (cota, vazão) (GDASH, 2007):

$$NA \text{ (jusante)} = 0,0086 * Q(\text{efl}) + 492,37$$

Onde:

$NA \text{ (jusante)} = \text{Nível d'água de jusante (canal de fuga)}$

$Q(\text{efl}) = \text{Vazão efluente do reservatório}$

- A potência é limitada a 24,6 MW. A potência mínima corresponde a 40% da potência nominal da menor unidade, ou 1,2 MW.
- A queda líquida $H_{(liq)}$ é atribuída como 97% da queda bruta $H(b)$.

- A turbina Kaplan de dupla regulação possui maior flexibilidade operacional do que a unidade Francis prevista para Edgard de Souza. De forma pouco usual, o projeto básico da futura PCH Pirapora (THEMAG ENGENHARIA, 2004) definiu que para a faixa de quedas líquidas compreendidas entre 29,5 metros e 20,9 metros, cada uma das duas unidades produzirá 12,5 MW, desde que o fluxo de água seja suficiente para produzir essa potência, sempre observando a fórmula geral 4.1. O projeto ainda define que o limite inferior de funcionamento de cada uma das unidades geradoras é de 6,45 MW.
- O NA máximo normal útil do reservatório é 698,00. Embora a regra atual prescreva como meta a cota 688,0 para atender ao controle de cheias, existem algumas restrições de ordem operacional e de meio ambiente, de modo que a prática tem sido manter o reservatório na faixa entre as cotas 691,0 e 692,0. Notar que o NA máximo normal útil é superior ao nível mínimo do canal de descarga de Edgard de Souza, de modo que pode existir afogamento do canal de fuga dessa última, conforme as condições operacionais.

A modelagem da Usina de Rasgão é mais simples em relação aos casos de Edgard de Souza e Pirapora. A faixa de variação normal do nível do reservatório é pequena, entre as cotas 661,0 e 662,0, portanto, é possível desprezar situações e limites associados a níveis extremos. As premissas e critérios empregados são os seguintes:

- A Usina de Rasgão possui duas unidades geradoras tipo Francis, cada uma com potência de 11 MW.
- O reservatório pode operar entre as cotas 655,0 e 662,0.
- Na UHE Rasgão alguns documentos são referenciados ao datum Construção. A definição do nível de jusante em função da vazão efluente a partir de pares de pontos (cota, vazão) (ENGEORPS, 2003) pode ser expressa nos dois datums:

NA (jusante) = 0,6464 LN (Q_{efl}) + 641,90 (para o datum Córrego Alegre) ou

instalada, equivalente à antiga em suas dimensões principais (figura 4.4). O valor inferior corresponde à menor vazão capaz de operar a unidade e corresponde a 40% do engolimento máximo, conforme uma relação empírica tradicionalmente aceita para turbinas Francis.

- O rendimento da unidade a ser instalada será significativamente diferente do da unidade original, por conta de avanços tecnológicos no projeto e fabricação. Por isso, foi atribuído de modo genérico e linear o rendimento de 86% para o conjunto turbina-gerador, em função da queda e da vazão.

Para a futura PCH Pirapora, o cálculo energético obedeceu às mesmas fórmulas gerais aplicadas para Edgard de Souza, porém com as seguintes premissas e diretrizes:

- A PCH Pirapora possuirá duas unidades geradoras de 12,5 MW, com turbinas tipo Kaplan de dupla regulação.
- O nível de jusante é função da vazão efluente, embora sob determinadas circunstâncias seja observada uma ligeira interferência com o remanso do reservatório da Usina de Rasgão, desprezada nas simulações aqui realizadas. Uma fórmula simplificada é apresentada por Hidro Engenheiros Consultores (2001):

$$NA(jusante) = 663,847 + 6,558 \cdot 10^{-3} \times Q(efl) - 1,241 \cdot 10^{-6} \times (Q(efl))^2$$

Onde:

NA(jusante)= Nível d'água de jusante (canal de fuga)

Q(efl)= Vazão efluente do reservatório (m³/s)

- As perdas de carga nos circuitos hidráulicos das turbinas (Δh) são iguais para as duas unidades, e compreendem as perdas de carga na tomada d'água, nos túneis e condutos de adução, nas válvulas borboletas dos condutos de adução e na saída dos tubos de sucção. Como simplificação foi atribuído Δh constante no valor de 0,6 metros, correspondente à perda de carga estimada para engolimento de 120 m³/s.

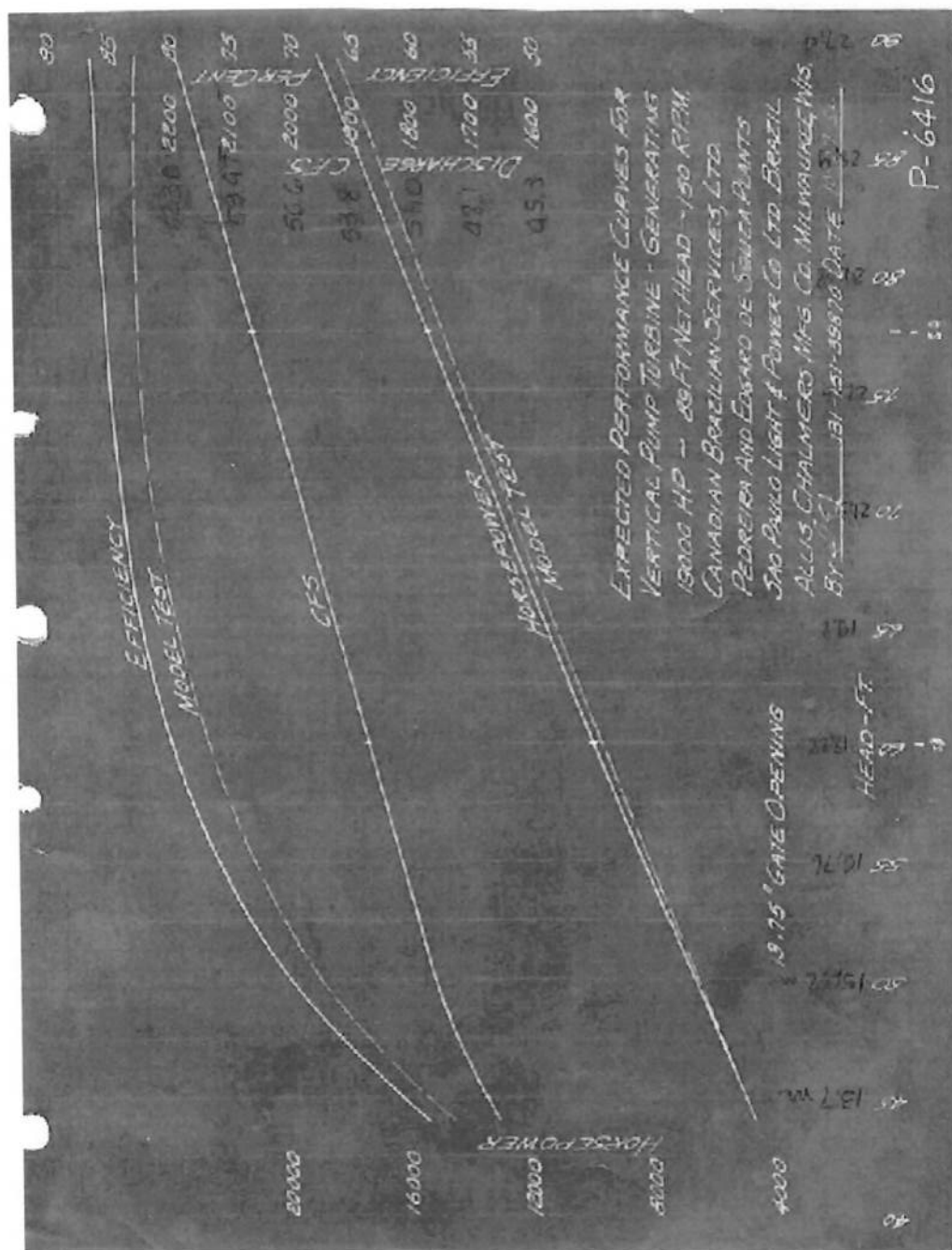


Figura 4.4: Curva de desempenho da unidade geradora 1 (original) da Usina Edgard de Souza.

- Para o presente trabalho, define-se vazão turbinada efetiva $Q(\text{turb}, \text{efetiva})$ como o fluxo efetivamente capaz de gerar energia pela passagem pela turbina, e resulta da aplicação de restrições sobre a vazão turbinada bruta. Essas restrições correspondem à disponibilidade de caudais para geração e aos limites operacionais superior e inferior da máquina, respectivamente $60 \text{ m}^3/\text{s}$ e $24 \text{ m}^3/\text{s}$. O limite superior decorre das especificações da unidade a ser

Tabela 4.6: Extrato dos resultados das simulações para o caso II

Rio Tietê – Otimização de geração na cascata				
Estudo de caso				
Caso II – Operação energética – Utilizados os limites nominais dos reservatórios				
	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão	Porto Góes
Dados de entrada				
Nível mínimo montante (m)	705,00	688,00	655,00	516,00
Nível máximo montante (m)	716,00	698,00	662,00	519,43
Descarga máxima (m ³ /s)	3885	700	1448	814
Potência máxima (MW)		25	22	24,6
Turbinamento máximo (m ³ /s)	60			
Turbinamento mínimo (m ³ /s)	28	6,45	4,4	1,2
Disponibilidade	0,95	0,95	0,95	0,95
Geração (MWh)				
Janeiro/08	5.390	16.704	14.448	16.031
Fevereiro/08	5.042	16.530	14.444	15.818
Março/08	5.390	17.380	14.058	16.056
Abril/08	5.216	16.403	13.492	15.511
Maio/08	5.390	15.851	11.977	13.581
Junho/08	5.216	15.851	11.123	11.969
Julho/07	5.390	15.415	11.012	12.286
Agosto/07	5.390	14.040	10.033	10.561
Setembro/07	5.216	13.143	9.038	10.311
Outubro/07	5.390	13.648	10.281	11.625
Novembro/07	5.216	15.932	12.671	14.115
Dezembro/07	5.390	17.024	13.450	15.055
Total (MWh)	63.640	187.922	146.027	162.919

Tabela 4.7: Extrato dos resultados das simulações para o caso III

Rio Tietê – Otimização de geração na cascata				
Estudo de caso				
Caso III – Operação otimizada com 95% de confiança na vazão associada à previsão de chuva				
	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão	Porto Góes
Dados de entrada				
Nível mínimo montante (m)	705,00	688,00	655,00	516,00
Nível máximo montante (m)	716,00	698,00	662,00	519,43
Descarga máxima (m ³ /s)	3885	700	1448	814
Potência máxima (MW)		25	22	24,6
Turbinamento máximo (m ³ /s)	60			
Turbinamento mínimo (m ³ /s)	28	6,45	4,4	1,2
Disponibilidade	0,95	0,95	0,95	0,95
Geração (MWh)				
Janeiro/08	5.403	16.697		
Fevereiro/08	5.054	16.530		
Março/08	5.403	17.372		
Abril/08	5.229	16.394		
Mai/08	5.403	15.831		
Junho/08	5.229	15.824		
Julho/07	5.402	15.396		
Agosto/07	5.402	14.010		
Setembro/07	5.228	13.114		
Outubro/07	5.403	13.624		
Novembro/07	5.228	15.919		
Dezembro/07	5.402	17.009		
Total (MWh)	63.786	187.720	145.142	164.898

Tabela 4.8: Extrato dos resultados das simulações para o caso IV

Rio Tietê – Otimização de geração na cascata				
Estudo de caso				
Caso IV – Operação otimizada com chuva máxima				
	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão	Porto Góes
Dados de entrada				
Nível mínimo montante (m)	705,00	688,00	655,00	516,00
Nível máximo montante (m)	716,00	698,00	662,00	519,43
Descarga máxima (m ³ /s)	3885	700	1448	814
Potência máxima (MW)		25	22	24,6
Turbinamento máximo (m ³ /s)	60			
Turbinamento mínimo (m ³ /s)	28	6,45	4,4	1,2
Disponibilidade	0,95	0,95	0,95	0,95
Geração (MWh)				
Janeiro/08	4.257	15.754		
Fevereiro/08	4.253	16.530		
Março/08	5.065	16.822		
Abril/08	4.661	16.779		
Mai/08	5.062	15.831		
Junho/08	5.000	15.254		
Julho/07	4.947	15.959		
Agosto/07	5.401	14.010		
Setembro/07	5.227	13.114		
Outubro/07	4.822	13.631		
Novembro/07	4.657	15.951		
Dezembro/07	4.729	16.405		
Total (MWh)	58.081	186.040	145.142	164.898

Tabela 4.9: Extrato dos resultados das simulações para o caso V

Rio Tietê – Otimização de geração na cascata				
Estudo de caso				
Caso V – Geração com a regra de operação atual – Pirapora limitado a 693,44				
	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão	Porto Góes
Dados entrada				
Nível mínimo montante (m)	708,00	688,00	655,00	516,00
Nível máximo montante (m)	716,00	693,44	662,00	519,43
Descarga máxima (m ³ /s)	3885	700	1448	814
Potência máxima		25	22	24,6
Turbinamento máximo (m ³ /s)	60			
Turbinamento mínimo (m ³ /s)	28	6,45	4,4	1,2
Disponibilidade	0,95	0,95	0,95	0,95
Energia gerada MWh				
Janeiro/08	4.775	15.890	14.548	16.140
Fevereiro/08	4.818	16.480	14.419	16.195
Março/08	5.142	16.271	13.854	16.238
Abril/08	5.156	15.518	13.184	15.529
Maio/08	5.291	13.888	11.905	13.711
Junho/08	5.113	14.031	10.677	11.518
Julho/07	5.704	13.912	11.379	12.889
Agosto/07	5.853	11.988	9.841	10.515
Setembro/07	5.699	11.146	9.070	10.626
Outubro/07	5.917	12.292	10.311	12.252
Novembro/07	4.983	14.823	12.677	14.452
Dezembro/07	5.257	15.623	13.274	14.833
Total	63.707	171.862	145.142	164.898

Tabela 4.10: Extrato dos resultados das simulações para o caso VI

Rio Tietê – Otimização de geração na cascata				
Estudo de caso				
Caso VI – Operação energética – Pirapora limitado a 693,44				
	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão	Porto Góes
Dados de entrada				
Nível mínimo montante (m)	705,00	688,00	655,00	516,00
Nível máximo montante (m)	716,00	693,44	662,00	519,43
Descarga máxima (m ³ /s)	3885	700	1448	814
Potência máxima (MW)		25	22	24,6
Turbinamento máximo (m ³ /s)	60			
Turbinamento mínimo (m ³ /s)	28	6,45	4,4	1,2
Disponibilidade	0,95	0,95	0,95	0,95
Geração (MWh)				
Janeiro/08	6.989	16.192	14.407	16.031
Fevereiro/08	6.581	16.530	14.426	15.818
Março/08	7.108	16.756	13.955	16.033
Abril/08	6.888	15.909	13.415	15.511
Mai/08	7.127	14.531	11.889	13.581
Junho/08	6.906	14.386	11.029	11.969
Julho/07	7.074	14.297	10.942	12.286
Agosto/07	7.166	12.415	9.940	10.561
Setembro/07	6.935	11.481	8.954	10.311
Outubro/07	7.146	12.467	10.199	11.625
Novembro/07	6.869	15.159	12.609	14.115
Dezembro/07	7.063	16.110	13.381	15.055
Total (MWh)	83.852	176.234	145.145	162.895

Tabela 4.11: Extrato dos resultados das simulações para o caso VII

Rio Tietê – Otimização de geração na cascata				
Estudo de caso				
Caso VII – Operação otimizada com 95% de confiança na vazão associada à previsão de chuva – Pirapora limitado a 693,44				
	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão	Porto Góes
Dados de entrada				
Nível mínimo montante (m)	705,00	688,00	655,00	516,00
Nível máximo montante (m)	716,00	693,44	662,00	519,43
Descarga máxima (m ³ /s)	3885	700	1448	814
Potência máxima (MW)		25	22	24,6
Turbinamento máximo (m ³ /s)	60			
Turbinamento mínimo (m ³ /s)	28	6,45	4,4	1,2
Disponibilidade	0,95	0,95	0,95	0,95
Geração (MWh)				
Janeiro/08	6.962	16.178		
Fevereiro/08	6.555	16.528		
Março/08	7.081	16.751		
Abril/08	6.862	15.893		
Maio/08	7.100	14.495		
Junho/08	6.880	14.352		
Julho/07	7.047	14.267		
Agosto/07	7.138	12.374		
Setembro/07	6.908	11.442		
Outubro/07	7.118	12.439		
Novembro/07	6.842	15.140		
Dezembro/07	7.035	16.086		
Total (MWh)	83.528	175.944	145.142	164.898

Tabela 4.12: Extrato dos resultados das simulações para o caso VIII

Rio Tietê – Otimização de geração na cascata				
Estudo de caso				
Caso VIII – Operação otimizada, chuva máxima – Pirapora limitado a 693,44				
	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão	Porto Góes
Dados de entrada				
Nível mínimo montante (m)	705,00	688,00	655,00	516,00
Nível máximo montante (m)	716,00	693,44	662,00	519,43
Descarga máxima (m ³ /s)	3885	700	1448	814
Potência máxima (MW)		25	22	24,6
Turbinamento máximo (m ³ /s)	60			
Turbinamento mínimo (m ³ /s)	28	6,45	4,4	1,2
Disponibilidade	0,95	0,95	0,95	0,95
Geração (MWh)				
Janeiro/08	5.717	15.357		
Fevereiro/08	5.684	16.530		
Março/08	6.713	16.317		
Abril/08	6.235	16.474		
Maio/08	6.729	14.601		
Junho/08	6.635	13.896		
Julho/07	6.561	14.939		
Agosto/07	7.136	12.415		
Setembro/07	6.907	11.481		
Outubro/07	6.478	12.521		
Novembro/07	6.220	15.340		
Dezembro/07	6.307	15.659		
Total (MWh)	77.322	175.531	145.142	164.898

4.9 Comentários e discussões

As simulações mostraram que a energia gerada em Rasgão e Porto Góes não sofre os efeitos da operação em Pirapora e Edgard de Souza. A afirmativa é válida para simulações com passo diário, pois a observação do dia-a-dia desses reservatórios mostra que as operações intradiárias em Edgard de Souza e Pirapora causam flutuações na energia gerada, com perdas associadas que não puderam ser avaliadas. Portanto, caso o modelo operacional proposto venha a ser implantado, a questão das vazões intradiárias deverá ser explorada adequadamente.

Nas simulações feitas, a interferência entre os níveis do canal de fuga de Edgard de Souza e do Reservatório de Pirapora foi resolvida de forma simples, limitando esse

último à cota 693,44 (casos V, VI VII e VIII). Apesar da imposição de uma perda de aproximadamente 4,5 metros na queda bruta em Pirapora (25 MW) em prol do aumento da queda em Edgard de Souza (12 MW), os resultados energéticos foram melhores. Essa aparente incoerência é explicada por dois fatores:

- As unidades geradoras de Pirapora foram especificadas para produzir uma potência máxima total de 25 MW para uma ampla variação de queda, desde a cota montante 688,0 até a cota montante 698. Mantida a potência, o consumo de água varia para menor à medida que a queda aumenta. Com situação de vazão afluyente alta, maior que os 130m³/s, não existe o benefício associado à manutenção de uma cota de reservatório maior.
- O fator de capacidade da futura Usina Edgard de Souza é mais alto do que em Pirapora. A submotorização em Edgar de Souza é uma opção empresarial associada à indefinição existente sobre a reversão de até 50 m³/s para o Reservatório Billings, através da despoluição do rio Pinheiros no projeto de flotação. Caso essa reversão não se concretize, será possível instalar uma segunda unidade na casa de força existente em Edgard de Souza.

Novamente, a eventual implantação do novo modelo operacional deverá explorar em detalhes a interferência entre o canal de fuga de Edgard de Souza e o Reservatório de Pirapora, para um ajuste fino na energia gerada.

Embora o início da construção da PCH Pirapora seja iminente, é possível ainda estudar a revisão da potencia instalada, para que seja eliminada a restrição da potência para as quedas mais elevadas. Essa mudança deve propiciar um aumento substancial da energia gerada pela nova operação e é plenamente possível, pois as alterações devem ocorrer basicamente na configuração dos geradores e sistema elétrico associado, sem envolver alterações significativas nas obras civis.

Comparando a operação energética com a operação atual, o ganho energético (Caso VII – Caso IV) seria de aproximadamente 24.000 MWh/ano, ou cerca de 10% da energia produzida nos sistemas Edgard de Souza e Pirapora pela regra atual. A conversão dessa energia adicionada em benefício econômico depende da forma de

comercialização dessa energia e de fatores de mercado. Admitindo um valor médio de R\$ 150,00/MWh, o benefício bruto anual seria de R\$ 3.600.000,00.

Os resultados das simulações aplicando intervalo de confiança de 95% nas vazões associadas às previsões e à envoltória de vazões máximas são muito próximos. Os resultados desses casos aproximam-se muito dos valores obtidos para a operação energética (Casos II e V), sugerindo que os eventos excepcionais e que demandariam rebaixamento dos reservatórios são esparsos. Portanto, não é preciso que a previsão de chuvas seja numericamente perfeita ou que os reservatórios sejam operados no limite da segurança para garantir bons resultados energéticos. Ou seja, basta que os eventos de chuva severos sejam previstos com antecedência suficiente para rebaixar amplamente os reservatórios e que o fim desses eventos também seja previsto, para propiciar a recuperação dos níveis e da energia gerada.

A modelagem empregada nas simulações não permitiu avaliar algumas questões dependentes do tempo, que são potencialmente importantes e que devem ser estudadas ao longo de uma eventual implantação do novo sistema:

- Os níveis do Reservatório de Edgard de Souza interferem no rio Tietê na região que corta a cidade de São Paulo, que é crítica sob o aspecto de cheias. Um eventual detalhamento da operação otimizada precisa levar em conta também os efeitos do esvaziamento do rio Tietê antes dos eventos chuvosos. Caso essa necessidade seja caracterizada, é possível que seja preciso antecipar o rebaixamento de Edgard de Souza antes das 24 horas que se mostraram suficientes nas simulações realizadas.
- Nas simulações realizadas, não houve necessidade de rebaixar Pirapora antecipadamente uma única vez, em parte porque não houve nenhum evento chuvoso excepcional no período analisado, em parte pela limitação do modelo para simular eventos dependentes do tempo.

4.10 Benefícios indiretos associados ao sistema

Além dos benefícios econômicos diretos advindos da implantação da operação otimizada, existirão outras vantagens:

- A criação de um banco de dados envolvendo níveis, descargas, chuvas na bacia e respectivas previsões permitirá a diminuição do trabalho rotineiro da área da EMAE responsável pelo planejamento da operação, liberando mão-de-obra preciosa para outros processos
- Os dados deverão ser armazenados de modo mais seguro que o praticado atualmente (mídia óptica);
- Em caso de risco de inundação, o alerta poderá ser antecipado em várias horas, permitindo uma atuação mais eficaz dos órgãos de defesa civil. Isso é particularmente válido para as áreas baixas de Pirapora do Bom Jesus;
- O sistema proposto poderá incorporar rotinas para simulação e exercício, possibilitando o treinamento de pessoal para situações extremas;
- É muito provável que venha a ser possível enquadrar o sistema proposto na metodologia AM 0052 (CDM, 2008), que trata da apropriação de créditos de carbono sobre os benefícios energéticos advindos da otimização de reservatórios.

5 PLANO DE PROJETO

A percepção adquirida com o desenvolvimento deste trabalho permite sugerir algumas premissas e diretrizes a serem seguidas no eventual desenvolvimento do projeto do Sistema de Supervisão e Controle para otimizar a geração na cascata do rio Tietê:

- O sistema de supervisão e controle poderá ser inspirado no sistema existente no rio American (BOWLES, 2004), cujos aspectos mais importantes são:
 - ✓ Possibilidade de atuar em modo operacional e modo de planejamento;

- ✓ Captura dos dados dos reservatórios (níveis, descargas e geração) em tempo real.
 - ✓ Executa o diagrama de controle de cheias (normal e de emergência) para obter as descargas no período previsto, bem como os cálculos relativos aos reservatórios, incluindo a disponibilidade dos dispositivos de descarga (operação recomendada);
 - ✓ Executa os diagramas de controle de cheias e os cálculos pertinentes aos reservatórios em paralelo, de acordo com condições e cenários impostos pelo operador (operação alternativa);
- O sistema deve contar com o apoio de um serviço meteorológico qualificado sob os aspectos de capacidade de processamento e de recursos humanos. A principal função do serviço meteorológico compreenderia a realização de previsões meteorológicas para a área da bacia, baseadas em modelos atmosféricos e no julgamento de profissionais qualificados. A rápida evolução da ciência meteorológica sugere que esse serviço seja contratado junto a uma instituição especializada, para a qual a atualização de conhecimentos e sistemas seja essencial para a manutenção do negócio.
 - A coleta sistemática de previsões de chuva para a bacia e a comparação com os dados reais de precipitação e vazão deve ser antecipada para gerar uma massa de dados suficiente para que sejam estabelecidos limites confiáveis para a correlação previsão de chuva e vazão.
 - Um sistema complexo sempre apresenta falhas que somente são detectadas com o uso. O período inicial de operação ou comissionamento existe para detectar e corrigir essas falhas. O comissionamento do novo sistema deve ser feito com extrema cautela, empregando grandes margens de erro nas previsões ou operando apenas em períodos menos propícios para a ocorrência de cheias, até que sua confiabilidade fique assegurada.
 - A concepção do sistema deve dedicar atenção para o ajuste fino da interferência entre o canal de fuga de Edgard de Souza e o Reservatório de Pirapora, para a questão do prazo necessário para o rebaixamento do rio

Tietê antes das chuvas e o prazo necessário para o rebaixamento de Pirapora, pontos que não puderam ser suficientemente esclarecidos com os recursos utilizados nas simulações.

A barragem Edgard de Souza sempre foi associada à formação de enchentes nas várzeas do Rio Tietê. Ainda hoje é comum encontrar comentários e publicações defendendo essa teoria, mesmo após a construção do descarregador de fundo nos anos 1980 e dos sucessivos rebaixamentos do leito do rio Tietê a montante. Por esse motivo, o maior obstáculo à implantação do sistema proposto será político, seja nas instâncias de discussão leigas, seja no âmbito dos Comitês de Bacias e nos órgãos normativos. Portanto, é importante que a eventual implantação do sistema seja pautada pela transparência junto a essas entidades e pelo emprego dos melhores recursos intelectuais na sua elaboração.

Os benefícios econômicos decorrentes do uso de um SSD nos moldes propostos podem atingir R\$ 3,6 milhões anuais. Esse montante é superior ao custo de implantação do sistema, avaliado preliminarmente em R\$ 1,0 milhão e permite cobrir com folga os custos de manutenção, representados principalmente pelo serviço de meteorologia.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um sistema de supervisão e controle para a cascata de geração no Alto e Médio Tietê é importante na medida em que possibilitará maior produção de energia, melhor controle sobre as informações e os processos e mais antecedência na previsão de eventos severos de cheias, além do treinamento de pessoal com vistas a esses eventos.

Os avanços nas técnicas de previsão meteorológica, apoiados sobre facilidades crescentes para processamento de informações, sugerem que as previsões de precipitações para a bacia do Tietê podem ser feitas com certeza suficiente para permitir um incremento substancial na geração de energia da cascata.

As simulações realizadas apontaram para um incremento de geração de eletricidade da ordem de 24.000 MWh. Esse número é muito próximo ao máximo potencial de

geração da cascata em uma operação puramente energética, mesmo quando são adotadas as condições de contorno e premissas mais conservadoras, como a exclusão da capacidade de bombeamento na Usina de Traição ($280 \text{ m}^3/\text{s}$) e o uso de uma equação previsão de chuva x vazão associada aos valores extremos registrados no período estudado. Isso sugere que o futuro sistema poderá operar os reservatórios de forma conservadora, com operações de rebaixamento amplas e sem perdas significativas na energia produzida.

Esse trabalho, ainda que limitado em fontes de informação e capacidade de modelagem, sinaliza que os riscos do investimento associado à elaboração e implantação de um sistema de supervisão e controle com o emprego de previsões de chuva e vazão são pequenos quando se tem em conta os benefícios econômicos e indiretos decorrentes da sua utilização.

7 BIBLIOGRAFIA

ANDREOLLI, I. **Previsão de vazão em tempo real no rio Uruguai com base na previsão meteorológica**. 2003. 182 p. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

ANGELIS, C. F.; MORELI, F.; MACHADO, L. A. T.; FREITAS, C. P. **Sigma: a web based GIS for environmental applications**. In: DOBESCH, H.; DUMOLARD, P.; DYRAS, Y. (ed.). *Spatial interpolation for climate data: The use of GIS in climatology and meteorology*. London, UK: ISTE, 2007. p. 25 - 34. ISBN 978-1-905209-70-5.

BOWLES, D. S. J.; MATHIAS, D.; CHAUHAN, S. S.; COUNTRYMAN, J. D. **Reservoir Release forecast model for flood operation of the Folsom Project including pre releases**. Proceedings of the 2004 USSD Annual Lecture. St. Louis, MO, 2004

BRAVO, J. M.. **Otimização da operação de um reservatório para controle de cheias com base na previsão de vazão**. 2006. 152p. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

BUSTAMANTE, J. F.; CHOU, S. C.; ROZANTE, J. R.; GOMES, J. L. **Uma avaliação da previsibilidade de tempo do modelo ETA para a América do Sul**. Revista Brasileira de Meteorologia, 2005, ano 20, número 1, p. 59 - 70 (ISSN 0102-7786).

CAETANO, M.; ESPÍRITO SANTO, C. M. do; PERRELLA, A. C. F. **Estudo preliminar da chuva - vazão para a bacia do rio Paraíba do Sul - SP utilizando um SIG**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10. 26-30 out. 1998, Brasília. Anais... 1998. Artigos. CD-ROM.

CANAL DO TEMPO (2007). Disponível em: <http://br.weather.com/glossary/m.html>. Acesso em: 27 dez. 2007.

CDM- CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM, 2008- **Approved baseline and monitoring methodology AM0052- Increased electricity generation from**

existing hydropower station trough decision support system optimization ; in http://cdm.unfccc.int/eb/031/eb_31repan07.pdf, acesso em 18/09/2008

CERQUEIRA, F. A. **Avaliação do modelo ETA em situações de chuvas intensas**. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE (SICINPE), 03-04 ago. 2005, São José dos Campos. INPE, 2005. p. 1-44. Papel, on-line. Publicado como: INPE-12994-PRE/8271..

CHOW, V. T. **Hydrology and its development**. In: CHOW, V. T. (org.) et al (1964). Handbook of Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill, s.d.

CLARKE, R. T., COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. **Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre RS, v. 8, n. 1, p. 201-211, 2003.

COLLISCHONN, W; HAAS, R.; ANDREOLLI, I.; TUCCI, C.E.M. **Forecasting River Uruguay flow using rainfall forecasts from a regional weather-prediction model**. Journal of Hydrology. [S.l.], v. 305, p. 87-98, 2005.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. **Use of a large-scale distributed hydrologic model for streamflow estimates in an ungaged basin**. In: IAHS Scientific Assembly, 2005, Foz do Iguaçu PR. Proceedings of the IAHS Scientific Assembly, 2005.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. **Simulação hidrológica da bacia do rio São Francisco usando precipitação estimada pelo satélite TRMM: resultados preliminares**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, João Pessoa (PB), 2005.

COLLISCHONN, W., BRAVO, J. M.; TUCCI, C. E. M.; SILVA, B. C. da. **Avaliação de benefícios da previsão meteorológica na operação de reservatórios com usos múltiplos**. I Prêmio INMET de Estudos sobre os Benefícios da Meteorologia para o Brasil. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/premio_inmet/premio.html. Acesso em: 18 jul. 2007. (no prelo)

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (2007). **Precipitação por satélite.** Disponível em: http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/texto.html. Acesso em: 21 dez. 2007(a) .

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Avaliação da precipitação.** Disponível em: <http://www6.cptec.inpe.br/iodopweb/avalweb/QPF/phps/definicao.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2007(b) .

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **O sistema de previsão de tempo global por ensemble do CPTEC.** Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/prevnum/exp_ensemble.shtml. Acesso em: 21 dez. 2007(c).

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - Calha do Tietê entre as Barragens da Penha e Edgard de Souza - Diagnóstico Hidráulico-Hidrológico. Relatório PDAT1-HI-RT-035.** 1999. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/macrodrenagem/index.html>. Acesso em: 7 jul. 2007.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sistema de informações para o gerenciamento de recursos hídricos do estado de São Paulo. Plano da bacia hidrográfica do Alto Tietê. Relatório Final.** 2001. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-AT/559/PBAT%20RELATORIO%20FINAL.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2007.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sistema de informações para o gerenciamento de recursos hídricos do estado de São Paulo. Banco de dados fluviométricos.** Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>. Acesso em: 27 nov. 2007.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Informações sobre o Alto Tietê** Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/altotiete/>. Acesso em: 27 nov. 2007.

DAVENPORT, R. W. **Prediction of runoff**. In: MEINZER, Oscar E. (org.). Hidrology. Dover Publications, New York , 1942 .p 1-31

DIAS, P. L. S. ; MOREIRA, D. S.; NETO, G. D.; **The Master Super Model Ensemble System (MSMES)**; 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO): Proceedings of the 8th ICSHMO, 2006 (1) Disponível em: http://paraguay.cptec.inpe.br/prec_sat/texto.html#. Acesso em: 26 dez. 2007.

VEJA- **Memória Paulistana**. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/vejasp/200705/misterios.html>. Acesso em: 20 dez. 2007.

EMAE- EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA. **Manual de operação hidráulica**. 2005. Relatório Interno, Diretoria de Geração, S. Paulo, 230 p.

ENGECORPS. **Inventário hidroelétrico simplificado do rio Tietê entre a confluência com o rio Pinheiros e o remanso do Reservatório de Barra Bonita**. - **Relatório 532-EMA-ITI-RT-P169 - Estudos Hidrológicos**. Relatório Interno EMAE. 2003. 107 p.

ESTEIO; **História da meteorologia**. Disponível em: <http://www.esteio.com.br/newsletters/index.htm>, Acesso em: 20 dez. 2007.

FCTH - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA; **Radar meteorológico de Ponte Nova**. Disponível em: <http://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/produtos.xmlt#a1>. Acesso em: 21 dez. 2007.

FORTUNE, M. A; **A severidade da grande geada de 1981: Uma avaliação por satélite em tempo real**. São José dos Campos, INPE. (INPE-2586-PRE/234). Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2, v. 3, p. 179-188. 1982

GARCIA, L. A. V. de. **Descrição do Sistema Billings**. Nota Técnica. Relatório Interno EMAE, 2007, 26 p.

GDASH; **Gerenciamento de dados do sistema hidráulico da EMAE**. Sistema de informações interno. Acesso em: 10 jul. 2007.

GENOVEZ, A. M., ZUFFO, A. C. **Chuvas Intensas no estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa.** In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Brasil. v. 5, n. 3, p. 45 - 57, 2000.

HAGEDORN, R. **Operational and research activities at ECMWF European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: Training Course 2007 – NWP-PR: Operational and Research Activities at European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF.** Disponível em: http://www.ecmwf.int/newsevents/training/meteorological_presentations/pdf/PR/ECMWF.pdf. Acesso em: 2 jan. 2008.

HIDRO ENGENHEIROS CONSULTORES. **Estudos hidrológicos e econômico-energéticos para avaliação do potencial hidroelétrico para geração em Santana do Parnaíba.** Relatório interno EMAE, 88 p, 2002.

HIDRO ENGENHEIROS CONSULTORES. **Estudos hidrológicos e econômico-energéticos para análise da viabilidade técnico-econômica da implantação de usina hidrelétrica no Médio Tietê.** Relatório interno EMAE, 88p.2001.

IAG - INSTITUTO DE ASTRONOMIA E GEOFÍSICA ; **Meteorologia sinótica: Zona de Convergência do Atlântico Sul.** Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/ensino/Sinotica/AULA14/AULA14.HTML>. Acesso em: 14 ago. 2008.

INFOCLIMA; **Boletim de Informações Climáticas**, ano 14, número 12; 26 de dezembro de 2007. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/infoclima>. Acesso em: 6 jan. 2007.

KRAUSKOPF NETO, R.; **Atualização de modelos chuva-vazão-propagação com estimuladores de estado.** 2005. Dissertação de mestrado- Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/4678>. Acesso em: 19 mar. 2008.

LOURENÇO, M. C. M.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A.; **Vórtices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical.** Boletim Climanálise. Edição Comemorativa de

10 anos, INPE, 1996. Disponível em:
<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.shtml>.

MACHADO, F. W.; **Modelagem chuva-vazão mensal utilizando redes neurais artificiais**. 2005. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Ambientais. Curitiba, 2005.. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/2345>. Acesso em: 21 mar. 2008.

MACHADO, L. A. T.; ANGELIS, C. F.; **South America remote sensing data integration based in web GIS for environmental applications and severe storm warning**. In: Workshop on Strategies for Open and Permanent Access to Scientific Information in Latin America: Focus on Health and Environmental Information for Sustainable Development, 2007, Atibaia, São Paulo. 2007. On-line. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.16.14.17>. Acesso em: 21 dez. 2007.

MAURER, E.P. ; LETTENMEIER, D.P: **Potential effects of long lead predictability on Missouri River main stem reservoir** Journal of Climate, V 17, n.1, pp 174-186 2004

MAUBERTEC ENGENHARIA E PROJETOS; **Projeto de melhoria hidráulica do rio Tietê**. Revista Águas e Energia, 1998. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/relatorios/revista/raee9810/Projeto.html>. Acesso em: 10 jul. 2007.

MEYER, P: **Probabilidade: Aplicações à Estatística**: Livros Técnicos e Científicos, 1969, 350 pp

MINE, M.R.M. **Método determinístico para minimizar o conflito entre gerar energia e controlar cheias**. 1998. 146 p. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES; **Informações detalhadas sobre o rio Tietê**. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/bit/hidro/detriotiete.htm>. Acesso em: 27 nov. 2007.

MISHALANI, N. R.; PALMER, R. N. **Forecast uncertainty in water supply reservoir operation**. Water Resources Bulletin. [S.l.], v. 24, n. 6, p. 1237-1245, 1988.

NORCALWATER- NORTHERN CALIFÓRNIA WATER ASSOCIATION; **Informações sobre o Complexo Folsom** disponível em www.norcalwater.org/watermap/folsom.shtml. Acesso em: 10 jul. 2007.

ONO, S.; PORTO, R. La L.; OLIVEIRA, C. de P. M.; MARCELLINI, S. S. **Modelo MEL-AT: Previsão e modelagem de vazões para a bacia do Alto Tietê**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR), 21-26 abr. 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2007. Artigo, p. 3505-3512. CD-ROM, on-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://martel.dpi.inpe.br/rep-dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.23.45>. Acesso em: 09 jul. 2007.

RAMIREZ, M. C. V.; CAMPOS VELHO, H. F.; FERREIRA, N. J.; **Downscaling estatístico para a previsão de precipitação sobre o Sudeste do Brasil**. In: Workshop latino-americano em modelagem regional de tempo e clima utilizando o modelo ETA: Aspectos físicos e numéricos, I, 21-26 mar., INPE-CPTEC - Cachoeira Paulista. Resumos... 2004. Sessão Oral, p. 9. CD-ROM. Publicado como: INPE-11937-PRE/7283. Disponível em: mtc-m15.sid.inpe.br/rep-cptec.inpe.br/walmeida/2004/11.30.16.24.22. Acesso em: 8 jul. 2007.

RAMIREZ, M. C. V.; FERREIRA, N. J.; CAMPOS VELHO, H. F. **Previsão de chuva para o padrão de verão ZCAS-VCAN através de um downscaling estatístico**. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. Anais, 2006.

SABESP; **Informações sobre o sistema de abastecimento de água**. Disponível em:

www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=sabesp&pub=T&db=&docid=CC8BB4856DE5633B832571AE005B0E26. Acesso em: 27 nov. 2007.

SAKURAGI, J. **Sondagens TOVS: impacto na análise sinótica entre 18 e 19 de março de 1991 na região Sul e Sudeste do Brasil**. 1992., 164 p. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais São José dos Campos, INPE

(INPE-5497/TDI/512). Disponível em: sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.28.23.28.11Rótulo6546.

SAMPAIO, G.; **Curso de Meteorologia Básica**; apresentação em Power Point. Disponível em: http://webaula.cptec.inpe.br/visitview/acesso_ppt_pdf.shtml. Acesso em: 2 jan. 2008.

SHUKLA, J.; **Predictability in the midst of chaos: A scientific basis for climate forecasting**. Science, 282, 728-731. 1998.

SILVA, B. C. **Previsão hidroclimática de vazão para a bacia do rio São Francisco**. 2005. 227 p. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental- Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

SOUZA, R. A. F. et al. **Contribuições à meteorologia por satélite: produtos operacionais no CPTEC**. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia. v. 29, n. 2, p. 52, 2005.

THEMAG ENGENHARIA; **PCH Pirapora: Projeto Básico. Casa de força: Turbina hidráulica e válvula borboleta do conduto de adução. Especificação técnica. Relatório 6453-01-CF-610-ET-00070, r0**. 2004. Relatório interno EMAE. São Paulo.

TUCCI, C. E. M.; DAMIANI, A. **Potencial impacto da modificação climática no rio Uruguai**. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 5-34, 1994.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. 1997 **Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol 2.No.1. pp. 135-152.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; COLLISCHONN, W.; SILVA, B. C.; DIAS, P. L.S.; CARDOZO, A. O.; JUAREZ, R. N.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.;SAMPAIO, G.; CHAN, C. S. **Previsões de vazões na bacia do rio São Francisco com base na previsão climática**. Projeto financiado por ANEEL/OMM. [S.l.],2004, 367 p.

UCAR - UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. **ETA Model Characteristics**. Disponível em:

<http://www.comet.ucar.edu/nwpllessons/etalesson2/etacharacteristicsinfo.doc>.

Acesso em: 19 dez. 2007.

UNICAMP. **Boletim Inovação: Supercomputador para previsão do tempo do INPE faz 768 bilhões de contas por segundo; aquecimento global requer mais velocidade.** Disponível em: www.inovacao.unicamp.br/etanol/repot/news-pp-climaticalINPE070423.php. Acesso em: 9 jul. 2007.

VALVERDE, R., CLEOFÉ, M.; FERREIRA, N. J.; CAMPOS VELHO, H. F. **Previsão de chuva para o padrão de verão ZCAS-VCAN através de um downscaling estatístico.** In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), Nov. 27 - 01 Dec., Florianópolis, SC. Proceedings... SBMET, 2006. Artigos. CD-ROM; Papel. Publicado como: INPE-14579-PRE/9609. Disponível em: <http://mtc-m17.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.21.20.21>. Acesso em: 09 jul. 2007.

VICENTE, G. A., SCOFIELD, R. A., MENZEL, W. P; **The Operation GOES Infrared Rainfall Estimation Technique**; Bull. Amer. Meteor. Soc., vol. 79, 9, 1883-1898. 1998

VILLANUEVA, A.; ZAMANILLO, E.; TUCCI. C.E.M. **Previsão de vazão para irrigação.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 7,1987, [S.I.]. Anais, v. 1, 1987, p. 536-549.

ZAMANILLO, E. A. **Previsão em tempo real em uma hidrovía controlada por barragens.** 1988. 259 p. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

ANEXO 1

PREVISÕES DE PRECIPITAÇÕES DA EMPRESA CLIMATEMPO

Previsões de precipitação e respectivas probabilidades

Região de São Paulo

FONTE CLIMATEMPO METEOROLOGIA- Modelo Numérico

em itálico, preenchimento por interpolação

DATA	dia 1		dia 2		dia 3		dia 4		dia 5	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
segunda-feira, 28 de maio de 2007										
terça-feira, 29 de maio de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	25	90
quarta-feira, 30 de maio de 2007	1	30	0	0	0	0	15	80	20	80
quinta-feira, 31 de maio de 2007	0	0	0	0	15	80	25	80	15	80
sexta-feira, 1 de junho de 2007	0	0	15	80	10	80	0	0	0	0
sábado, 2 de junho de 2007	15	90	5	70	0	0	0	0	0	0
domingo, 3 de junho de 2007	5	70	0	0	0	0	0	0	15	80
segunda-feira, 4 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	2	60
terça-feira, 5 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 6 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 7 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 8 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sábado, 9 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
domingo, 10 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 11 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 12 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 13 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	2	70	10	70
quinta-feira, 14 de junho de 2007	0	0	0	0	2	60	0	0	0	0
sexta-feira, 15 de junho de 2007	0	0	2	60	0	0	0	0	0	0
sábado, 16 de junho de 2007	2	60	0	0	0	0	0	0	0	0
domingo, 17 de junho de 2007	2	60	0	0	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 18 de junho de 2007	2	60	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 19 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 20 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 21 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	10	85
sexta-feira, 22 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	10	80	0	0
sábado, 23 de junho de 2007	0	0	0	0	5	80	0	0	0	0
domingo, 24 de junho de 2007	0	0	5	80	1	20	0	0	0	0
segunda-feira, 25 de junho de 2007	2	30	0	0	2	60	10	80	0	0
terça-feira, 26 de junho de 2007	0	0	2	70	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 27 de junho de 2007	2	60	1	30	1	30	0	0	0	0
quinta-feira, 28 de junho de 2007	1	30	1	30	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 29 de junho de 2007	1	20	1	10	0	0	0	0	0	0
sábado, 30 de junho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
domingo, 1 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 2 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 3 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 4 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 5 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 6 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	2	10	2	60
sábado, 7 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
domingo, 8 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	1	20	1	10
segunda-feira, 9 de julho de 2007	0	0	0	0	1	10	1	10	0	0
terça-feira, 10 de julho de 2007	0	0	2	70	10	80	0	0	2	70
quarta-feira, 11 de julho de 2007	2	70	5	80	0	0	2	70	3	80
quinta-feira, 12 de julho de 2007	2	20	1	10	0	0	10	80	15	90
sexta-feira, 13 de julho de 2007	1	10	0	0	10	80	15	90	3	80
sábado, 14 de julho de 2007	0	0	2	70	5	80	5	90	1	10
domingo, 15 de julho de 2007	10	80	20	80	10	80	2	60	0	0
segunda-feira, 16 de julho de 2007	2	80	10	80	20	80	0	0	0	0
terça-feira, 17 de julho de 2007	5	80	10	90	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 18 de julho de 2007	15	90	0	0	0	0	0	0	1	10
quinta-feira, 19 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	20	80
sexta-feira, 20 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	10	90	15	90
sábado, 21 de julho de 2007	0	0	0	0	15	90	25	95	20	90
domingo, 22 de julho de 2007	0	0	15	80	20	90	10	90	1	30
segunda-feira, 23 de julho de 2007	10	80	20	90	5	80	0	0	0	0
terça-feira, 24 de julho de 2007	20	90	20	95	0	0	0	0	1	10
quarta-feira, 25 de julho de 2007	20	90	0	0	0	0	0	0	2	10
quinta-feira, 26 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	2	30	0	0
sexta-feira, 27 de julho de 2007	2	30	2	30	2	30	1	10	0	0
sábado, 28 de julho de 2007	5	30	5	70	0	0	0	0	0	0
domingo, 29 de julho de 2007	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 30 de julho de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 31 de julho de 2007	1	10	0	0	0	0	0	0	1	10
quarta-feira, 1 de agosto de 2007	0	0	0	0	0	0	1	10	1	10
quinta-feira, 2 de agosto de 2007	0	0	0	0	0	0	1	10	0	0
sexta-feira, 3 de agosto de 2007	0	0	0	0	2	10	0	0	2	60
sábado, 4 de agosto de 2007	0	0	1	30	1	10	0	0	1	10

**Previsões de precipitação e respectivas probabilidades
Região de São Paulo**

FONTE CLIMATEMPO METEOROLOGIA- Modelo Numérico
em itálico: preenchimento por interpolação

DATA	dia 1		dia 2		dia 3		dia 4		dia 5	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
domingo, 5 de agosto de 2007	1	20	1	10	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 6 de agosto de 2007	1	10	0	0	0	0	0	0	1	10
terça-feira, 7 de agosto de 2007	1	10	1	10	0	0	0	0	5	70
quarta-feira, 8 de agosto de 2007	1	10	0	0	0	0	5	70	1	10
quinta-feira, 9 de agosto de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 10 de agosto de 2007	0	0	2	20	2	20	1	10	0	0
sábado, 11 de agosto de 2007	2	20	2	20	0	0	0	0	0	0
domingo, 12 de agosto de 2007	2	40	0	0	0	0	0	0	1	10
segunda-feira, 13 de agosto de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 14 de agosto de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 15 de agosto de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 16 de agosto de 2007	0	0	2	20	2	10	2	20	2	10
sexta-feira, 17 de agosto de 2007	1	10	1	10	0	0	2	20	2	30
sábado, 18 de agosto de 2007	1	10	0	0	2	70	2	20	1	10
domingo, 19 de agosto de 2007	0	0	5	80	1	40	0	0	0	0
segunda-feira, 20 de agosto de 2007	5	80	1	40	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 21 de agosto de 2007	1	30	1	10	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 22 de agosto de 2007	1	10	0	0	0	0	0	0	2	10
quinta-feira, 23 de agosto de 2007	2	10	0	0	0	0	2	20	5	70
sexta-feira, 24 de agosto de 2007	0	0	0	0	0	0	5	70	10	80
sábado, 25 de agosto de 2007	0	0	0	0	5	70	10	80	2	60
domingo, 26 de agosto de 2007	0	0	5	80	5	80	10	80	15	90
segunda-feira, 27 de agosto de 2007	5	70	5	80	10	90	10	90	1	10
terça-feira, 28 de agosto de 2007	1	20	10	80	15	80	2	30	0	0
quarta-feira, 29 de agosto de 2007	5	70	15	80	2	20	0	0	0	0
quinta-feira, 30 de agosto de 2007	15	80	1	10	0	0	2	20	2	20
sexta-feira, 31 de agosto de 2007	2	10	0	0	2	40	0	0	2	20
sábado, 1 de setembro de 2007	1	10	2	20	1	10	0	0	2	10
domingo, 2 de setembro de 2007	1	30	1	10	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 3 de setembro de 2007	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 4 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 5 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 6 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 7 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sábado, 8 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
domingo, 9 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 10 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 11 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	2	60
quarta-feira, 12 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	2	60	10	80
quinta-feira, 13 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	2	60	5	70
sexta-feira, 14 de setembro de 2007	0	0	0	0	2	60	2	70	0	0
sábado, 15 de setembro de 2007	0	0	2	60	2	80	0	0	2	60
domingo, 16 de setembro de 2007	5	70	5	80	1	30	2	60	5	70
segunda-feira, 17 de setembro de 2007	5	80	1	20	2	60	5	70	0	0
terça-feira, 18 de setembro de 2007	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 19 de setembro de 2007	5	70	2	10	2	10	0	0	0	0
quinta-feira, 20 de setembro de 2007	5	70	0	0	0	0	2	60	2	80
sexta-feira, 21 de setembro de 2007	0	0	0	0	0	0	2	80	10	80
sábado, 22 de setembro de 2007	2	60	0	0	2	80	10	80	0	0
domingo, 23 de setembro de 2007	0	0	5	80	5	80	5	80	0	0
segunda-feira, 24 de setembro de 2007	5	80	5	80	2	30	0	0	2	60
terça-feira, 25 de setembro de 2007	1	30	2	10	2	70	5	80	2	30
quarta-feira, 26 de setembro de 2007	5	80	5	80	2	30	2	30	0	0
quinta-feira, 27 de setembro de 2007	0	0	5	80	2	80	2	80	2	80
sexta-feira, 28 de setembro de 2007	5	80	5	80	2	30	2	30	0	0
sábado, 29 de setembro de 2007	2	80	2	30	1	10	0	0	2	60
domingo, 30 de setembro de 2007	1	30	1	10	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 1 de outubro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 2 de outubro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 3 de outubro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 4 de outubro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	2	60
sexta-feira, 5 de outubro de 2007	0	0	0	0	0	0	2	60	0	0
sábado, 6 de outubro de 2007	0	0	0	0	2	60	0	0	2	60
domingo, 7 de outubro de 2007	5	60	5	60	5	60	0	0	0	0
segunda-feira, 8 de outubro de 2007	2	60	0	0	0	0	2	60	2	60
terça-feira, 9 de outubro de 2007	0	0	0	0	2	60	2	60	2	60
quarta-feira, 10 de outubro de 2007	0	0	0	0	2	60	10	80	10	80
quinta-feira, 11 de outubro de 2007	0	0	2	60	2	60	10	80	15	80
sexta-feira, 12 de outubro de 2007	2	60	2	80	10	80	10	80	0	0

Previsões de precipitação e respectivas probabilidades
Região de São Paulo

FONTE CLIMATEMPO METEOROLOGIA- Modelo Numérico

em itálico: preenchimento por interpolação

DATA	dia 1		dia 2		dia 3		dia 4		dia 5	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
sábado, 13 de outubro de 2007	2	80	10	80	10	80	0	0	15	80
domingo, 14 de outubro de 2007	5	80	10	80	5	70	10	80	10	90
segunda-feira, 15 de outubro de 2007	2	70	2	60	10	80	5	90	2	70
terça-feira, 16 de outubro de 2007	10	80	5	80	2	80	1	30	2	60
quarta-feira, 17 de outubro de 2007	5	80	10	80	15	80	0	0	0	0
quinta-feira, 18 de outubro de 2007	5	80	10	80	0	0	0	0	2	60
sexta-feira, 19 de outubro de 2007	10	80	2	60	0	0	2	60	15	80
sábado, 20 de outubro de 2007	0	0	0	0	2	60	25	80	45	80
domingo, 21 de outubro de 2007	0	0	10	80	40	90	25	90	2	30
segunda-feira, 22 de outubro de 2007	10	80	30	90	40	90	30	90	2	30
terça-feira, 23 de outubro de 2007	30	90	40	90	30	90	2	30	2	30
quarta-feira, 24 de outubro de 2007	30	80	30	80	5	80	2	60	10	80
quinta-feira, 25 de outubro de 2007	30	80	10	80	2	60	10	80	15	80
sexta-feira, 26 de outubro de 2007	5	80	2	60	10	80	2	60	2	60
sábado, 27 de outubro de 2007	5	70	2	60	2	60	10	80	2	60
domingo, 28 de outubro de 2007	5	60	2	60	5	70	5	70	10	70
segunda-feira, 29 de outubro de 2007	2	60	5	70	5	70	10	80	2	70
terça-feira, 30 de outubro de 2007	5	70	5	70	10	80	2	70	10	70
quarta-feira, 31 de outubro de 2007	2	60	2	60	15	80	40	80	25	80
quinta-feira, 1 de novembro de 2007	10	80	15	80	40	80	10	80	2	20
sexta-feira, 2 de novembro de 2007	30	90	15	80	20	80	10	80	2	10
sábado, 3 de novembro de 2007	15	80	25	80	5	80	20	80	15	80
domingo, 4 de novembro de 2007	30	80	10	80	10	80	5	70	2	60
segunda-feira, 5 de novembro de 2007	10	80	15	80	20	80	10	80	15	80
terça-feira, 6 de novembro de 2007	10	80	10	80	10	80	25	80	15	80
quarta-feira, 7 de novembro de 2007	15	80	10	70	10	80	10	80	20	80
quinta-feira, 8 de novembro de 2007	10	80	10	80	20	80	25	80	2	30
sexta-feira, 9 de novembro de 2007	15	80	30	80	25	80	2	30	2	10
sábado, 10 de novembro de 2007	15	80	2	80	15	80	2	10	5	80
domingo, 11 de novembro de 2007	25	90	15	90	10	70	10	70	15	80
segunda-feira, 12 de novembro de 2007	10	70	2	20	10	70	20	90	2	20
terça-feira, 13 de novembro de 2007	15	60	2	10	25	80	2	40	2	10
quarta-feira, 14 de novembro de 2007	15	80	30	80	2	40	2	10	2	60
quinta-feira, 15 de novembro de 2007	25	80	2	40	10	80	0	0	2	60
sexta-feira, 16 de novembro de 2007	2	30	2	10	2	60	2	60	35	80
sábado, 17 de novembro de 2007	1	10	2	60	15	80	35	80	1	10
domingo, 18 de novembro de 2007	5	70	20	80	25	80	1	10	0	0
segunda-feira, 19 de novembro de 2007	20	80	25	80	1	10	0	0	1	10
terça-feira, 20 de novembro de 2007	10	80	1	10	1	10	2	10	0	0
quarta-feira, 21 de novembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	30	80
quinta-feira, 22 de novembro de 2007	1	10	1	10	0	0	45	80	10	80
sexta-feira, 23 de novembro de 2007	0	0	0	0	10	80	15	80	15	80
sábado, 24 de novembro de 2007	0	0	10	80	10	70	2	10	2	10
domingo, 25 de novembro de 2007	2	60	10	80	2	30	1	10	0	0
segunda-feira, 26 de novembro de 2007	10	80	2	20	2	20	0	0	0	0
terça-feira, 27 de novembro de 2007	10	70	1	10	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 28 de novembro de 2007	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 29 de novembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 30 de novembro de 2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sábado, 1 de dezembro de 2007	1	10	0	0	0	0	0	0	15	80
domingo, 2 de dezembro de 2007	0	0	0	0	0	0	15	80	20	80
segunda-feira, 3 de dezembro de 2007	0	0	0	0	10	80	35	80	40	80
terça-feira, 4 de dezembro de 2007	2	60	20	80	20	80	20	80	15	80
quarta-feira, 5 de dezembro de 2007	10	80	30	80	40	80	20	80	10	80
quinta-feira, 6 de dezembro de 2007	30	80	35	80	2	60	2	60	10	80
sexta-feira, 7 de dezembro de 2007	15	80	15	80	15	80	10	80	15	80
sábado, 8 de dezembro de 2007	1	10	10	70	15	80	15	80	20	80
domingo, 9 de dezembro de 2007	20	70	5	70	5	90	15	90	10	90
segunda-feira, 10 de dezembro de 2007	10	80	5	90	20	90	10	90	2	40
terça-feira, 11 de dezembro de 2007	10	80	25	90	15	90	2	10	2	10
quarta-feira, 12 de dezembro de 2007	2	40	2	10	1	10	0	0	15	80
quinta-feira, 13 de dezembro de 2007	2	40	2	10	1	10	0	0	15	80
sexta-feira, 14 de dezembro de 2007	2	10	0	0	0	0	20	80	30	80
sábado, 15 de dezembro de 2007	1	10	0	0	2	70	20	80	20	80
domingo, 16 de dezembro de 2007	0	0	2	10	15	80	40	80	15	70
segunda-feira, 17 de dezembro de 2007	0	0	5	70	15	80	5	70	2	60
terça-feira, 18 de dezembro de 2007	1	10	35	80	30	80	15	80	2	60
quarta-feira, 19 de dezembro de 2007	45	80	15	80	10	80	20	80	20	80
quinta-feira, 20 de dezembro de 2007	10	70	15	70	2	60	15	80	15	70

**Previsões de precipitação e respectivas probabilidades
Região de São Paulo**

FONTE CLIMATEMPO METEOROLOGIA- Modelo Numérico
em itálico: preenchimento por interpolação

DATA	dia 1		dia 2		dia 3		dia 4		dia 5	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
sexta-feira, 21 de dezembro de 2007	2	60	2	60	10	80	20	80	20	80
sábado, 22 de dezembro de 2007	2	60	15	80	15	80	15	80	15	80
domingo, 23 de dezembro de 2007	5	70	15	80	15	80	15	80	15	80
segunda-feira, 24 de dezembro de 2007	10	70	5	70	5	70	5	70	10	70
terça-feira, 25 de dezembro de 2007	10	80	2	60	2	60	2	60	2	60
quarta-feira, 26 de dezembro de 2007	5	60	2	60	2	60	2	60	2	60
quinta-feira, 27 de dezembro de 2007	2	60	2	60	2	80	2	80	5	80
sexta-feira, 28 de dezembro de 2007	2	60	2	60	2	60	2	70	10	80
sábado, 29 de dezembro de 2007	2	60	2	60	2	70	10	80	15	80
domingo, 30 de dezembro de 2007	2	60	5	80	5	80	15	90	15	80
segunda-feira, 31 de dezembro de 2007	5	80	5	80	20	90	20	90	15	90
terça-feira, 1 de janeiro de 2008	10	80	20	90	5	90	2	70	15	80
quarta-feira, 2 de janeiro de 2008	10	70	10	70	5	70	15	80	25	80
quinta-feira, 3 de janeiro de 2008	15	80	5	80	20	80	20	80	2	30
sexta-feira, 4 de janeiro de 2008	10	70	20	80	25	90	2	70	2	60
sábado, 5 de janeiro de 2008	25	90	15	90	1	10	2	60	10	80
domingo, 6 de janeiro de 2008	15	70	0	0	0	0	2	60	15	70
segunda-feira, 7 de janeiro de 2008	0	0	0	0	2	20	5	70	5	70
terça-feira, 8 de janeiro de 2008	0	0	2	70	2	60	2	60	10	70
quarta-feira, 9 de janeiro de 2008	2	70	2	70	10	70	35	60	15	60
quinta-feira, 10 de janeiro de 2008	2	60	2	80	20	30	20	30	2	60
sexta-feira, 11 de janeiro de 2008	2	70	20	90	30	80	20	80	10	80
sábado, 12 de janeiro de 2008	40	90	25	90	15	80	15	80	15	80
domingo, 13 de janeiro de 2008	20	90	10	80	5	70	2	80	2	70
segunda-feira, 14 de janeiro de 2008	10	80	2	70	2	60	2	60	1	60
terça-feira, 15 de janeiro de 2008	15	80	2	80	2	60	2	60	10	80
quarta-feira, 16 de janeiro de 2008	10	80	2	60	10	80	10	80	20	90
quinta-feira, 17 de janeiro de 2008	5	70	15	90	10	80	25	90	25	90
sexta-feira, 18 de janeiro de 2008	15	80	20	80	30	80	10	90	15	90
sábado, 19 de janeiro de 2008	30	80	35	90	10	90	10	90	20	90
domingo, 20 de janeiro de 2008	25	90	10	90	5	80	15	90	45	90
segunda-feira, 21 de janeiro de 2008	20	80	10	80	15	80	15	80	15	80
terça-feira, 22 de janeiro de 2008	2	30	10	90	10	80	10	80	10	80
quarta-feira, 23 de janeiro de 2008	2	30	10	90	10	80	10	80	10	80
quinta-feira, 24 de janeiro de 2008	10	90	10	90	2	80	2	60	2	60
sexta-feira, 25 de janeiro de 2008	2	70	2	60	10	80	20	80	40	80
sábado, 26 de janeiro de 2008	5	80	10	80	10	80	15	80	25	80
domingo, 27 de janeiro de 2008	15	80	20	80	55	80	25	80	25	80
segunda-feira, 28 de janeiro de 2008	80	20	80	55	80	25	70	10	80	15
terça-feira, 29 de janeiro de 2008	35	90	20	80	10	80	2	60	10	80
quarta-feira, 30 de janeiro de 2008	20	80	20	80	10	80	10	80	20	80
quinta-feira, 31 de janeiro de 2008	20	80	10	80	2	60	10	80	2	70
sexta-feira, 1 de fevereiro de 2008	2	60	2	60	10	80	45	90	2	40
sábado, 2 de fevereiro de 2008	2	60	15	80	10	90	2	40	20	80
domingo, 3 de fevereiro de 2008	15	80	5	70	2	30	5	70	15	80
segunda-feira, 4 de fevereiro de 2008	5	70	1	10	0	0	5	70	15	80
terça-feira, 5 de fevereiro de 2008	1	10	0	0	15	80	10	80	10	80
quarta-feira, 6 de fevereiro de 2008	5	70	15	80	10	80	10	80	10	80
quinta-feira, 7 de fevereiro de 2008	10	80	20	80	2	60	10	80	25	80
sexta-feira, 8 de fevereiro de 2008	15	80	10	80	20	80	20	80	25	90
sábado, 9 de fevereiro de 2008	2	60	20	80	20	80	30	90	10	80
domingo, 10 de fevereiro de 2008	2	60	20	80	30	90	10	80	25	90
segunda-feira, 11 de fevereiro de 2008	15	90	20	90	20	90	15	90	15	70
terça-feira, 12 de fevereiro de 2008	15	80	25	80	15	90	10	70	15	90
quarta-feira, 13 de fevereiro de 2008	25	80	10	80	10	80	15	80	15	80
quinta-feira, 14 de fevereiro de 2008	5	70	10	80	2	60	2	60	15	80
sexta-feira, 15 de fevereiro de 2008	10	80	2	60	2	60	15	80	10	80
sábado, 16 de fevereiro de 2008	2	60	2	60	15	80	10	80	2	60
domingo, 17 de fevereiro de 2008	10	80	15	80	15	80	15	80	35	80
segunda-feira, 18 de fevereiro de 2008	20	80	10	80	10	80	35	80	25	80
terça-feira, 19 de fevereiro de 2008	10	80	2	60	15	80	20	90	30	90
quarta-feira, 20 de fevereiro de 2008	2	60	15	80	20	90	30	90	25	80
quinta-feira, 21 de fevereiro de 2008	15	80	20	80	10	80	5	90	1	10
sexta-feira, 22 de fevereiro de 2008	20	80	20	80	15	90	2	30	2	30
sábado, 23 de fevereiro de 2008	10	80	10	90	10	90	2	20	2	10
domingo, 24 de fevereiro de 2008	10	80	5	80	1	30	1	30	1	10
segunda-feira, 25 de fevereiro de 2008	2	70	1	40	1	40	1	40	1	40
terça-feira, 26 de fevereiro de 2008	1	10	1	10	2	30	2	90	5	90
quarta-feira, 27 de fevereiro de 2008	1	10	1	10	15	90	25	90	15	80

Previsões de precipitação e respectivas probabilidades
Região de São Paulo

FONTE CLIMATEMPO METEOROLOGIA- Modelo Numérico
em itálico: preenchimento por interpolação

DATA	dia 1		dia 2		dia 3		dia 4		dia 5	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
quinta-feira, 28 de fevereiro de 2008	2	60	5	80	25	90	25	80	10	80
sexta-feira, 29 de fevereiro de 2008	2	60	30	90	10	80	2	60	2	60
sábado, 1 de março de 2008	30	80	0	0	0	0	2	80	2	80
domingo, 2 de março de 2008	0	0	0	0	2	80	2	80	2	60
segunda-feira, 3 de março de 2008	0	0	0	0	2	60	10	80	20	80
terça-feira, 4 de março de 2008	0	0	2	60	1	80	4	80	9	80
quarta-feira, 5 de março de 2008	1	60	1	80	3	80	6	80	5	80
quinta-feira, 6 de março de 2008	1	80	1	60	4	80	5	80	6	80
sexta-feira, 7 de março de 2008	2	80	4	80	5	80	6	80	9	80
sábado, 8 de março de 2008	4	80	5	80	6	80	9	80	28	90
domingo, 9 de março de 2008	5	80	5	80	10	90	56	90	44	90
segunda-feira, 10 de março de 2008	5	70	5	80	12	90	26	90	58	90
terça-feira, 11 de março de 2008	10	80	28	90	54	90	37	90	1	30
quarta-feira, 12 de março de 2008	24	90	33	90	2	40	1	10	0	0
quinta-feira, 13 de março de 2008	50	90	2	40	1	10	1	10	1	10
sexta-feira, 14 de março de 2008	2	40	2	10	1	10	1	80	2	80
sábado, 15 de março de 2008	1	10	2	60	3	80	5	80	10	80
domingo, 16 de março de 2008	16	80	11	80	14	70	6	70	5	70
segunda-feira, 17 de março de 2008	20	80	7	70	5	70	5	70	5	70
terça-feira, 18 de março de 2008	7	90	1	10	0	0	3	80	9	80
quarta-feira, 19 de março de 2008	1	10	0	0	3	80	9	80	5	70
quinta-feira, 20 de março de 2008	5	70	6	70	9	70	5	70	14	80
sexta-feira, 21 de março de 2008	6	70	10	80	11	80	14	80	1	30
sábado, 22 de março de 2008	5	70	24	80	5	70	0	0	0	0
domingo, 23 de março de 2008	24	80	5	70	0	0	0	0	1	30
segunda-feira, 24 de março de 2008	1	40	1	40	1	10	0	0	2	60
terça-feira, 25 de março de 2008	6	70	5	70	5	70	5	70	5	70
quarta-feira, 26 de março de 2008	5	70	6	70	6	70	6	70	1	30
quinta-feira, 27 de março de 2008	7	70	5	70	5	70	1	20	0	0
sexta-feira, 28 de março de 2008	5	70	5	70	0	0	0	0	0	0
sábado, 29 de março de 2008	5	70	2	70	0	0	0	0	2	70
domingo, 30 de março de 2008	2	20	1	10	1	10	1	10	24	80
segunda-feira, 31 de março de 2008	0	0	1	10	0	0	3	80	13	80
terça-feira, 1 de abril de 2008	0	0	0	0	5	70	10	80	18	80
quarta-feira, 2 de abril de 2008	2	70	8	70	10	80	0	0	0	0
quinta-feira, 3 de abril de 2008	8	70	10	80	0	0	0	0	18	80
sexta-feira, 4 de abril de 2008	15	80	1	30	0	0	0	0	0	0
sábado, 5 de abril de 2008	1	10	0	0	1	80	2	60	2	60
domingo, 6 de abril de 2008	2	60	7	70	11	70	8	70	8	70
segunda-feira, 7 de abril de 2008	16	70	18	70	10	70	12	70	3	60
terça-feira, 8 de abril de 2008	2	70	2	70	6	80	0	0	0	0
quarta-feira, 9 de abril de 2008	7	80	13	80	3	80	0	0	0	0
quinta-feira, 10 de abril de 2008	11	80	7	80	0	0	1	80	11	90
sexta-feira, 11 de abril de 2008	3	70	0	0	4	80	11	90	16	90
sábado, 12 de abril de 2008	3	80	4	80	15	80	22	90	23	90
domingo, 13 de abril de 2008	5	70	5	80	22	90	15	90	13	70
segunda-feira, 14 de abril de 2008	5	80	23	80	10	80	9	80	4	80
terça-feira, 15 de abril de 2008	23	80	10	80	9	80	4	80	13	70
quarta-feira, 16 de abril de 2008	1	10	13	80	16	90	2	40	1	10
quinta-feira, 17 de abril de 2008	7	80	5	90	2	90	6	90	2	80
sexta-feira, 18 de abril de 2008	10	90	21	90	6	90	1	40	1	10
sábado, 19 de abril de 2008	19	90	17	90	9	90	10	90	1	10
domingo, 20 de abril de 2008	8	80	6	80	0	0	1	10	1	10
segunda-feira, 21 de abril de 2008	21	80	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 22 de abril de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 23 de abril de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 24 de abril de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	2	70
sexta-feira, 25 de abril de 2008	0	0	0	0	0	0	2	70	0	0
sábado, 26 de abril de 2008	0	0	0	0	0	0	2	60	43	90
domingo, 27 de abril de 2008	0	0	0	0	5	70	35	80	40	80
segunda-feira, 28 de abril de 2008	0	0	5	70	51	80	7	80	5	80
terça-feira, 29 de abril de 2008	2	70	31	90	6	90	42	90	10	90
quarta-feira, 30 de abril de 2008	24	90	6	90	30	90	15	80	8	80
quinta-feira, 1 de maio de 2008	3	90	33	90	1	10	0	0	0	0
sexta-feira, 2 de maio de 2008	37	90	1	10	0	0	0	0	0	0
sábado, 3 de maio de 2008	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
domingo, 4 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 5 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 6 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Previsões de precipitação e respectivas probabilidades
Região de São Paulo

FONTE CLIMATEMPO METEOROLOGIA- Modelo Numérico
em itálico preenchimento por interpolação

DATA	dia 1		dia 2		dia 3		dia 4		dia 5	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
quarta-feira, 7 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	1	10	1	10
quinta-feira, 8 de maio de 2008	0	0	1	10	1	10	1	10	0	0
sexta-feira, 9 de maio de 2008	1	10	1	20	1	30	0	0	0	0
sábado, 10 de maio de 2008	1	30	1	30	0	0	0	0	0	0
domingo, 11 de maio de 2008	2	20	1	20	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 12 de maio de 2008	1	10	1	10	0	0	0	0	0	0
terça-feira, 13 de maio de 2008	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 14 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 15 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 16 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sábado, 17 de maio de 2008	0	0	0	0	1	70	0	0	0	0
domingo, 18 de maio de 2008	1	20	0	0	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 19 de maio de 2008	1	60	0	0	1	70	0	0	0	0
terça-feira, 20 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quarta-feira, 21 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 22 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 23 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sábado, 24 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
domingo, 25 de maio de 2008	0	0	1	10	0	0	0	0	5	80
segunda-feira, 26 de maio de 2008	0	0	0	0	0	0	80	5	25	80
terça-feira, 27 de maio de 2008	0	0	0	0	5	70	22	90	7	90
quarta-feira, 28 de maio de 2008	0	0	2	70	15	90	7	90	19	90
quinta-feira, 29 de maio de 2008	2	60	16	90	9	90	47	90	23	80
sexta-feira, 30 de maio de 2008	15	90	13	90	14	90	6	80	16	80
sábado, 31 de maio de 2008	1	30	33	90	1	10	1	10	17	80
domingo, 1 de junho de 2008	5	80	0	0	2	70	7	70	0	0
segunda-feira, 2 de junho de 2008	1	20	2	70	8	80	0	0	0	0
terça-feira, 3 de junho de 2008	1	20	2	70	8	80	0	0	0	0
quarta-feira, 4 de junho de 2008	6	80	0	0	0	0	0	0	1	10
quinta-feira, 5 de junho de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 6 de junho de 2008	0	0	0	0	1	10	0	0	2	60
sábado, 7 de junho de 2008	0	0	0	0	0	0	2	60	0	0
domingo, 8 de junho de 2008	0	0	0	0	2	60	0	0	0	0
segunda-feira, 9 de junho de 2008	0	0	2	60	0	0	0	0	1	10
terça-feira, 10 de junho de 2008	2	60	0	0	0	0	10	80	14	80
quarta-feira, 11 de junho de 2008	0	0	0	0	0	0	2	60	0	0
quinta-feira, 12 de junho de 2008	0	0	4	80	5	80	0	0	0	0
sexta-feira, 13 de junho de 2008	2	60	2	60	0	0	0	0	0	0
sábado, 14 de junho de 2008	2	60	2	60	0	0	0	0	0	0
domingo, 15 de junho de 2008	2	60	0	0	0	0	0	0	0	0
segunda-feira, 16 de junho de 2008	1	10	0	0	0	0	0	0	10	80
terça-feira, 17 de junho de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	2	60
quarta-feira, 18 de junho de 2008	0	0	0	0	0	0	2	60	11	90
quinta-feira, 19 de junho de 2008	0	0	0	0	2	60	11	90	10	90
sexta-feira, 20 de junho de 2008	0	0	2	60	11	90	10	90	11	90
sábado, 21 de junho de 2008	2	60	11	90	10	90	11	90	10	90
domingo, 22 de junho de 2008	11	90	10	90	11	90	10	90	11	90
segunda-feira, 23 de junho de 2008	1	10	2	70	1	20	0	0	3	80
terça-feira, 24 de junho de 2008	5	90	2	90	0	0	2	60	11	80
quarta-feira, 25 de junho de 2008	2	90	0	0	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 26 de junho de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 27 de junho de 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sábado, 28 de junho de 2008	0	0	6	80	0	0	0	0	0	0
domingo, 29 de junho de 2008	5	70	0	0	0	0	0	0	5	80
segunda-feira, 30 de junho de 2008	0	0	0	0	0	0	5	80	0	0
terça-feira, 1 de julho de 2008	0	0	1	10	4	80	0	0	0	0
quarta-feira, 2 de julho de 2008	1	10	4	80	0	0	0	0	0	0
quinta-feira, 3 de julho de 2008	4	80	0	0	0	0	0	0	0	0
sexta-feira, 4 de julho de 2008	6	80	0	0	0	0	0	0	1	10

ANEXO 2

SÉRIES DE VAZÕES AFLUENTES DIÁRIAS EM EDGARD DE SOUZA,
PIRAPORA, RASGÃO E PORTO GÓES

Dados dos reservatórios: Edgard de Souza, Prapora, Rasão e Porto Góes, bombeamento em Pedreira e Sistema Guarani-SABESP

vação Nas vazões afluentes e efluentes de Edgard de Souza, Pirapora, Riasção e Porto Góes estão considerados os valores de bombeamento em Pedra

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ANEXO 3

NÍVEIS D'ÁGUA REGISTRADOS DIARIAMENTE NAS ESTRUTURAS

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
01/04/2007	711,55	691,84	661,50
02/04/2007	711,23	691,43	661,80
03/04/2007	711,49	691,75	661,08
04/04/2007	710,45	691,82	661,18
05/04/2007	711,74	691,72	661,40
06/04/2007	711,76	691,78	661,08
07/04/2007	710,83	691,70	661,16
08/04/2007	712,19	691,79	661,52
09/04/2007	712,20	692,20	661,86
10/04/2007	711,45	691,79	661,70
11/04/2007	711,13	691,80	661,68
12/04/2007	711,43	691,46	661,68
13/04/2007	711,43	691,40	661,11
14/04/2007	711,13	691,93	661,28
15/04/2007	710,98	691,72	661,08
16/04/2007	711,28	691,50	661,32
17/04/2007	711,32	691,48	661,48
18/04/2007	711,03	691,87	661,26
19/04/2007	711,30	691,54	661,70
20/04/2007	711,34	691,80	661,17
21/04/2007	710,18	692,64	661,04
22/04/2007	711,34	692,92	661,76
23/04/2007	711,70	691,36	661,67
24/04/2007	711,98	691,63	661,09
25/04/2007	711,05	691,84	661,84
26/04/2007	711,40	691,44	661,20
27/04/2007	711,44	691,75	661,72
28/04/2007	711,65	692,18	661,82
29/04/2007	710,90	691,84	661,84
30/04/2007	711,42	691,52	661,85
01/05/2007	711,42	691,35	661,63
02/05/2007	711,01	691,68	661,50
03/05/2007	711,42	691,47	661,64
04/05/2007	711,36	691,54	661,12
05/05/2007	711,02	691,73	661,76
06/05/2007	710,97	691,64	661,80
07/05/2007	710,56	691,87	661,53
08/05/2007	711,27	691,61	661,38
09/05/2007	711,07	691,83	661,36
10/05/2007	710,45	692,41	661,30
11/05/2007	711,16	691,80	661,58
12/05/2007	710,62	691,55	661,18
13/05/2007	710,93	691,61	661,55
14/05/2007	711,11	691,39	661,45
15/05/2007	711,26	691,53	661,86
16/05/2007	710,80	691,56	661,08
17/05/2007	711,20	691,40	661,55
18/05/2007	711,11	691,52	661,30
19/05/2007	710,77	691,76	661,50
20/05/2007	711,65	691,78	661,30
21/05/2007	711,13	691,45	661,52
22/05/2007	711,15	691,75	661,34
23/05/2007	711,43	692,66	661,50
24/05/2007	711,79	692,04	661,45
25/05/2007	711,36	691,64	661,30

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
26/05/2007	711,07	691,54	661,08
27/05/2007	710,92	691,89	661,43
28/05/2007	711,27	691,39	661,44
29/05/2007	711,34	691,58	661,36
30/05/2007	710,98	691,88	661,22
31/05/2007	711,24	691,42	660,98
01/06/2007	711,31	691,53	661,35
02/06/2007	711,05	691,82	661,41
03/06/2007	711,73	691,88	661,90
04/06/2007	711,39	691,91	661,54
05/06/2007	711,30	691,45	661,11
06/06/2007	711,33	691,73	661,58
07/06/2007	711,35	691,90	661,62
08/06/2007	711,32	691,57	661,60
09/06/2007	710,84	691,85	661,74
10/06/2007	710,96	691,48	661,47
11/06/2007	711,22	691,61	661,17
12/06/2007	711,29	691,39	661,01
13/06/2007	710,92	691,58	661,30
14/06/2007	711,24	691,48	661,40
15/06/2007	711,21	691,50	667,60
16/06/2007	711,00	691,73	661,62
17/06/2007	711,05	691,66	661,57
18/06/2007	711,15	691,47	661,52
19/06/2007	711,31	691,39	661,47
20/06/2007	710,95	692,03	661,45
21/06/2007	711,16	692,08	661,47
22/06/2007	711,19	692,32	661,34
23/06/2007	710,90	692,76	661,28
24/06/2007	710,92	692,97	660,94
25/06/2007	711,12	692,82	661,56
26/06/2007	711,24	692,33	661,13
27/06/2007	710,66	691,87	661,06
28/06/2007	711,25	691,52	661,42
29/06/2007	711,55	691,60	660,98
30/06/2007	710,97	691,63	661,40
01/07/2007	710,96	691,72	661,31
02/07/2007	711,11	691,64	661,15
03/07/2007	711,26	691,46	660,97
04/07/2007	710,95	691,64	661,10
05/07/2007	711,21	691,50	660,98
06/07/2007	711,35	691,36	661,74
07/07/2007	711,00	691,71	661,69
08/07/2007	710,98	691,67	661,69
09/07/2007	711,26	691,47	661,36
10/07/2007	711,23	691,51	661,74
11/07/2007	710,97	691,71	660,95
12/07/2007	711,27	691,52	661,10
13/07/2007	711,23	691,49	661,40
14/07/2007	710,96	691,95	661,28
15/07/2007	711,00	691,93	661,46
16/07/2007	711,27	691,32	661,30
17/07/2007	711,66	692,98	661,39
18/07/2007	711,33	692,47	661,52
19/07/2007	711,73	691,89	661,43

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
20/07/2007	711,37	691,63	661,19
21/07/2007	711,05	691,66	661,55
22/07/2007	710,95	691,87	661,17
23/07/2007	711,24	691,45	661,16
24/07/2007	704,00	693,23	661,65
25/07/2007	711,97	691,88	661,47
26/07/2007	710,30	693,00	661,60
27/07/2007	711,41	692,77	661,52
28/07/2007	711,50	692,77	661,40
29/07/2007	711,48	692,70	661,41
30/07/2007	711,42	692,43	661,77
31/07/2007	711,44	692,12	661,88
01/08/2007	710,92	691,83	662,01
02/08/2007	711,36	691,47	661,07
03/08/2007	711,35	691,54	661,70
04/08/2007	711,03	691,76	661,70
05/08/2007	711,02	691,85	661,68
06/08/2007	711,28	691,33	661,83
07/08/2007	711,30	691,54	661,60
08/08/2007	710,05	691,78	661,41
09/08/2007	711,22	691,42	661,44
10/08/2007	711,22	691,47	661,38
11/08/2007	711,06	691,92	661,45
12/08/2007	710,92	691,86	661,07
13/08/2007	711,22	691,40	661,20
14/08/2007	711,24	691,54	661,02
15/08/2007	711,14	692,02	661,70
16/08/2007	711,31	691,71	661,80
17/08/2007	711,26	692,00	661,78
18/08/2007	711,06	692,12	661,80
19/08/2007	710,88	692,37	661,62
20/08/2007	711,12	692,37	661,78
21/08/2007	711,21	692,67	661,69
22/08/2007	711,16	692,94	661,54
23/08/2007	711,18	692,89	661,52
24/08/2007	711,19	692,63	661,70
25/08/2007	710,95	692,21	661,34
26/08/2007	710,88	691,88	661,75
27/08/2007	711,18	691,62	661,74
28/08/2007	711,34	691,64	661,90
29/08/2007	710,96	691,83	661,76
30/08/2007	711,24	691,62	661,79
31/08/2007	711,23	691,53	661,25
01/09/2007	710,94	692,02	661,46
02/09/2007	711,20	691,98	661,64
03/09/2007	711,66	691,58	661,44
04/09/2007	711,61	691,92	661,70
05/09/2007	710,96	691,81	661,73
06/09/2007	711,32	691,59	661,70
07/09/2007	711,34	691,67	661,85
08/09/2007	710,96	691,89	661,56
09/09/2007	710,86	691,54	661,41
10/09/2007	711,17	691,50	661,61
11/09/2007	711,20	691,56	660,97
12/09/2007	710,95	691,70	661,72

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
13/09/2007	711,30	691,46	661,18
14/09/2007	711,16	691,58	661,65
15/09/2007	710,78	691,80	661,83
16/09/2007	711,02	691,85	661,20
17/09/2007	711,21	691,47	661,70
18/09/2007	711,19	691,55	660,48
19/09/2007	710,65	691,58	661,30
20/09/2007	711,15	691,64	661,34
21/09/2007	711,07	692,04	661,39
22/09/2007	711,16	692,37	660,71
23/09/2007	710,87	692,63	660,39
24/09/2007	710,93	692,75	660,50
25/09/2007	711,30	692,10	661,69
26/09/2007	710,59	691,74	661,54
27/09/2007	711,32	691,40	661,52
28/09/2007	711,11	691,58	661,62
29/09/2007	711,08	691,87	661,83
30/09/2007	711,02	691,59	661,06
01/10/2007	711,26	691,58	661,05
02/10/2007	711,34	691,41	661,80
03/10/2007	711,01	691,78	661,55
04/10/2007	711,32	691,66	661,57
05/10/2007	711,28	691,53	661,57
06/10/2007	711,03	691,79	661,37
07/10/2007	711,04	691,76	661,34
08/10/2007	711,25	691,62	661,44
09/10/2007	711,28	691,59	661,14
10/10/2007	711,00	691,85	661,78
11/10/2007	711,24	691,40	661,50
12/10/2007	711,37	691,53	661,08
13/10/2007	710,98	691,94	661,27
14/10/2007	710,91	692,04	661,37
15/10/2007	711,36	691,39	661,72
16/10/2007	711,26	691,35	661,56
17/10/2007	711,19	692,00	661,04
18/10/2007	711,24	692,02	661,31
19/10/2007	711,13	691,62	661,57
20/10/2007	711,03	691,86	661,40
21/10/2007	710,94	691,77	661,48
22/10/2007	711,50	691,57	660,92
23/10/2007	711,30	691,62	661,79
24/10/2007	710,81	691,76	661,64
25/10/2007	711,40	692,54	661,13
26/10/2007	711,80	692,96	661,35
27/10/2007	711,54	692,24	661,84
28/10/2007	711,15	691,56	661,76
29/10/2007	711,57	691,73	661,70
30/10/2007	711,60	692,39	661,23
31/10/2007	711,07	692,84	661,99
01/11/2007	711,79	691,75	661,54
02/11/2007	711,85	691,72	661,80
03/11/2007	711,55	691,52	661,71
04/11/2007	711,27	691,72	661,55
05/11/2007	711,98	692,01	661,64
06/11/2007	711,56	691,87	661,36

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
07/11/2007	711,29	692,04	661,40
08/11/2007	711,50	691,91	661,62
09/11/2007	661,12	692,02	661,66
10/11/2007	711,62	692,91	661,81
11/11/2007	711,10	692,07	661,90
12/11/2007	711,79	691,57	661,57
13/11/2007	711,63	691,36	661,63
14/11/2007	711,16	692,09	661,50
15/11/2007	711,12	691,77	661,83
16/11/2007	711,93	691,44	661,62
17/11/2007	711,53	691,50	661,74
18/11/2007	711,50	691,76	661,73
19/11/2007	711,47	691,64	661,81
20/11/2007	711,56	692,79	661,65
21/11/2007	711,60	691,65	661,66
22/11/2007	711,56	691,48	661,90
23/11/2007	661,60	691,79	661,78
24/11/2007	711,42	691,48	661,88
25/11/2007	710,99	691,83	661,54
26/11/2007	711,34	691,60	661,65
27/11/2007	711,97	691,93	661,85
28/11/2007	710,95	691,72	661,89
29/11/2007	711,26	691,51	661,50
30/11/2007	661,50	691,58	660,98
01/12/2007	711,35	691,34	661,00
02/12/2007	711,04	691,65	661,39
03/12/2007	710,71	692,08	661,68
04/12/2007	711,14	691,87	661,78
05/12/2007	711,22	691,78	661,72
06/12/2007	711,56	691,59	661,30
07/12/2007	712,35	691,68	661,12
08/12/2007	711,88	692,99	661,37
09/12/2007	711,68	691,43	661,41
10/12/2007	711,79	691,40	661,48
11/12/2007	712,01	691,75	661,26
12/12/2007	711,13	691,64	661,80
13/12/2007	712,12	692,04	661,49
14/12/2007	711,67	692,35	661,50
15/12/2007	711,00	691,88	661,46
16/12/2007	711,11	691,89	661,66
17/12/2007	711,33	691,77	661,24
18/12/2007	711,34	691,51	661,68
19/12/2007	711,07	691,92	661,32
20/12/2007	708,93	693,51	660,40
21/12/2007	711,82	692,28	661,39
22/12/2007	711,76	691,71	661,49
23/12/2007	711,60	691,81	661,52
24/12/2007	711,70	691,77	661,85
25/12/2007	711,48	691,75	661,76
26/12/2007	711,65	692,02	661,74
27/12/2007	711,46	691,55	661,87
28/12/2007	711,43	691,50	661,35
29/12/2007	710,97	691,97	661,60
30/12/2007	711,09	691,86	661,69
31/12/2007	711,25	691,50	661,64

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
01/01/2008	711,32	691,71	661,78
02/01/2008	710,98	691,96	660,98
03/01/2008	711,67	691,71	661,59
04/01/2008	711,94	691,71	661,50
05/01/2008	711,55	692,29	661,43
06/01/2008	711,75	691,82	661,65
07/01/2008	711,52	691,75	661,88
08/01/2008	711,04	691,88	661,19
09/01/2008	711,16	691,68	661,46
10/01/2008	711,45	691,50	661,10
11/01/2008	711,28	691,50	661,45
12/01/2008	711,03	691,56	661,66
13/01/2008	712,10	691,80	661,82
14/01/2008	712,01	691,83	661,39
15/01/2008	704,00	691,99	661,48
16/01/2008	711,70	691,83	661,42
17/01/2008	711,90	691,69	661,93
18/01/2008	711,98	691,44	661,48
19/01/2008	711,93	691,75	661,30
20/01/2008	712,00	691,82	661,46
21/01/2008	704,64	692,48	661,30
22/01/2008	711,85	691,98	661,94
23/01/2008	711,97	691,78	661,99
24/01/2008	711,90	691,62	661,62
25/01/2008	711,77	691,86	661,45
26/01/2008	711,98	691,37	661,41
27/01/2008	711,60	691,61	661,30
28/01/2008	710,82	691,87	661,00
29/01/2008	711,61	691,58	660,98
30/01/2008	704,00	693,49	661,28
31/01/2008	711,85	691,76	661,39
01/02/2008	711,93	691,97	661,76
02/02/2008	711,70	691,65	661,65
03/02/2008	711,71	691,81	661,54
04/02/2008	712,10	691,87	661,57
05/02/2008	711,68	691,84	661,96
06/02/2008	711,68	692,35	661,20
07/02/2008	711,64	691,65	661,52
08/02/2008	712,09	691,67	661,70
09/02/2008	711,67	691,54	661,48
10/02/2008	711,22	692,02	661,71
11/02/2008	711,89	691,54	661,85
12/02/2008	711,75	691,42	661,40
13/02/2008	712,13	691,59	661,72
14/02/2008	711,66	691,82	661,66
15/02/2008	711,82	692,02	661,75
16/02/2008	711,69	692,03	661,49
17/02/2008	711,37	692,03	661,59
18/02/2008	710,68	691,46	660,50
19/02/2008	711,27	691,49	661,20
20/02/2008	711,77	691,96	661,87
21/02/2008	711,67	691,64	661,83
22/02/2008	711,62	691,85	661,50
23/02/2008	711,76	691,59	661,58
24/02/2008	712,03	691,91	661,64

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
25/02/2008	704,00	692,07	661,45
26/02/2008	711,68	691,36	661,71
27/02/2008	711,25	691,79	661,81
28/02/2008	711,57	691,85	661,44
29/02/2008	711,54	691,83	661,36
01/03/2008	711,15	691,80	661,58
02/03/2008	711,22	691,99	661,59
03/03/2008	711,38	691,39	661,23
04/03/2008	711,33	691,61	661,02
05/03/2008	710,98	691,86	661,01
06/03/2008	711,23	691,44	661,46
07/03/2008	711,32	691,67	661,40
08/03/2008	711,07	691,89	661,16
09/03/2008	711,25	691,99	661,60
10/03/2008	711,93	691,68	661,38
11/03/2008	711,59	691,47	661,28
12/03/2008	711,27	691,67	661,65
13/03/2008	711,54	691,72	661,38
14/03/2008	711,63	693,44	661,42
15/03/2008	711,41	691,79	661,80
16/03/2008	711,43	691,73	661,40
17/03/2008	711,53	691,52	661,22
18/03/2008	704,00	692,46	661,04
19/03/2008	711,72	692,00	661,63
20/03/2008	711,59	691,75	661,91
21/03/2008	711,87	691,69	661,72
22/03/2008	711,87	691,45	661,80
23/03/2008	712,40	691,62	661,88
24/03/2008	710,75	691,98	661,53
25/03/2008	711,52	691,61	661,86
26/03/2008	711,09	691,72	661,69
27/03/2008	711,42	691,73	661,56
28/03/2008	711,71	692,07	661,42
29/03/2008	711,07	691,63	661,80
30/03/2008	711,09	691,06	661,40
31/03/2008	711,44	691,77	661,08
01/04/2008	711,43	691,68	661,49
02/04/2008	711,06	691,96	661,67
03/04/2008	711,41	691,80	661,58
04/04/2008	711,50	693,19	661,10
05/04/2008	711,23	692,41	661,48
06/04/2008	711,26	691,79	661,80
07/04/2008	711,88	691,80	661,44
08/04/2008	711,65	692,29	661,42
09/04/2008	710,92	691,86	661,59
10/04/2008	711,53	691,77	661,46
11/04/2008	711,65	691,95	661,10
12/04/2008	711,22	691,91	661,29
13/04/2008	711,28	692,03	661,36
14/04/2008	711,71	691,45	661,53
15/04/2008	711,49	692,18	661,75
16/04/2008	711,27	691,74	661,40
17/04/2008	711,57	691,53	661,80
18/04/2008	711,53	691,54	661,05
19/04/2008	711,08	691,73	661,51

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
20/04/2008	711,11	691,85	661,44
21/04/2008	711,72	691,96	661,32
22/04/2008	711,70	691,58	661,39
23/04/2008	711,91	691,70	661,40
24/04/2008	711,48	691,64	661,91
25/04/2008	711,42	692,02	661,10
26/04/2008	711,34	692,71	661,39
27/04/2008	711,10	693,22	661,36
28/04/2008	711,35	692,12	661,48
29/04/2008	711,52	691,38	661,72
30/04/2008	711,69	691,56	661,08
01/05/2008	711,54	691,73	661,35
02/05/2008	711,58	691,65	661,41
03/05/2008	711,73	692,24	661,55
04/05/2008	711,80	691,95	661,63
05/05/2008	711,62	691,69	661,41
06/05/2008	711,56	691,67	661,47
07/05/2008	711,20	691,81	661,69
08/05/2008	711,45	691,48	661,60
09/05/2008	711,48	691,76	661,50
10/05/2008	711,12	691,55	661,60
11/05/2008	711,12	691,79	661,50
12/05/2008	711,37	691,66	661,68
13/05/2008	711,45	691,60	661,26
14/05/2008	711,12	691,80	661,78
15/05/2008	711,46	691,55	661,49
16/05/2008	711,39	691,61	661,30
17/05/2008	711,00	691,73	661,41
18/05/2008	711,03	691,61	661,30
19/05/2008	711,33	691,82	661,84
20/05/2008	711,33	691,69	661,94
21/05/2008	711,06	692,01	661,43
22/05/2008	711,32	691,53	661,75
23/05/2008	711,32	691,79	661,90
24/05/2008	710,96	691,88	661,54
25/05/2008	710,92	691,80	661,65
26/05/2008	711,28	691,78	661,30
27/05/2008	711,30	691,75	661,49
28/05/2008	710,91	691,93	661,29
29/05/2008	711,27	691,57	661,87
30/05/2008	711,26	691,61	661,89
31/05/2008	711,46	691,86	661,46
01/06/2008	710,97	691,60	661,26
02/06/2008	711,53	691,51	661,62
03/06/2008	711,46	691,51	661,50
04/06/2008	711,10	691,89	661,32
05/06/2008	711,28	693,34	661,25
06/06/2008	711,58	692,15	661,60
07/06/2008	711,19	691,60	661,50
08/06/2008	711,25	691,95	661,27
09/06/2008	711,43	691,57	660,79
10/06/2008	711,42	691,45	661,15
11/06/2008	711,08	691,96	661,30
12/06/2008	711,36	691,51	661,23
13/06/2008	711,37	691,34	661,50

Níveis dos reservatórios
Edgard de Souza , Pirapora e Rasgão
registro a 0:00 hora fonte: EMAE

	Edgard de Souza	Pirapora	Rasgão
14/06/2008	711,00	691,82	661,58
15/06/2008	711,16	692,33	661,57
16/06/2008	711,98	692,64	661,77
17/06/2008	711,40	692,71	661,48
18/06/2008	711,04	692,96	661,56
19/06/2008	711,32	692,85	661,35
20/06/2008	711,31	692,96	661,61
21/06/2008	711,16	693,00	661,76
22/06/2008	711,23	693,03	661,80
23/06/2008	711,28	692,89	661,65
24/06/2008	711,33	692,80	661,89
25/06/2008	711,02	693,02	661,80
26/06/2008	711,30	692,81	661,70
27/06/2008	711,28	692,82	661,21
28/06/2008	710,94	692,96	661,70
29/06/2008	711,00	692,94	661,65
30/06/2008	711,26	692,75	661,65
01/07/2008	711,27	692,76	661,48
02/07/2008	710,90	692,95	661,56
03/07/2008	711,25	692,85	661,41
04/07/2008	711,32	692,78	661,61
05/07/2008	711,05	692,95	661,99
06/07/2008	710,93	692,84	661,32
07/07/2008	711,23	692,68	661,25
08/07/2008	711,27	692,67	661,30
09/07/2008	710,92	692,88	661,74
10/07/2008	711,26	692,79	661,75
11/07/2008	711,30	692,80	661,70
12/07/2008	710,88	693,08	661,93
13/07/2008	710,48	693,01	661,88
14/07/2008	711,12	692,65	661,94
15/07/2008	711,19	692,80	661,60
16/07/2008	710,93	692,93	661,30
17/07/2008	711,17	692,88	661,48
18/07/2008	711,18	692,55	661,30
19/07/2008	711,06	692,36	661,49
20/07/2008	710,82	692,49	661,80
21/07/2008	711,36	692,12	661,64
22/07/2008	711,33	691,91	661,44
23/07/2008	711,00	691,77	661,62
24/07/2008	711,24	691,52	661,77
25/07/2008	711,24	691,44	661,77
26/07/2008	710,88	691,85	661,77
27/07/2008	711,06	691,87	661,20
28/07/2008	711,20	691,49	661,72
29/07/2008	711,29	691,72	661,75

ANEXO 4

PARES COTA X VOLUME PARA OS RESERVATÓRIOS DE EDGARD DE SOUZA,
PIRAPORA, RASGÃO E PORTO GÓES



Reservatório: Pirapora
 Empresa: EMAE
 Rio: Tietê

NA Mínimo Operacional: 692,00m
 NA Máximo Operacional: 698,00m
 NA Max Maximorum: 698,00m

Volume Mínimo Operacional: 19,410hm³
 Volume Máximo Operacional: 69,570hm³
 Volume Útil: 50,160hm³

OBS: os volumes estão expressos em hm³

COTAS = RN EPUSP

Cota(m)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
689,10	4,217	4,242	4,267	4,292	4,317	4,342	4,368	4,393	4,418	4,443
689,20	4,468	4,496	4,524	4,551	4,579	4,606	4,634	4,662	4,689	4,717
689,30	4,744	4,772	4,800	4,827	4,855	4,883	4,910	4,938	4,965	4,993
689,40	5,021	5,051	5,081	5,111	5,141	5,172	5,202	5,232	5,262	5,293
689,50	5,323	5,353	5,383	5,413	5,444	5,474	5,504	5,534	5,565	5,595
689,60	5,625	5,658	5,692	5,725	5,758	5,791	5,825	5,858	5,891	5,924
689,70	5,958	5,991	6,024	6,057	6,091	6,124	6,157	6,191	6,224	6,257
689,80	6,290	6,327	6,364	6,400	6,437	6,474	6,511	6,547	6,584	6,621
689,90	6,657	6,694	6,731	6,768	6,804	6,841	6,878	6,914	6,951	6,988
690,00	7,024	7,068	7,111	7,154	7,198	7,241	7,284	7,327	7,371	7,414
690,10	7,457	7,500	7,544	7,587	7,630	7,673	7,717	7,760	7,803	7,846
690,20	7,890	7,938	7,987	8,036	8,084	8,133	8,182	8,230	8,279	8,328
690,30	8,376	8,425	8,474	8,523	8,571	8,620	8,669	8,717	8,766	8,815
690,40	8,863	8,917	8,971	9,024	9,078	9,132	9,185	9,239	9,293	9,346
690,50	9,400	9,454	9,507	9,561	9,615	9,668	9,722	9,776	9,829	9,883
690,60	9,937	9,995	10,053	10,112	10,170	10,229	10,287	10,345	10,404	10,462
690,70	10,521	10,579	10,637	10,696	10,754	10,813	10,871	10,929	10,988	11,046
690,80	11,105	11,168	11,231	11,295	11,358	11,422	11,485	11,549	11,612	11,676
690,90	11,739	11,802	11,866	11,929	11,993	12,056	12,120	12,183	12,246	12,310
691,00	12,373	12,441	12,508	12,575	12,643	12,710	12,777	12,845	12,912	12,979
691,10	13,047	13,114	13,181	13,248	13,316	13,383	13,450	13,518	13,585	13,652
691,20	13,720	13,789	13,858	13,927	13,996	14,064	14,133	14,202	14,271	14,340
691,30	14,409	14,478	14,547	14,616	14,685	14,754	14,823	14,892	14,961	15,030
691,40	15,099	15,169	15,240	15,310	15,381	15,451	15,522	15,592	15,663	15,733
691,50	15,803	15,874	15,944	16,015	16,085	16,156	16,226	16,297	16,367	16,438
691,60	16,508	16,580	16,652	16,724	16,796	16,868	16,939	17,011	17,083	17,155
691,70	17,227	17,299	17,371	17,443	17,515	17,586	17,658	17,730	17,802	17,874
691,80	17,946	18,019	18,092	18,166	18,239	18,312	18,385	18,458	18,532	18,605
691,90	18,678	18,751	18,824	18,898	18,971	19,044	19,117	19,190	19,264	19,337
692,00	19,410	19,485	19,561	19,636	19,711	19,786	19,862	19,937	20,012	20,088
692,10	20,163	20,238	20,314	20,389	20,464	20,540	20,615	20,690	20,765	20,841
692,20	20,916	20,992	21,068	21,144	21,220	21,297	21,373	21,449	21,525	21,601
692,30	21,677	21,753	21,829	21,905	21,981	22,058	22,134	22,210	22,286	22,362
692,40	22,438	22,514	22,591	22,667	22,743	22,820	22,896	22,972	23,049	23,125
692,50	23,201	23,278	23,354	23,430	23,507	23,583	23,659	23,736	23,812	23,888
692,60	23,965	24,043	24,121	24,199	24,277	24,355	24,433	24,511	24,589	24,667
692,70	24,745	24,823	24,901	24,979	25,057	25,135	25,213	25,291	25,369	25,447
692,80	25,525	25,603	25,681	25,759	25,837	25,915	25,993	26,071	26,149	26,228
692,90	26,306	26,384	26,462	26,540	26,618	26,696	26,774	26,852	26,930	27,008
693,00	27,087	27,165	27,244	27,323	27,401	27,480	27,559	27,637	27,716	27,795
693,10	27,873	27,952	28,031	28,109	28,188	28,267	28,345	28,424	28,503	28,581
693,20	28,660	28,739	28,819	28,898	28,977	29,056	29,136	29,215	29,294	29,373
693,30	29,453	29,532	29,611	29,690	29,770	29,849	29,928	30,007	30,087	30,166
693,40	30,245	30,325	30,405	30,485	30,564	30,644	30,724	30,804	30,884	30,963
693,50	31,043	31,123	31,203	31,283	31,363	31,442	31,522	31,602	31,682	31,762
693,60	31,842	31,922	32,002	32,083	32,163	32,243	32,324	32,404	32,484	32,565
693,70	32,645	32,726	32,806	32,886	32,967	33,047	33,127	33,208	33,288	33,368
693,80	33,449	33,530	33,611	33,692	33,772	33,853	33,934	34,015	34,096	34,177
693,90	34,258	34,339	34,420	34,501	34,582	34,663	34,744	34,824	34,905	34,986
694,00	35,067	35,150	35,232	35,314	35,396	35,479	35,561	35,643	35,726	35,808
694,10	35,890	35,972	36,055	36,137	36,219	36,302	36,384	36,466	36,548	36,631
694,20	36,713	36,796	36,879	36,961	37,044	37,127	37,209	37,292	37,375	37,458
694,30	37,540	37,623	37,706	37,789	37,871	37,954	38,037	38,119	38,202	38,285
694,40	38,368	38,453	38,538	38,623	38,704	38,786	38,868	38,950	39,032	39,114
694,50	39,041	39,108	39,175	39,243	39,310	39,377	39,445	39,512	39,579	39,647
694,60	39,714	39,830	39,947	40,063	40,180	40,296	40,412	40,529	40,645	40,762
694,70	40,878	40,994	41,111	41,227	41,344	41,460	41,576	41,693	41,809	41,925
694,80	42,042	42,126	42,211	42,295	42,380	42,464	42,549	42,633	42,718	42,802
694,90	42,887	42,971	43,056	43,140	43,224	43,309	43,393	43,478	43,562	43,647
695,00	43,731	43,816	43,901	43,986	44,071	44,155	44,240	44,325	44,410	44,495
695,10	44,580	44,665	44,749	44,834	44,919	45,004	45,089	45,174	45,258	45,343



Reservatório: Pirapora
 Empresa: EMAE
 Rio: Tietê

NA Mínimo Operacional: 692,00m
 NA Máximo Operacional: 698,00m
 NA Max Maximorum: 698,00m

Volume Mínimo Operacional: 19,410hm³
 Volume Máximo Operacional: 69,570hm³
 Volume Útil: 50,160hm³

OBS: os volumes estão expressos em hm³

COTAS = RN EPUSP

Cota(m)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
695,20	45,428	45,496	45,563	45,631	45,699	45,766	45,834	45,902	45,969	46,037
695,30	46,105	46,172	46,240	46,308	46,375	46,443	46,510	46,578	46,646	46,713
695,40	46,781	46,867	46,952	47,038	47,123	47,209	47,294	47,380	47,465	47,550
695,50	47,636	47,721	47,807	47,892	47,978	48,063	48,149	48,234	48,320	48,405
695,60	48,491	48,577	48,663	48,748	48,834	48,920	49,006	49,092	49,178	49,264
695,70	49,349	49,435	49,521	49,607	49,693	49,779	49,865	49,950	50,036	50,122
695,80	50,208	50,294	50,380	50,467	50,553	50,639	50,725	50,811	50,898	50,984
695,90	51,070	51,156	51,242	51,329	51,415	51,501	51,587	51,673	51,760	51,846
696,00	51,932	52,019	52,105	52,192	52,278	52,365	52,451	52,538	52,624	52,711
696,10	52,798	52,884	52,971	53,057	53,144	53,230	53,317	53,403	53,490	53,577
696,20	53,663	53,750	53,837	53,924	54,011	54,098	54,185	54,272	54,358	54,445
696,30	54,532	54,619	54,706	54,793	54,880	54,967	55,054	55,141	55,228	55,315
696,40	55,401	55,489	55,576	55,663	55,751	55,838	55,925	56,012	56,100	56,187
696,50	56,274	56,361	56,449	56,536	56,623	56,711	56,798	56,885	56,972	57,060
696,60	57,147	57,235	57,322	57,410	57,497	57,585	57,673	57,760	57,848	57,936
696,70	58,023	58,111	58,198	58,286	58,374	58,461	58,549	58,637	58,724	58,812
696,80	58,899	58,987	59,075	59,163	59,251	59,339	59,427	59,515	59,603	59,691
696,90	59,779	59,867	59,955	60,043	60,131	60,219	60,307	60,395	60,483	60,571
697,00	60,659	60,747	60,836	60,924	61,012	61,101	61,189	61,277	61,366	61,454
697,10	61,542	61,631	61,719	61,807	61,896	61,984	62,072	62,161	62,249	62,338
697,20	62,426	62,515	62,603	62,692	62,781	62,869	62,958	63,047	63,136	63,224
697,30	63,313	63,402	63,490	63,579	63,668	63,757	63,845	63,934	64,023	64,112
697,40	64,200	64,289	64,378	64,468	64,557	64,646	64,735	64,824	64,913	65,002
697,50	65,091	65,180	65,269	65,359	65,448	65,537	65,626	65,715	65,804	65,893
697,60	65,982	66,072	66,161	66,251	66,340	66,430	66,519	66,609	66,698	66,788
697,70	66,877	66,967	67,056	67,146	67,235	67,324	67,414	67,503	67,593	67,682
697,80	67,772	67,862	67,952	68,042	68,132	68,221	68,311	68,401	68,491	68,581
697,90	68,671	68,761	68,851	68,941	69,031	69,121	69,210	69,300	69,390	69,480
698,00	69,570	69,660	69,751	69,841	69,932	70,022	70,112	70,203	70,293	70,383
698,10	70,474	70,564	70,654	70,745	70,835	70,925	71,016	71,106	71,196	71,287
698,20	71,377	71,468	71,559	71,650	71,740	71,831	71,922	72,013	72,104	72,194
698,30	72,285	72,376	72,467	72,558	72,649	72,739	72,830	72,921	73,012	73,103
698,40	73,193	73,285	73,376	73,467	73,559	73,650	73,741	73,832	73,924	74,015
698,50	74,106	74,197	74,289	74,380	74,471	74,563	74,654	74,745	74,836	74,928
698,60	75,019	75,111	75,203	75,294	75,386	75,478	75,570	75,662	75,753	75,845
698,70	75,937	76,029	76,121	76,212	76,304	76,396	76,488	76,580	76,672	76,763
698,80	76,855	76,947	77,040	77,132	77,225	77,317	77,409	77,502	77,594	77,686
698,90	77,779	77,871	77,963	78,056	78,148	78,240	78,333	78,425	78,517	78,610
699,00	78,702									

COEFICIENTES POLINÔMIO COTA = FUNÇÃO(VOLUME)

RN EPUSP

A0 = 6,874640E+02

A1 = 3,913465E-01

A2 = -1,108424E-02

A3 = 1,866319E-04

A4 = -1,106545E-06

validade do polinômio: 688,00m ≤ cota ≤ 698,00m



Reservatório: Rasgão

Empresa: EMAE

Rio: Tietê

NA Mínimo Operacional: 660,00m

NA Máximo Operacional: 661,60m

NA Max Maximorum: 662,00m

Volume Mínimo Operacional: 3,426hm³

Volume Máximo Operacional: 5,103hm³

Volume Útil: 1,677hm³

OBS: os volumes estão expressos em hm³

COTAS = RN EPUSP

Cota(m)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
646,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
646,10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
646,20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
646,30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
646,40	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
646,50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
646,60	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
646,70	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
646,80	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
646,90	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
647,00	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
647,10	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
647,20	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
647,30	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
647,40	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
647,50	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
647,60	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
647,70	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
647,80	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
647,90	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005
648,00	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
648,10	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
648,20	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
648,30	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
648,40	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
648,50	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
648,60	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
648,70	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
648,80	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
648,90	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
649,00	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
649,10	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016
649,20	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
649,30	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
649,40	0,019	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,021	0,021	0,021	0,021
649,50	0,021	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023
649,60	0,023	0,024	0,024	0,024	0,024	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
649,70	0,026	0,026	0,026	0,026	0,027	0,027	0,027	0,027	0,028	0,028
649,80	0,028	0,028	0,029	0,029	0,029	0,029	0,030	0,030	0,030	0,030
649,90	0,031	0,031	0,031	0,031	0,032	0,032	0,032	0,032	0,033	0,033
650,00	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,035	0,035	0,035	0,036	0,036
650,10	0,036	0,036	0,037	0,037	0,037	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
650,20	0,039	0,039	0,040	0,040	0,040	0,041	0,041	0,041	0,042	0,042
650,30	0,042	0,042	0,043	0,043	0,043	0,044	0,044	0,044	0,045	0,045
650,40	0,045	0,046	0,046	0,046	0,047	0,047	0,048	0,048	0,048	0,048
650,50	0,049	0,049	0,050	0,050	0,050	0,051	0,051	0,051	0,052	0,052
650,60	0,053	0,053	0,053	0,054	0,054	0,054	0,055	0,055	0,056	0,056
650,70	0,056	0,057	0,057	0,058	0,058	0,058	0,059	0,059	0,060	0,060
650,80	0,060	0,061	0,061	0,062	0,062	0,063	0,063	0,063	0,064	0,064
650,90	0,065	0,065	0,066	0,066	0,067	0,067	0,067	0,068	0,068	0,068



Reservatório: Rasgão
 Empresa: EMAE
 Rio: Tietê

NA Mínimo Operacional: 660,00m
 NA Máximo Operacional: 661,60m
 NA Max Maximorum: 662,00m

Volume Mínimo Operacional: 3,426hm³
 Volume Máximo Operacional: 5,103hm³
 Volume Útil: 1,677hm³

OBS: os volumes estão expressos em hm³

COTAS = RN EPUSP

Cota(m)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
651,00	0,069	0,070	0,070	0,071	0,071	0,072	0,072	0,073	0,073	0,074
651,10	0,074	0,075	0,075	0,076	0,076	0,076	0,077	0,077	0,078	0,079
651,20	0,079	0,079	0,080	0,081	0,081	0,082	0,082	0,083	0,083	0,084
651,30	0,084	0,085	0,086	0,086	0,087	0,087	0,088	0,088	0,089	0,090
651,40	0,090	0,091	0,091	0,092	0,093	0,093	0,094	0,094	0,095	0,096
651,50	0,096	0,097	0,098	0,098	0,099	0,100	0,100	0,101	0,101	0,102
651,60	0,103	0,103	0,104	0,105	0,106	0,106	0,107	0,108	0,108	0,109
651,70	0,110	0,110	0,111	0,112	0,113	0,113	0,114	0,115	0,115	0,116
651,80	0,117	0,118	0,118	0,119	0,120	0,121	0,121	0,122	0,123	0,124
651,90	0,125	0,125	0,126	0,127	0,128	0,128	0,129	0,130	0,131	0,132
652,00	0,132	0,133	0,134	0,135	0,136	0,137	0,137	0,138	0,139	0,140
652,10	0,141	0,142	0,143	0,143	0,144	0,145	0,146	0,147	0,148	0,149
652,20	0,149	0,150	0,151	0,152	0,153	0,154	0,155	0,156	0,157	0,158
652,30	0,159	0,160	0,161	0,162	0,162	0,163	0,164	0,165	0,166	0,167
652,40	0,168	0,169	0,170	0,171	0,172	0,173	0,174	0,175	0,176	0,177
652,50	0,178	0,179	0,180	0,181	0,182	0,183	0,184	0,185	0,186	0,187
652,60	0,188	0,189	0,191	0,192	0,193	0,194	0,195	0,196	0,197	0,198
652,70	0,199	0,200	0,202	0,203	0,204	0,205	0,206	0,207	0,208	0,209
652,80	0,210	0,212	0,213	0,214	0,215	0,216	0,218	0,219	0,220	0,221
652,90	0,223	0,224	0,225	0,226	0,227	0,229	0,230	0,231	0,232	0,233
653,00	0,235	0,236	0,237	0,239	0,240	0,241	0,243	0,244	0,245	0,246
653,10	0,248	0,249	0,251	0,252	0,253	0,255	0,256	0,257	0,259	0,260
653,20	0,261	0,263	0,264	0,266	0,267	0,269	0,271	0,272	0,274	0,275
653,30	0,277	0,278	0,280	0,281	0,283	0,284	0,286	0,287	0,289	0,290
653,40	0,292	0,293	0,295	0,297	0,298	0,300	0,302	0,303	0,305	0,306
653,50	0,308	0,310	0,312	0,313	0,315	0,317	0,318	0,320	0,322	0,323
653,60	0,325	0,327	0,329	0,331	0,332	0,334	0,336	0,338	0,340	0,341
653,70	0,343	0,345	0,347	0,349	0,350	0,352	0,354	0,356	0,358	0,359
653,80	0,361	0,363	0,365	0,367	0,369	0,371	0,373	0,375	0,377	0,378
653,90	0,381	0,383	0,385	0,387	0,389	0,391	0,393	0,395	0,397	0,398
654,00	0,401	0,403	0,405	0,407	0,409	0,411	0,413	0,415	0,417	0,418
654,10	0,422	0,424	0,426	0,428	0,430	0,432	0,434	0,436	0,439	0,441
654,20	0,443	0,445	0,447	0,450	0,452	0,454	0,456	0,459	0,461	0,463
654,30	0,465	0,468	0,470	0,472	0,474	0,477	0,479	0,481	0,483	0,485
654,40	0,488	0,490	0,493	0,495	0,498	0,500	0,503	0,505	0,507	0,510
654,50	0,512	0,515	0,517	0,519	0,522	0,524	0,527	0,529	0,532	0,534
654,60	0,536	0,539	0,542	0,544	0,547	0,549	0,552	0,554	0,557	0,559
654,70	0,562	0,565	0,567	0,570	0,572	0,575	0,578	0,580	0,583	0,585
654,80	0,588	0,591	0,593	0,596	0,599	0,601	0,604	0,607	0,610	0,612
654,90	0,615	0,618	0,620	0,623	0,626	0,629	0,631	0,634	0,637	0,640
655,00	0,642	0,645	0,648	0,651	0,654	0,656	0,659	0,662	0,665	0,668
655,10	0,671	0,674	0,676	0,679	0,682	0,685	0,688	0,691	0,694	0,697
655,20	0,699	0,702	0,705	0,708	0,711	0,714	0,717	0,720	0,723	0,726
655,30	0,729	0,732	0,735	0,738	0,741	0,744	0,747	0,750	0,753	0,756
655,40	0,759	0,762	0,765	0,769	0,772	0,775	0,778	0,781	0,784	0,787
655,50	0,791	0,794	0,797	0,800	0,803	0,806	0,809	0,813	0,816	0,819
655,60	0,822	0,825	0,829	0,832	0,835	0,839	0,842	0,845	0,848	0,851
655,70	0,855	0,858	0,862	0,865	0,868	0,872	0,875	0,878	0,882	0,885
655,80	0,888	0,892	0,895	0,899	0,902	0,906	0,909	0,913	0,916	0,919
655,90	0,923	0,927	0,930	0,934	0,937	0,941	0,944	0,948	0,951	0,955



Reservatório: Rasgão

Empresa: EMAE

Rio: Tietê

NA Mínimo Operacional: 660,00m

NA Máximo Operacional: 661,60m

NA Max Maximorum: 662,00m

Volume Mínimo Operacional: 3,426hm³

Volume Máximo Operacional: 5,103hm³

Volume Útil: 1,677hm³

OBS: os volumes estão expressos em hm³

COTAS = RN EPUSP

Cota(m)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
656,00	0,958	0,962	0,965	0,969	0,973	0,977	0,980	0,984	0,988	0,992
656,10	0,995	0,999	1,002	1,006	1,010	1,013	1,017	1,021	1,025	1,029
656,20	1,032	1,036	1,040	1,044	1,047	1,051	1,055	1,059	1,063	1,067
656,30	1,071	1,075	1,079	1,083	1,086	1,090	1,094	1,098	1,102	1,106
656,40	1,110	1,114	1,118	1,122	1,126	1,130	1,134	1,139	1,143	1,147
656,50	1,151	1,155	1,159	1,163	1,167	1,171	1,175	1,180	1,184	1,188
656,60	1,192	1,196	1,200	1,205	1,209	1,213	1,218	1,222	1,226	1,230
656,70	1,235	1,239	1,244	1,248	1,252	1,257	1,261	1,265	1,269	1,273
656,80	1,278	1,283	1,287	1,292	1,296	1,301	1,306	1,310	1,315	1,319
656,90	1,324	1,329	1,333	1,338	1,342	1,347	1,351	1,356	1,361	1,365
657,00	1,370	1,375	1,380	1,384	1,389	1,394	1,399	1,404	1,409	1,413
657,10	1,419	1,424	1,429	1,434	1,439	1,443	1,448	1,453	1,458	1,463
657,20	1,468	1,473	1,478	1,484	1,489	1,494	1,499	1,505	1,510	1,515
657,30	1,520	1,526	1,531	1,536	1,541	1,547	1,552	1,557	1,562	1,567
657,40	1,573	1,578	1,584	1,589	1,595	1,600	1,606	1,611	1,617	1,622
657,50	1,628	1,633	1,639	1,645	1,650	1,656	1,661	1,667	1,672	1,677
657,60	1,683	1,689	1,695	1,701	1,706	1,712	1,718	1,724	1,730	1,735
657,70	1,741	1,747	1,753	1,758	1,764	1,770	1,776	1,782	1,787	1,793
657,80	1,799	1,805	1,811	1,817	1,823	1,829	1,835	1,841	1,848	1,853
657,90	1,860	1,866	1,872	1,878	1,884	1,890	1,896	1,902	1,908	1,914
658,00	1,920	1,927	1,933	1,939	1,946	1,952	1,958	1,965	1,971	1,977
658,10	1,984	1,990	1,996	2,003	2,009	2,015	2,022	2,028	2,034	2,040
658,20	2,047	2,053	2,060	2,067	2,073	2,080	2,086	2,093	2,100	2,106
658,30	2,113	2,119	2,126	2,132	2,139	2,146	2,152	2,159	2,165	2,171
658,40	2,178	2,185	2,192	2,199	2,206	2,213	2,219	2,226	2,233	2,239
658,50	2,247	2,253	2,260	2,267	2,274	2,281	2,288	2,294	2,301	2,307
658,60	2,315	2,322	2,329	2,336	2,343	2,350	2,357	2,364	2,371	2,377
658,70	2,386	2,393	2,400	2,407	2,414	2,421	2,428	2,435	2,442	2,448
658,80	2,456	2,464	2,471	2,478	2,486	2,493	2,500	2,508	2,515	2,521
658,90	2,530	2,537	2,544	2,552	2,559	2,566	2,574	2,581	2,588	2,595
659,00	2,603	2,610	2,618	2,626	2,633	2,641	2,648	2,656	2,664	2,671
659,10	2,679	2,686	2,694	2,702	2,709	2,717	2,724	2,732	2,739	2,746
659,20	2,755	2,763	2,770	2,778	2,786	2,794	2,802	2,810	2,818	2,825
659,30	2,833	2,841	2,849	2,857	2,865	2,873	2,880	2,888	2,896	2,903
659,40	2,912	2,920	2,928	2,937	2,945	2,953	2,961	2,969	2,977	2,985
659,50	2,994	3,002	3,010	3,018	3,027	3,035	3,043	3,051	3,059	3,067
659,60	3,076	3,084	3,093	3,101	3,110	3,118	3,127	3,135	3,144	3,152
659,70	3,161	3,170	3,178	3,187	3,195	3,204	3,212	3,221	3,229	3,237
659,80	3,247	3,255	3,264	3,273	3,282	3,291	3,300	3,309	3,318	3,326
659,90	3,336	3,345	3,354	3,363	3,372	3,381	3,390	3,399	3,408	3,417
660,00	3,426	3,436	3,445	3,455	3,464	3,474	3,484	3,493	3,503	3,512
660,10	3,522	3,532	3,541	3,551	3,561	3,570	3,580	3,589	3,599	3,608
660,20	3,618	3,628	3,638	3,648	3,659	3,669	3,679	3,689	3,699	3,708
660,30	3,719	3,729	3,739	3,749	3,759	3,769	3,779	3,789	3,799	3,808
660,40	3,820	3,830	3,840	3,851	3,861	3,872	3,882	3,892	3,903	3,912
660,50	3,923	3,934	3,944	3,955	3,965	3,975	3,986	3,996	4,006	4,016
660,60	4,027	4,038	4,048	4,059	4,069	4,080	4,090	4,101	4,112	4,122
660,70	4,133	4,143	4,154	4,164	4,175	4,185	4,196	4,207	4,217	4,227
660,80	4,238	4,249	4,260	4,270	4,281	4,292	4,302	4,313	4,324	4,334
660,90	4,345	4,356	4,366	4,377	4,388	4,398	4,409	4,419	4,430	4,440



Reservatório: Rasgão
 Empresa: EMAE
 Rio: Tietê

NA Mínimo Operacional: 660,00m
 NA Máximo Operacional: 661,60m
 NA Max Maximorum: 662,00m

Volume Mínimo Operacional: 3,426hm³
 Volume Máximo Operacional: 5,103hm³
 Volume Útil: 1,677hm³

OBS: os volumes estão expressos em hm³

COTAS = RN EPUSP

Cota(m)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
661,00	4,451	4,462	4,473	4,484	4,495	4,505	4,516	4,527	4,538	4,549
661,10	4,559	4,570	4,581	4,591	4,602	4,613	4,624	4,634	4,645	4,656
661,20	4,667	4,678	4,688	4,699	4,710	4,721	4,732	4,743	4,754	4,765
661,30	4,775	4,786	4,797	4,808	4,819	4,830	4,840	4,851	4,862	4,873
661,40	4,884	4,895	4,906	4,917	4,928	4,939	4,949	4,960	4,971	4,982
661,50	4,993	5,004	5,015	5,026	5,037	5,048	5,059	5,070	5,081	5,092
661,60	5,103	5,114	5,125	5,136	5,147	5,158	5,169	5,180	5,191	5,202
661,70	5,213	5,224	5,235	5,246	5,257	5,268	5,279	5,290	5,301	5,312
661,80	5,323	5,334	5,345	5,357	5,368	5,379	5,390	5,401	5,412	5,423
661,90	5,434	5,445	5,456	5,468	5,479	5,490	5,501	5,512	5,523	5,534
662,00	5,545	5,557	5,568	5,579	5,590	5,601	5,612	5,624	5,635	5,646
662,10	5,657	5,668	5,680	5,691	5,702	5,713	5,724	5,735	5,747	5,758
662,20	5,769	5,780	5,791	5,803	5,814	5,825	5,836	5,848	5,859	5,870
662,30	5,881	5,893	5,904	5,915	5,926	5,938	5,949	5,960	5,971	5,982
662,40	5,994	6,005	6,016	6,028	6,039	6,050	6,062	6,073	6,084	6,095
662,50	6,107	6,118	6,130	6,141	6,152	6,163	6,175	6,186	6,197	6,208
662,60	6,220	6,231	6,243	6,254	6,266	6,277	6,288	6,300	6,311	6,322
662,70	6,334	6,345	6,357	6,368	6,380	6,391	6,402	6,414	6,425	6,436
662,80	6,448	6,459	6,471	6,482	6,494	6,505	6,517	6,528	6,540	6,551
662,90	6,562	6,574	6,585	6,597	6,608	6,620	6,631	6,643	6,654	6,665
663,00	6,677									

COEFICIENTES POLINÔMIO COTA = FUNÇÃO(VOLUME)

RN EPUSP

A0 = 6,518227E+02

A1 = 4,854335E+00

A2 = -1,138107E+00

A3 = 1,460245E-01

A4 = -7,025561E-03

validade do polinômio: 659,00m ≤ cota ≤ 663,00m