



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

**PAVES - FERRAMENTA PARA ACOMPANHAMENTO DA UTILIZAÇÃO
DOS VOLUMES DE ESPERA DOS RESERVATÓRIOS DAS USINAS
HIDRELÉTRICAS DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
PARA CONTROLE DE CHEIAS**

Felipe Augusto Ribeiro Junqueira
Priscilla Dafne Shu Chan

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Heloisa Teixeira Firmo

Rio de Janeiro
Agosto 2013

**PAVES - FERRAMENTA PARA ACOMPANHAMENTO DA UTILIZAÇÃO
DOS VOLUMES DE ESPERA DOS RESERVATÓRIOS DAS USINAS
HIDRELÉTRICAS DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
PARA CONTROLE DE CHEIAS**

Felipe Augusto Ribeiro Junqueira

Priscilla Dafne Shu Chan

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Orientadora: Prof^a. Heloisa Teixeira Firmo, D.Sc.

Avaliador: Prof. Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa, M.Sc.

Avaliadora: Eng. Fernanda da Serra Costa, D.Sc.

Avaliador: Eng. Igor Pinheiro Raupp, M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO 2013

Junqueira, Felipe Augusto Ribeiro

Chan, Priscilla Dafne Shu

PAVES - Ferramenta para acompanhamento da utilização dos volumes de espera dos reservatórios das usinas hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional para controle de cheias/ Felipe Augusto Ribeiro Junqueira e Priscilla Dafne Shu Chan - Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

X, 108 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/Curso de Engenharia Civil, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 75-78.

1. Controle de Cheias. 2. Modelo Computacional. 3. Volume de Espera I. Firmo, Heloisa Teixeira. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. PAVES - Ferramenta para acompanhamento da utilização dos volumes de espera dos reservatórios das usinas hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional para controle de cheias.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Às nossas famílias, tanto aos aqui presentes, quanto aos que estão em nossas memórias, por tornar este momento possível. Pelo amor, pelos “paitrocínios” e “mãetrocínios” e pelo apoio incondicional durante toda a nossa trajetória, sempre nos incentivando e levantando quando foi preciso. Amamos vocês.

Aos amigos sempre presentes, pelo carinho, apoio, compreensão em nossas ausências, materiais antigos, pelos momentos inesquecíveis, pelas risadas, mas principalmente, por serem os irmãos que escolhemos.

Aos professores de toda a Escola Politécnica pela transferência de conhecimento, principalmente aos professores do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - DRHIMA.

Ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, pela oportunidade de crescimento profissional, pelo agradável ambiente de trabalho e pelos colegas, agora amigos, com os quais tivemos a chance conviver.

Ao nosso querido supervisor do estágio no CEPEL e amigo Eng. Igor Raupp, pela paciência, dedicação e conselhos durante todas as etapas deste trabalho.

À nossa supervisora do estágio no CEPEL Eng. Fernanda Costa, pelo seu tempo, auxílio e conhecimentos sempre que foi preciso.

À Prof^ª. Heloisa Firmo, por ter aceitado nos orientar, mesmo durante suas férias, e pelos conselhos amigáveis.

Ao Prof. Paulo Renato Barbosa, pela atenção durante toda a nossa vida acadêmica e por ter aceitado participar de nossa defesa de projeto final, apesar de seus diversos compromissos.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

**PAVES - FERRAMENTA PARA ACOMPANHAMENTO DA UTILIZAÇÃO
DOS VOLUMES DE ESPERA DOS RESERVATÓRIOS DAS USINAS
HIDRELÉTRICAS DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
PARA CONTROLE DE CHEIAS**

Felipe Augusto Ribeiro Junqueira

Priscilla Dafne Shu Chan

Agosto/2013

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Curso: Engenharia Civil

A geração energética no Brasil é baseada na hidroeletricidade, que depende das alturas de queda e das afluições ao sistema. Devido à sazonalidade da incidência das chuvas, esta fonte depende de reservatórios de regularização, a fim de acumular água durante o período chuvoso para ser usada para a geração de energia durante a estiagem. Com esses reservatórios, eventuais cheias que antes alagavam as planícies de inundação à jusante deixaram de acontecer, criando uma falsa sensação de segurança, o que, muitas vezes, levou à sua urbanização. Com a necessidade de se proteger as próprias barragens e as regiões à jusante, surgiu a preocupação com o controle de cheias. Uma forma com a qual o Setor Elétrico pode contribuir para esse controle é disponibilizando parte do volume dos reservatórios das hidrelétricas para a retenção das cheias através da alocação de volumes de espera.

O objetivo deste trabalho, fruto do estágio no CEPEL, é elaborar uma ferramenta computacional auxiliar capaz de realizar, de forma prática, um acompanhamento semanal da utilização dos volumes de espera ao longo do período chuvoso e a evolução dos riscos. Através da análise dos resultados, foi observado que o modelo alcançou o seu propósito, tornando-se mais uma ferramenta para auxiliar o planejamento da operação de controle de cheias.

Palavras-chave: controle de cheias, volume de espera, ferramenta computacional.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

PAVES - TOOL FOR MONITORING THE USE OF THE WAITING VOLUMES OF THE RESERVOIRS OF HYDROELECTRIC PLANTS OF THE NATIONAL INTERCONNECTED SYSTEM FOR FLOOD CONTROL

Felipe Augusto Ribeiro Junqueira

Priscilla Dafne Shu Chan

August/2013

Advisor: Heloisa Teixeira Firmo

Course: Civil Engineering

The energy generation in Brazil is based on hydroelectricity which depends not only on the net head but also on the water inflows. Due to rainfall seasonality aspects, this source depends on dams in order to create regularization's reservoir for water accumulation during the rainy season and usage during drier periods. With those reservoirs, eventual floods on the downstream floodplains no longer occur, creating a false sensation of safety leading to urban occupation. Therefore, in order to protect not only the dams as well as the downstream areas, flood control became an important subject. Being so, the electric system can contribute by offering part of the reservoir's volume in its hydroelectric park for flood control as waiting volumes.

This work aimed to develop an auxiliary computational tool able to perform a weekly monitoring of the waiting volumes use over the rainy season and the evolution of risks, presenting easy-to-read results. By analyzing the results, it was observed that the model achieved its purpose, becoming a tool to assist the operation planning of flood control.

Keywords: flood control, waiting volumes, computational tool

NOMENCLATURA

Δt	- intervalo de discretização (1 dia = 86400 s);
d	- duração (dias);
$ENV_{(SP,semana)}$	- valor da envoltória para o sistema parcial “SP” na semana em análise;
$ENV(t)$	- envoltória para o t-ésimo dia;
$ENV_{SPj}(t)$	- envoltória do j-ésimo sistema parcial no instante t;
h_t	- número de dias da estação chuvosa;
h_u	- último dia do período chuvoso;
i	- índice do ano;
$K(i)$	- capacidade de armazenamento do i-ésimo reservatório (km^3);
K_{sp}	- capacidade total de armazenamento do sistema parcial (km^3);
n_c	- número de cenários considerados no cálculo da envoltória;
n_r	- número de reservatórios que pertencem ao sistema parcial;
\bar{N}	- número de cenários que não serão protegidos;
Nível	- nível de armazenamento do sistema parcial na semana (%);
Nível _{SP}	- nível de armazenamento do sistema parcial na semana (km^3);
N_{ss}	- número total de cenários sintéticos considerados;
$PVA(i)$	- percentual de utilização do i-ésimo reservatório na semana;
PVE	- percentual de utilização do volume de espera;
$q(t+j)$	- vazão média diária do dia (t+j);
$q(t-1,i)$	- vazão média diária no dia t-1 do i-ésimo ano;

q_r	- descarga de restrição;
t	- dia;
$\tan(c)_{\max}$	- tangente máxima do c-ésimo cenário;
TR	- tempo de retorno;
$v_a(d)$	- máximo volume afluente, para d dias;
$v_e(i)$	- volume de espera para o período chuvoso do i-ésimo ano hidrológico;
$v_e(t-1,i)$	- volume de espera para o dia (t-1) do i-ésimo ano;
$V_{v,Ri}(t)$	- volume vazio no i-ésimo reservatório no instante t.

SUMÁRIO

Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Caracterização do Problema	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivo	4
1.4 Metodologia	4
Capítulo 2. Planejamento da Operação do Sistema Hidrotérmico Brasileiro	6
Capítulo 3. Controle de Cheias	11
3.1 Cálculo do Volume de Espera	11
3.1.1 Método da Curva Volume x Duração	12
3.1.2 Método das Trajetórias Críticas	14
3.1.3 Teoria das Condições de Controlabilidade	17
3.1.4 Modelos Utilizados nos Cálculos dos Volumes de Espera	19
3.2 Operação no Controle de Cheias	22
Capítulo 4. Acompanhamento da Operação do Controle de Cheias	29
4.1 Descrição do Programa	30
4.2 Estrutura do Programa	33
4.2.1 Arquivos de entrada	33
4.2.2 Arquivos de memória	36
4.2.3 Arquivos de saída	36
Capítulo 5. Aplicação	46
5.1 Caso 1: Período Chuvoso entre Novembro de 2012 e Abril de 2013	49

5.2	Caso 2: Período Chuvoso entre Novembro de 2006 e Abril de 2007.....	53
5.3	Comparação entre os Períodos Chuvosos Estudados.....	68
5.3.1	Envoltórias calculadas para as duas estações chuvosas.....	68
5.3.2	Níveis de armazenamento.....	70
Capítulo 6.	Conclusões.....	73
Capítulo 7.	Referências	75
ANEXO I:	Resultados Obtidos nos Tópicos 5.1, 5.2 e 5.3	79

Capítulo 1. Introdução

1.1 Caracterização do Problema

A relação do Brasil com a política de gestão dos recursos hídricos começou na década de 30, mais precisamente com o Código das Águas de 1934 (BRASIL, 1934). Segundo o seu artigo 143:

“Em todos os aproveitamentos de energia hidráulica serão satisfeitas exigências acauteladoras dos interesses gerais: da alimentação e das necessidades das populações ribeirinhas; da salubridade pública; da navegação; da irrigação; da proteção contra as inundações, da conservação e livre circulação do peixe; do escoamento e rejeição das águas.”

Já nas décadas de 1960 e 1970, foram construídos os primeiros reservatórios de regularização, a exemplo de Três Marias (1962), Furnas (1963), Ilha Solteira (1973) e Sobradinho (1979).

A operação dos reservatórios e a resolução de eventuais conflitos eram feitas pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE e, em 1973, foi criado o Grupo Coordenador para a Operação Interligada – GCOI, composto pelas principais empresas de Energia Elétrica, com o objetivo de melhorar o aproveitamento dos recursos energéticos e elétricos do país.

No ano de 1977, o rompimento das barragens do Rio Pardo, nas hidrelétricas Euclides da Cunha e Limoeiro, fez com que o controle de cheias, até então desconsiderado, começasse a ganhar relevância para o Setor Elétrico. Com o acidente, veio o aprendizado e, com ele, foram tiradas algumas conclusões. Percebeu-se que era necessário elaborar uma condição de operação que garantisse a segurança da barragem, construir uma metodologia de operação interligada dos reservatórios para controle de cheias, além de treinar e capacitar os operadores das usinas hidrelétricas.

O acidente levou, ainda na década de 1970, à criação da Comissão de Estudos para o Controle de Cheias e Armazenamentos – CECCA, que definiria as regras para a operação dos reservatórios visando a segurança das estruturas e o controle de cheias. A

comissão tinha como alguns de seus principais objetivos o controle de inundações nas margens utilizando tempos de recorrência, a definição de vazões de restrição, o desenvolvimento de uma metodologia de cálculo dos volumes de espera alocados em cada reservatório, além de promover estudos de planejamento e operação hidráulica.

A criação dessa comissão deu início ao controle de cheias no país através do uso dos reservatórios do Setor Elétrico e a metodologias, aperfeiçoadas desde então. Simultaneamente, órgãos foram criados para uma melhor divisão e operação das atribuições.

É importante destacar que o controle de cheias pode ser feito de diversas maneiras através de medidas não-estruturais e estruturais. As primeiras são aquelas que buscam uma melhor convivência do ser humano com as enchentes, tais como sistemas de alerta, educação da população e seguros contra danos causados por cheias. Já as medidas estruturais são as obras de engenharia feitas numa bacia de forma a mudar o seu regime fluvial, minimizando as consequências das cheias. Dentre as diversas obras que podem ser feitas, podemos citar os reservatórios, os diques e os canais de desvio. Neste trabalho, será abordado o controle de cheias feito através do uso dos reservatórios de usinas hidrelétricas.

Em oito de janeiro de 1997, foi promulgada a nova legislação de recursos hídricos do País, a Lei 9.433, também conhecida como Lei das Águas (BRASIL, 1997). De acordo com o seu artigo 1º, a Política Nacional de Recursos Hídricos tem como um de seus fundamentos que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, tais como irrigação, geração de energia, controle de cheias e navegação, sendo o consumo humano e a dessedentação de animais os seus usos prioritários em caso de escassez.

Em 1998, foi criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que assumiu as responsabilidades do planejamento e operação do Sistema Interligado Nacional (SIN). Para garantir o uso múltiplo das águas, o planejamento da operação do SIN, mais especificamente dos reservatórios das hidrelétricas que atuam no controle de cheias, deve buscar o equilíbrio entre as funções de geração de energia e de controle de cheias, minimizando o conflito entre ambas. A solução encontrada pelo Setor Elétrico para esse conflito foi a alocação de volumes vazios para receber possíveis cheias que possam

ocorrer (volume de espera) nesses reservatórios de hidrelétricas que atuam no controle de cheias. Por isso, todos os anos o ONS, junto com os agentes de geração, realizam os Estudos de Prevenção de Cheias (CEPEL, 2013; ONS, 2012a), que são consolidados no Plano Anual de Prevenção de Cheias (PAPC) (ONS, 2012a) e elaboram as Diretrizes para as Regras de Operação de Controle de Cheias (ONS, 2012b). Tanto o Plano, quanto as Diretrizes devem ser avaliados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Os Estudos de Prevenção de Cheias são divididos em duas etapas: o cálculo do volume de espera e o planejamento da operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas. A primeira é realizada antes do início da estação chuvosa, enquanto a segunda é realizada ao longo dela. Os cálculos dos volumes de espera devem ser realizados antes do período chuvoso, para que se possa fazer uma alocação de volumes de espera nos reservatórios das hidrelétricas que pertencem ao controle de cheias e, assim, eles possam ser esvaziados antes da cheia. Nesse momento, a real afluência hidrológica é desconhecida e, portanto, o estudo é realizado com base em possíveis cenários de afluências. Além disso, são considerados os tempos de recorrência das cheias à qual se pretende proteger e os impactos energéticos causados pela alocação dos volumes de espera.

Para cada tempo de recorrência, existem riscos diretamente proporcionais à alocação dos volumes de espera, sendo possível chegar a um tempo de recorrência ótimo em termos econômicos. No entanto, quando os riscos envolvem vidas humanas, é impossível se fazer uma quantificação econômica.

1.2 Justificativa

Diante dos fatos da alocação dos volumes de espera ser baseada em possíveis cenários de afluências e que uma operação errada dos reservatórios de hidrelétricas pode causar danos, tais como o déficit de atendimento energético, o rompimento da barragem ou até mesmo mortes ocasionadas por um acidente, foram elaborados, no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), modelos computacionais para a realização das duas etapas dos Estudos de Prevenção de Cheias.

Para evitar os prejuízos de uma cheia, é necessário também que se faça um acompanhamento dos níveis de armazenamento e da utilização dos volumes de espera

nestes reservatórios ao longo do período chuvoso. Por isso, surgiu um interesse do CEPEL em ter, entre seus modelos, um que fizesse tal acompanhamento, mostrando todo o histórico de resultados do período chuvoso, de forma prática.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é fazer um acompanhamento semanal da ocupação dos volumes de espera de conjuntos de reservatórios (sistemas parciais) das bacias do Sistema Interligado Nacional (SIN) ao longo do período chuvoso.

1.4 Metodologia

Para a realização do acompanhamento de forma otimizada, foi desenvolvido, no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), um programa de acompanhamento semanal da utilização dos volumes de espera. O desenvolvimento deste modelo computacional, em linguagem FORTRAN, foi uma das atividades desenvolvidas pelos autores deste trabalho durante o estágio no CEPEL. Ele utiliza os resultados da primeira etapa dos Estudos de Prevenção de Cheias e do Programa Mensal da Operação (PMO) para acompanhar, semanalmente, os níveis, os volumes de espera e a evolução do risco nos reservatórios das hidrelétricas ao longo de um período chuvoso.

Devido a sua importância para o Setor Elétrico, neste trabalho foi feito o acompanhamento dos reservatórios da bacia do rio Paraná. Para isso, foram feitos dois estudos de caso utilizando dois períodos chuvosos distintos.

Este trabalho é composto de seis capítulos. Os conceitos e detalhes relevantes para o entendimento do problema serão detalhados ao longo do trabalho.

No segundo capítulo, será feita uma abordagem sobre o sistema de geração de energia no país, com uma breve descrição do planejamento da operação do sistema hidrotérmico brasileiro e de como ele leva em consideração a operação do controle de cheias.

O enfoque do terceiro será o controle de cheias, onde serão detalhadas as duas etapas dos Estudos de Prevenção de Cheias, o cálculo do volume de espera e o planejamento

da operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas, que utilizam os modelos desenvolvidos pelo CEPEL.

No quarto capítulo, será feita uma descrição do programa desenvolvido para realizar o acompanhamento semanal da utilização dos volumes de espera ao longo da estação chuvosa.

No quinto capítulo, será apresentada a aplicação do modelo através de dois estudos de caso, bem como os seus principais resultados e suas análises.

No sexto capítulo, serão apresentadas as conclusões e recomendações finais deste trabalho.

Por fim, no Anexo I, serão apresentados os demais resultados a fim de complementar o que foi exposto no capítulo 5.

Capítulo 2. Planejamento da Operação do Sistema Hidrotérmico Brasileiro

Por dispor de um grande potencial hídrico, o Brasil tem as hidrelétricas como a sua principal fonte de energia elétrica. Este tipo de geração de energia depende basicamente das quedas disponíveis e das vazões afluentes aos aproveitamentos, tornando a hidroeletricidade uma fonte de energia limpa, renovável e de baixo custo.

A sazonalidade das vazões fluviais e a necessidade de se manter um fornecimento contínuo de energia elétrica aos consumidores fazem com que o sistema de geração brasileiro conte com um conjunto de hidrelétricas com reservatórios de acumulação e usinas termelétricas de complementação. A principal função do reservatório de uma hidrelétrica é a regularização dos regimes fluviais, que é feita através do armazenamento de água nos períodos de maiores afluências para posterior utilização durante os períodos de estiagem, quando as vazões fluviais são menores. Uma vez que a Lei 9.433/97, conhecida como Lei das Águas (BRASIL, 1997), estabelece que a gestão de recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas, alguns desses reservatórios de regularização das hidrelétricas também são usados para o controle de cheias. Para isso, é feita uma alocação de volumes de espera, ou seja, uma parte do volume útil destes reservatórios que são utilizados para o controle de cheias é esvaziada para que torne a ser ocupada ao longo do período chuvoso.

Para a geração e a transmissão de energia elétrica, o Brasil conta com o Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrange a maior parte do território brasileiro, e também com pequenos sistemas não-conectados ao SIN, chamados de Sistemas Isolados, que se concentram principalmente na região Amazônica e respondem por apenas 3,4% da capacidade de produção de energia do país. Em dezembro de 2010, a capacidade instalada no SIN alcançou a potência total de 113.327 MW, dos quais 77.090 MW em usinas hidroelétricas (incluindo 7.000MW correspondentes à capacidade instalada de Itaipu destinada ao mercado brasileiro) e 31.696 MW em usinas térmicas (incluindo 2.007 MW de origem nuclear) (ANEEL).

A operação centralizada, realizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), do SIN permite não só a operação das hidrelétricas e termelétricas em regime de

complementaridade, mas também a troca de energia elétrica entre regiões. Essa troca entre regiões é benéfica, uma vez que os regimes hidrológicos diferem de uma região para outra, podendo o período de estiagem de uma região ocorrer durante o período chuvoso de outra. Assim, a integração e operação interligada permitem que a região com os reservatórios mais cheios gere mais e forneça energia elétrica para a outra, cujos reservatórios estejam mais vazios.

Devido à grande magnitude do sistema, qualquer decisão relativa ao despacho de energia implica em diferentes consequências temporais e espaciais, tornando o problema bastante complexo. Existe, então, uma relação entre a tomada de decisão em um estágio qualquer e sua consequência futura. Em outras palavras, se no presente optar-se pelo deplecionamento dos reservatórios para a geração de energia, os níveis dos reservatórios do sistema ficarão mais baixos. Portanto, se ocorrer um período de baixas afluências, haverá um aumento do risco de déficit no atendimento à demanda, o que implicará no acionamento de usinas termelétricas (o que também não elimina a chance de não atendimento) e conseqüente encarecimento do custo de operação. Por outro lado, se no presente optar-se pela geração térmica visando o armazenamento de energia hidráulica e, no futuro, ocorrer um alto volume de afluências, será necessário fazer o vertimento, o que representará um desperdício de energia e levará a uma operação mais cara e desnecessária. A Figura 2.1 explicita o processo de tomada de decisão:

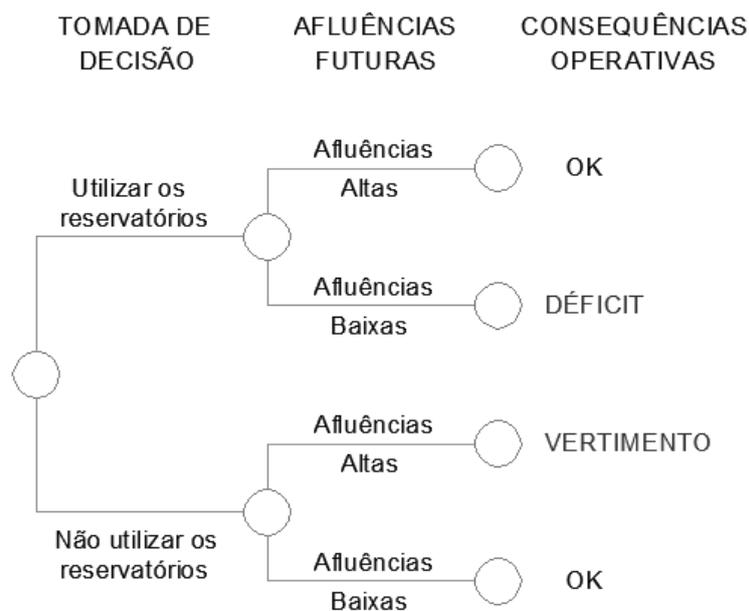


Figura 2.1 – Processo de tomada de decisão no Sistema Hidrotérmico.

Uma vez que a operação do SIN é complexa, é necessário que se faça um planejamento de como operá-lo da melhor forma possível no presente, sem que haja um comprometimento da geração de energia futura. Por isso, a coordenação da operação do sistema de reservatórios do setor elétrico, em conjunto com a operação do sistema de usinas termoeletricas de complementação, permite o melhor aproveitamento das vazões naturais, evitando o desperdício de água e gastos excessivos com combustíveis. Essa coordenação é feita no âmbito do chamado Planejamento da Operação do Sistema Interligado, executado atualmente no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS (COSTA *et al*, 2007b).

O Planejamento da Operação de um sistema hidrotérmico de energia elétrica deve determinar, para cada instante do horizonte do planejamento, quais unidades geradoras devem ser utilizadas e o quanto cada uma delas deve gerar, de forma que a demanda seja atendida ao menor custo operativo (gastos com a geração térmica mais as penalidades pelo não atendimento à demanda). Esse planejamento deve considerar não só as macro restrições do SIN (como as restrições do sistema de transmissão entre os subsistemas, por exemplo), mas também as restrições operativas, hidráulicas e elétricas, de cada usina geradora (como as restrições de vazão máxima e mínima, restrições da rede elétrica, por exemplo).

Atualmente, o planejamento do sistema hidrotérmico é feito utilizando uma cadeia de modelos desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, na qual ele é dividido em três etapas. Os modelos utilizados em cada etapa se diferem pelos horizontes de planejamento, discretização do tempo, graus de detalhamento em suas representações e pelas restrições operativas. Esses modelos de otimização podem ser de dois tipos: estocásticos ou determinísticos. O primeiro é baseado no que pode vir a acontecer, ou seja, em probabilidades. Para isso, ele utiliza um conjunto de séries sintéticas de aflúncias, que representam as possíveis aflúncias ao sistema. Esse conjunto de séries sintéticas é gerado, através de um modelo estocástico, a partir do histórico de vazões, considerando seus padrões de aflúncia, que é utilizado para a estimação dos parâmetros do modelo. Os modelos determinísticos baseiam-se em apenas uma sequência de possíveis aflúncias, em geral, na sequência de previsões de aflúncias (valor esperado). Algumas vezes, considera-se como a sequência de aflúncia um ano específico do próprio histórico de vazões. No topo da cadeia está o

planejamento de médio prazo, onde o modelo de otimização estocástica, NEWAVE (MACEIRA *et al*, 1993), obtém a política de alocação dos recursos hídricos e térmicos de mínimo custo para cada mês do horizonte (cinco a dez anos). O parque hidroelétrico é representado de forma agregada em quatros reservatórios equivalentes de energia, representando os subsistemas do sul, sudeste, nordeste e norte. A seguir, no chamado planejamento de curto prazo, o modelo DECOMP (XAVIER *et al*, 2005), também de otimização estocástica, determina uma programação de geração em cada usina do sistema para as semanas do mês seguinte e para o segundo mês. Na base da cadeia, está a programação diária, em fase de implantação, onde o modelo DESSEM_PAT (MACEIRA *et al*, 2000), de otimização determinística, calculará o despacho de geração para cada meia hora do dia seguinte. Na Tabela 2.1, são apresentadas as características do planejamento da operação energética do SIN (RAUPP, 2008).

Tabela 2.1 – Características do Planejamento da Operação Energética do SIN. (Fonte: RAUPP, 2008)

Etapa do Planejamento da operação	Médio Prazo	Curto Prazo	Programação Diária
Modelo de Otimização Energética	NEWAVE	DECOMP	DESSEM-PAT
Nível de Detalhamento do SIN	Reservatórios Equivalentes	Usinas individualizadas	Unidades geradoras
Horizonte de planejamento	Até 10 anos	Até 1 ano	Até 14 dias
Discretização temporal	Mensal	Semanal / Mensal	½ hora / horária
Consideração das incertezas hidrológicas	Estocástico	Estocástico / determinístico	Determinístico

O Planejamento da Operação leva em consideração as restrições operativas de cada usina, que, no caso das hidrelétricas, são influenciadas pelas atividades relacionadas aos usos múltiplos da água. Sendo o Controle de Cheias um desses usos, tem-se um conflito de interesses, uma vez que para a geração de energia, o ideal é que o reservatório esteja

o mais cheio possível, enquanto que para o controle de cheias, o ideal é que o reservatório esteja o mais vazio possível. Para minimizar esse conflito, o Planejamento da Operação realiza anualmente o Estudo de Prevenção de Cheias. Esse Estudo pode ser dividido em duas etapas: i) definir o volume a ser reservado nos reservatórios como espaços vazios (volumes de espera) durante a estação chuvosa, para que sirvam de amortecimento das possíveis cheias, considerando um determinado risco e ii) planejar o uso destes volumes (enchimento/esvaziamento) durante a ocorrência de cheias (KYRILLOS, 2006a).

A primeira etapa, onde são calculados os volumes de espera, é realizada antes do início do período chuvoso, uma vez que é necessário operar os reservatórios de forma a esvaziá-los para alocar os volumes de espera necessários. O cálculo dos volumes de espera é realizado nos Estudos de Prevenção de Cheias (CEPEL, 2013; ONS, 2012a) realizados pelo ONS e Agentes geradores de energia hidrelétrica, cujas usinas incorporam o controle de cheias. Esse estudo é consolidado no Plano Anual de Prevenção de Cheias (PAPC) (ONS, 2012a).

Já a segunda etapa, realizada durante o período chuvoso, consiste em planejar a operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas de forma a controlar cheias de grande porte, através do enchimento/esvaziamento dos volumes de espera. Por intermédio deste planejamento, são definidas as Regras de Operação dos reservatórios.

No capítulo 3, serão detalhadas as duas etapas (cálculo do volume de espera e operação) desse Estudo de Prevenção de Cheias do SIN.

Capítulo 3. Controle de Cheias

Como apresentado no Capítulo 2, o Estudo de Prevenção de Cheias é dividido em duas etapas, que serão detalhadas neste capítulo.

A primeira etapa, cálculo do volume de espera (VE), tem grande relevância no estudo, sendo o momento onde são determinados os volumes de espera que serão alocados nos reservatórios das usinas hidrelétricas utilizados para controle de cheias durante todo o período chuvoso. O cálculo envolve metodologias desenvolvidas e aprimoradas ao longo dos anos que objetivam a otimização entre a geração energética e o controle de cheias, que possuem interesses conflitantes quanto ao uso dos volumes dos reservatórios.

Na segunda etapa, operação de controle de cheias, após a escolha da alternativa de alocação de volumes de espera, são estabelecidas as regras operativas e há a tomada de decisões relacionadas ao uso dos volumes de espera durante uma cheia, dependendo da vazão que chega ao reservatório e o nível que o mesmo se encontra. A operação pode ser dividida em normal, quando não há a previsão de esgotamento dos volumes de espera, e emergencial, quando há uma cheia tal que a descarga de restrição de vazão máxima tenha que ser ultrapassada devido ao fim dos volumes vazios ou se houver falha de comunicação entre o centro de operações e o controlador do reservatório.

3.1 Cálculo do Volume de Espera

Atualmente são considerados dois métodos para cálculo dos volumes de espera: Curva Volume x Duração e Teoria das Condições de Controlabilidade. O primeiro foi o método inicialmente adotado para o cálculo dos volumes de espera nos reservatórios das usinas hidrelétricas nas bacias onde esses reservatórios eram compartilhados entre os dois usos, ou seja, geração de energia elétrica e controle de cheias. Hoje, esse método é adotado apenas na bacia do rio Paraíba do Sul; nas demais bacias a Curva Volume x Duração foi sendo substituída pela Teoria das Condições de Controlabilidade, que é uma generalização do método das Trajetórias Críticas. Os três métodos serão descritos nos itens a seguir.

3.1.1 Método da Curva Volume x Duração

O Método da Curva Volume x Duração foi apresentado por Beard (1963). De acordo com o método, para o cálculo do volume de espera ($ve(d)$) necessário para proteger-se de uma cheia, primeiro é necessário calcular o somatório das vazões médias afluentes referentes à estação chuvosa de um ano do histórico, obtendo-se o máximo volume afluente ($va(d)$) neste intervalo. Esse somatório é descrito pela Equação 3.1.

$$va(d) = \max\left[\sum_{j=0}^{d-1} (q(t+j) * \Delta t)\right] \quad (3.1)$$

$$0 < t < h_t - d + 1$$

Onde:

$va(d)$ = máximo volume afluente, para d dias;

d = duração em dias;

$q(t+j)$ = vazão média diária do dia $(t+j)$;

Δt = intervalo de discretização do tempo (1 dia = 86400 s);

h_t = número de dias da estação chuvosa;

t = dia.

Utilizando-se da vazão $va(d)$ calculada, estipula-se o $ve(d)$ necessário, considerando diferentes durações e limitando a vazão a ser defluída pelo reservatório, chamada de vazão de restrição, para que danos ao vale à jusante do reservatório sejam evitados. O volume vazio necessário para proteger o vale à jusante de cheias de qualquer duração, para um determinado ano hidrológico, será o máximo dos $ve(d)$ calculados, conforme Equação 3.2. Este procedimento é realizado para todos os anos do histórico de vazões.

$$ve(i) = \max\left((va(d) - d * qr * \Delta t), d = 1,2,3, \dots, h_t\right) \quad (3.2)$$

Onde:

$ve(i)$ = volume de espera para o período chuvoso do i -ésimo ano hidrológico;

qr = descarga de restrição.

Como resultado, são obtidos, para cada ciclo hidrológico da série histórica, os volumes de espera necessários para proteger o vale de uma cheia de qualquer duração.

Um possível critério para obtenção do volume de espera a ser alocado seria selecionar o máximo volume de espera levantado na série histórica. Como, contudo, nada garante que o histórico se repetirá no futuro, ou mesmo, que seja viável a alocação desse volume, a solução mais comum leva a um estudo de frequência e à adoção de uma distribuição teórica de probabilidades. (ONS, 2012a)

Conforme ONS (2012a), a adoção de uma distribuição teórica de probabilidades tem como consequência uma série de dificuldades, que diversos autores tentaram solucionar, mas até hoje, não se chegou a um consenso de qual a “melhor” distribuição teórica a ser utilizada.

Outra característica do método é que a definição dos volumes de espera não considera a variação da intensidade das chuvas durante a estação chuvosa, como consequência, aloca-se um volume de espera único para todo o período chuvoso. Essa característica do método aumenta o conflito do uso do volume do reservatório para a geração de energia e o controle de cheias, havendo casos de superdimensionamento dos volumes de espera no início e no final do período. A maior preocupação ocorre no final do período chuvoso, uma vez que o reservatório poderá não conseguir encher todo seu volume para poder ter água (energia) suficiente durante a estação seca subsequente.

De acordo com ONS (2012a), uma tentativa para solucionar este problema seria dividir a série histórica de vazões em intervalos com diferentes durações e obter os volumes de espera necessários para estas durações. Este procedimento visa obter volumes de espera diferentes ao longo do período chuvoso, de modo a decair a necessidade de volume de espera ao final do período (conforme ilustrado na Figura 3.1). No entanto, esse procedimento deixa o método muito vulnerável ao problema da variação amostral, que pode não garantir que realmente ocorrerá esta diminuição da necessidade de volume de espera para estas diferentes durações.

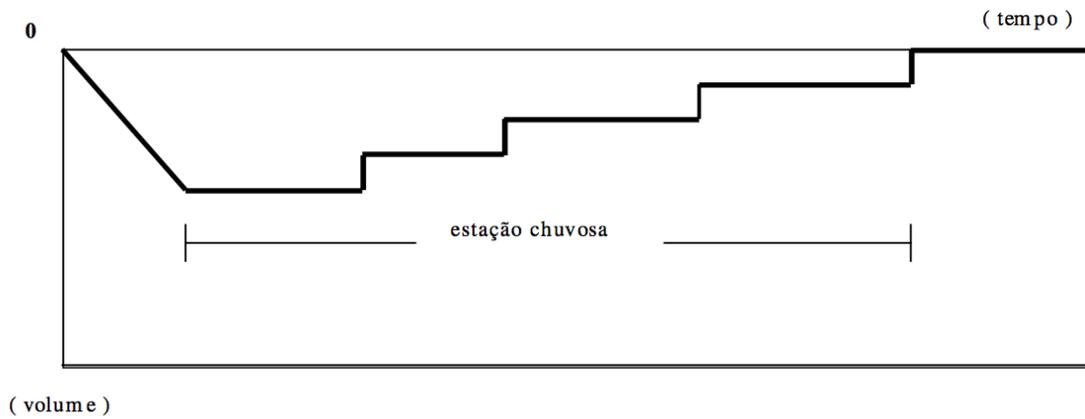


Figura 3.1 – Alocação Variável de Volume de Espera
(Fonte: ONS, 2012a)

Devido aos muitos problemas relacionados ao cálculo dos volumes de espera por este método, foram elaboradas outras metodologias que otimizassem a alocação conforme o período chuvoso ia se desenvolvendo.

3.1.2 Método das Trajetórias Críticas

Este método foi desenvolvido para sistemas com um reservatório e um ponto de controle (local onde existe limitação de vazão ou nível) e busca superar as limitações existentes no Método da Curva Volume x Duração.

Desenvolvido por Kelman (1987), o método funciona como um balanço hídrico entre a vazão afluyente, a vazão de restrição, o volume de espera alocado, se houver, e a quantidade de água existente no reservatório no instante anterior. O volume de espera (Equação 3.3) é calculado para cada dia do período chuvoso, de maneira recursiva, do fim para o início do período chuvoso e adota como condição inicial o volume de espera nulo no último dia do período.

$$ve(t - 1, i) = \max[0, (\Delta Q * \Delta t) + ve(t, i)] \quad (3.3)$$

$$\Delta Q = q(t - 1, i) - qr$$

$$t = h_u, h_u - 1, h_u - 2, \dots, 0$$

Onde:

$ve(t-1,i)$ = volume de espera para o dia (t-1) do i-ésimo ano;

h_u = último dia do período chuvoso;

i = índice do ano;

Δt = intervalo de discretização (1 dia = 86400 s);

qr = descarga de restrição;

$q(t-1,i)$ = vazão média diária no dia t-1 do i-ésimo ano.

Denomina-se trajetória crítica a evolução do volume de espera ao longo do tempo, sendo representada por uma curva em que cada espaço de tempo ao longo do período chuvoso é associado a um volume vazio a ser alocado no reservatório. Essa curva de alocação de volume de espera é capaz de amortecer uma cheia para que não seja necessário defluir uma vazão maior que a de restrição (Figura 2).

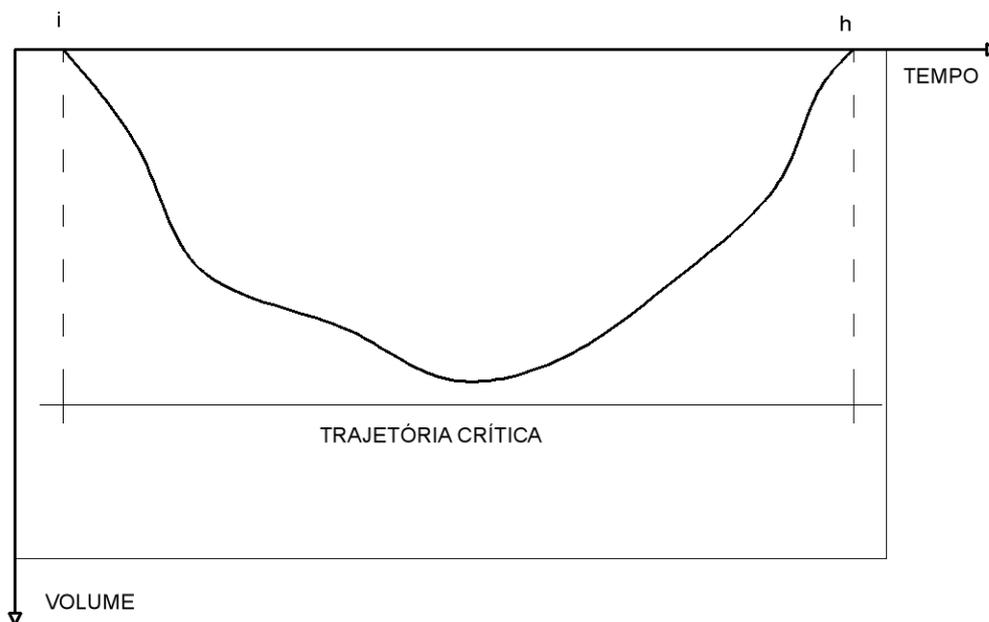


Figura 3.2 – Trajetória Crítica

As trajetórias críticas são calculadas para um único cenário de afluições (ou um ano do histórico) de um período chuvoso. Uma vez que não se sabe se esse cenário realmente irá ocorrer, devem ser considerados vários possíveis cenários de afluição, ou seja, várias trajetórias críticas. Através dessas trajetórias, apresentadas na Figura 3.3, é possível definir a envoltória (máximo valor das trajetórias críticas consideradas),

representada pela linha tracejada. Essa linha garantirá, independente do instante, que a vazão defluente não será superior à vazão de restrição do ponto de controle em nenhum momento. Essa envoltória de volume de espera garantirá a proteção do vale à jusante considerando todas as trajetórias críticas calculadas ($TR = \infty$).

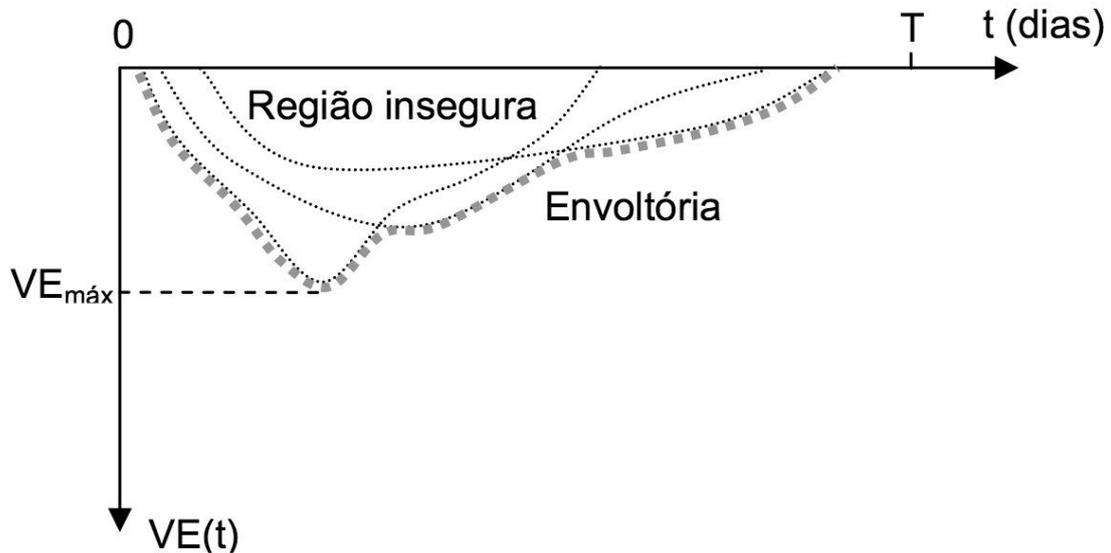


Figura 3.3 – Definição da Envoltória das Trajetórias Críticas
(Fonte: RAUPP, 2008)

O cálculo da envoltória é definida por:

$$ENV(t) = \max[ve(t, c); c = 1, 2, \dots, n_c]; t = 1, 2, \dots, h_t \quad (3.4)$$

Onde:

$ENV(t)$ = envoltória para o t-ésimo dia;

n_c = número de cenários considerados no cálculo da envoltória.

Como provavelmente não seria possível alocar em um reservatório todo esse volume, tanto por restrição do seu volume útil, quanto para não comprometer a geração energética, o Setor Elétrico admite um risco, através de tempos de retorno.

Sendo assim, é possível calcular a envoltória considerando esse risco ou uma margem aceitável de insucesso, em função de um tempo de retorno. Assim, define-se um

conjunto \bar{N} de trajetórias que não serão consideradas na determinação dos volumes de espera. O número de cenários a não serem considerados é calculado pela Equação 3.6.

$$\bar{N} = \frac{N_{SS}}{TR} \quad (3.6)$$

Onde:

- \bar{N} = Número de cenários que não serão protegidos;
- N_{SS} = Número total de cenários sintéticos considerados;
- TR = Tempo de retorno.

A eliminação das trajetórias que compõem esses cenários não protegidos segue atualmente dois critérios: Máximo Reenchimento (FRANÇA e CANELLA, 1994) e Máxima Flecha (KELMAN, 1987). O mais recomendado é o primeiro, uma vez que ele retira os cenários com as maiores taxas de reenchimento ao final do período chuvoso. Essa taxa é determinada através da relação entre volume vazio diário e o tempo existente até o final do período. Assim, a variável que definirá quais os cenários excluídos será a máxima tangente, de acordo com a Equação 3.7:

$$\tan(c)_{max} = \max \left[\frac{ve(t,c)}{\Delta t}; t = 1, 2, \dots, h_t \right]; c = 1, 2, \dots, N_{SS} \quad (3.7)$$

$$\Delta t = (h_t + 1) - t$$

Onde:

- $\tan(c)_{max}$ = tangente máxima do c-ésimo cenário.

3.1.3 Teoria das Condições de Controlabilidade

O método acima soluciona a questão da alocação temporal dos volumes de espera, sendo aplicável somente a sistemas com um reservatório e um ponto de controle de cheias. No entanto, para um sistema com mais de um reservatório e com múltiplos pontos de controle, é necessário definir como esse volume estará distribuído espacialmente e de que maneira esses volumes podem proteger diferentes pontos de controle.

Os problemas de sistemas multireservatórios para controle de cheias foram analisados teoricamente pela primeira vez por Marien (1984), levando a formulação da Teoria das Condições de Controlabilidade para a análise determinística de sistemas de reservatórios com apenas um local sujeito à restrição. Damázio (1989) estendeu estes resultados de forma a considerar também sistemas com múltiplos locais sujeitos à restrição, agregando ainda a esta teoria a noção de envoltórias, permitindo um tratamento estocástico do problemas. (ONS, 2012a)

Para a compreensão deste método, é preciso entender o que é um sistema parcial. Sistema parcial é um conjunto de reservatórios que dispõe de um mesmo ponto de saída, tal que esse seja também um ponto de controle.

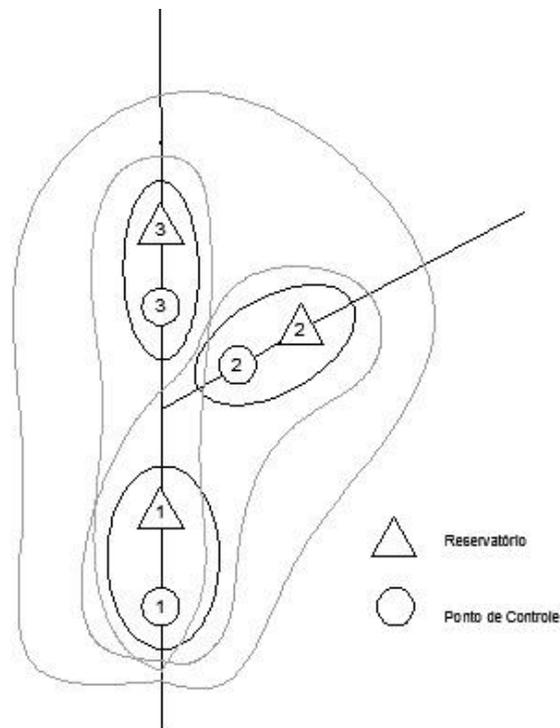


Figura 3.4 – Sistema de Três Reservatórios com Restrições de Vazão Máxima

O caso mostrado na Figura 3.4 expõe três reservatórios, com restrições de vazão, formando, portanto, seis sistemas parciais: $SP_1=[R1]$, $SP_2=[R2]$, $SP_3=[R3]$, $SP_4=[R1, R2]$, $SP_5=[R1, R3]$ e $SP_6=[R1, R2, R3]$. Para o cálculo do volume de espera em cada reservatório, em cada dia, deve-se considerar um volume vazio mínimo a ser alocado em R3, que dependerá de sua restrição e de suas afluências. Porém, o mínimo espaço a

ser alocado à jusante depende da vazão total afluente a R1, que é a soma da afluência a R3 com a afluência incremental entre R1 e R3, e também do volume vazio já alocado em R3, o mesmo sucede para R2.

Em um dia qualquer t , as possíveis soluções, ou seja, as *Condições de Controlabilidade*, são mostradas pelas equações a seguir, onde cada uma é dada para um sistema parcial.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{v,R1}(t) \geq ENV_{SP1}(t) \\ V_{v,R2}(t) \geq ENV_{SP2}(t) \\ V_{v,R3}(t) \geq ENV_{SP3}(t) \\ V_{v,R1}(t) + V_{v,R2}(t) \geq ENV_{SP4}(t) \\ V_{v,R1}(t) + V_{v,R3}(t) \geq ENV_{SP5}(t) \\ V_{v,R1}(t) + V_{v,R2}(t) + V_{v,R3}(t) \geq ENV_{SP6}(t) \end{array} \right. \quad (3.5)$$

Onde:

$V_{v,Ri}(t)$ = Volume vazio no reservatório i no instante t ;

$ENV_{SPj}(t)$ = Envoltória do sistema parcial j no instante t .

As Condições de Controlabilidade são um conjunto de restrições lineares que estabelecem o limite inferior dos volumes de espera necessários nos reservatórios e em conjuntos de reservatórios, que garantem a proteção dos pontos de controle de cheias da bacia, dado uma sequência de afluências. (RAUPP,2008)

3.1.4 Modelos Utilizados nos Cálculos dos Volumes de Espera

De maneira a auxiliar o cálculo dos volumes de espera, considerando a Teoria das Condições de Controlabilidade, o CEPEL desenvolveu modelos que atuam desde a geração de séries sintéticas de vazões até a distribuição espacial dos volumes de espera calculados pelos reservatórios utilizados no controle de cheias.

A Metodologia CEPEL foi implementada no Sistema para Estudo de Prevenção de Cheias – SPEC, que é composto pelas funções ENSOCLAS, DIANA, CAEV e VESPOT. (CEPEL, 2013)

O SPEC tem como foco a análise de sistemas com múltiplos reservatórios e múltiplos pontos de controle situados em bacias hidrográficas que apresentam hidrologias com variações sazonais. Essa sazonalidade leva a uma variação na alocação dos volumes de

espera ao longo da estação chuvosa, sendo menor no seu início e no seu final. Esse sistema também leva em consideração fatores meteorológicos que alteram o comportamento das chuvas na estação.

Uma vez que o cálculo dos volumes de espera é realizado antes do início da estação chuvosa, quando a sequência de vazões futuras não é conhecida, é necessário utilizar uma abordagem probabilística. Desse modo, a incerteza hidrológica é representada através do conjunto de séries sintéticas de vazões, gerado a partir do histórico de vazões. O uso das séries sintéticas também se deve ao fato das séries de vazões diárias disponíveis nos locais de estudo dificilmente apresentarem mais que 60 anos de informação, que é considerado um período pequeno para a determinação das trajetórias ligadas aos tempos de recorrência adotados pelo Sistema Elétrico Brasileiro.

Para isso, foi criado o modelo DIANA (KELMAN *et al*, 1983), que é composto por um grupo de seis funções de modelagem estocástica que gera um conjunto que pode chegar a 12.000 séries sintéticas de aflúências diárias ao sistema a partir das séries históricas de aflúências.

Existe ainda a consideração da influência climática na geração das séries sintéticas que é feita através da utilização do modelo ENSOCLAS. O objetivo dessa função é classificar cada ano do histórico segundo as fases do ENSO – El Niño South Oscillation – em estação úmida, seca ou normal, baseando-se na influência da oscilação plurianual da circulação geral da atmosfera no Pacífico.

O monitoramento das condições da oscilação ENSO pode ser feito através das seguintes medições no Pacífico:

- de temperatura da superfície do mar;
- de velocidade do vento à superfície;
- do nível médio do mar;
- da diferença de pressão entre as ilhas do Tahiti (Polinésia Francesa) e a localidade de Darwin (Austrália) – conhecida como índice SOI.

O programa ENSOCLAS avalia a influência da situação da ENSO no regime de cheias de uma bacia hidrográfica, considerando as séries de índices das medições no Pacífico, diferentes critérios para identificação das fases da ENSO e índices de intensidade de

cheias (CEPEL, 2013). Definidos um critério e um índice, o programa ENSOCLAS classifica cada ano dos registros históricos de afluições como úmido, seco ou normal.

Classificados os anos do histórico nestes três grupos, são gerados três conjuntos de séries sintéticas. Em linhas gerais, na geração de cada conjunto de séries sintéticas são utilizados apenas os anos do histórico respectivos a este grupo. Dessa maneira, espera-se obter séries sintéticas mais próximas da realidade de cada estação chuvosa que virá.

A função CAEV calcula as curvas de volume de espera para os sistemas parciais, condicionada a uma alternativa de proteção contra cheias. Para isso, se utiliza o Método das Trajetórias Críticas e da Teoria das Condições de Controlabilidade.

Com o uso das séries geradas pelo modelo DIANA, foi possível aumentar o histórico de vazões e assim, utilizando-se do Método das Trajetórias Críticas, calcular um maior conjunto de novas trajetórias críticas e, conseqüentemente, uma envoltória com uma proteção mais elevada. Vale ressaltar que o volume de espera alocado pela envoltória poderia vir a ser impossível de ser realmente armazenado.

Após o cálculo dos volumes de espera para os sistemas parciais, é preciso distribuí-los pelos diversos reservatórios do sistema. Isso é feito pelo programa VESPOT, através de uma função objetivo que reflete os interesses da geração. Ele desagrega as curvas, calculadas no CAEV, dos sistemas parciais em curvas individualizadas para cada reservatório do sistema.

O VESPOT tem três alternativas de função objetivo que se diferenciam no tipo de alocação e suas prioridades. São elas: alocação proporcional, alocação por faixas e prioridades e alocações ligadas aos potenciais de exposição à cheias,

A Figura 3.5 apresenta um fluxograma que ilustra o funcionamento do SPEC e como seus modelos se comunicam.

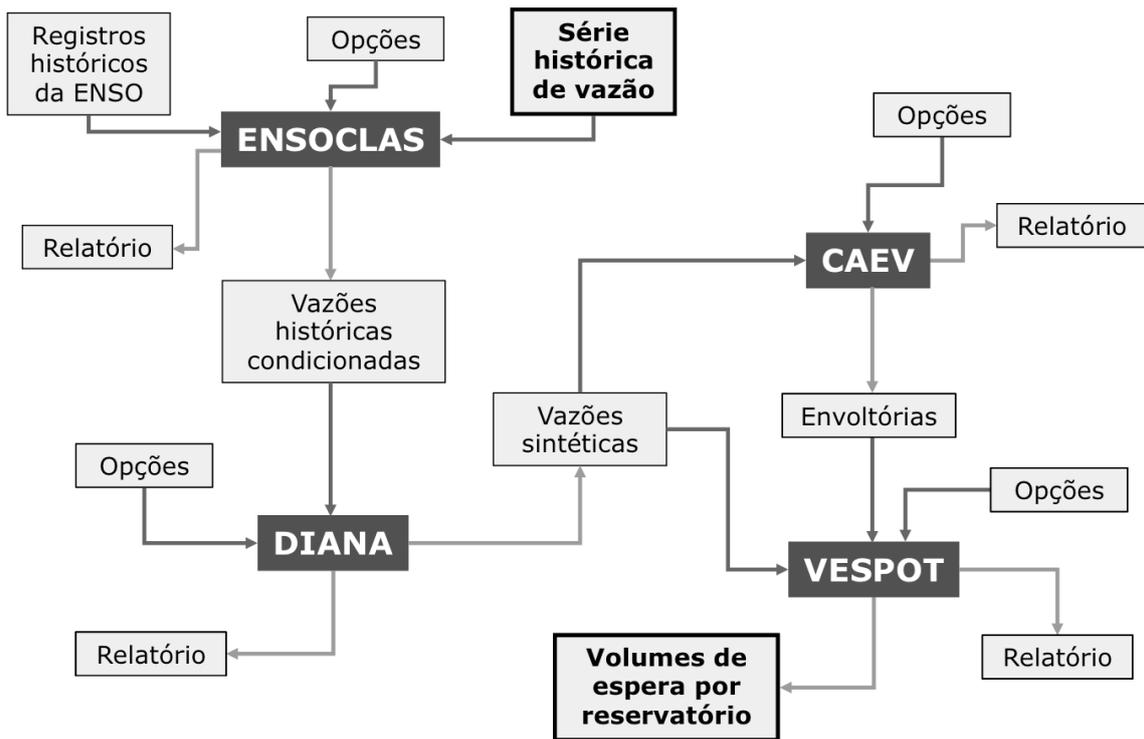


Figura 3.5 – Cadeia de Modelos
(Fonte: CEPEL)

3.2 Operação no Controle de Cheias

Após a escolha da alternativa de alocação de volume de espera, chega-se à etapa do planejamento da operação do controle de cheias. Essa etapa ocorre durante o período chuvoso, quando existe a possibilidade de ser necessário utilizar os volumes de espera para controlar uma cheia. O enchimento ou esvaziamento dos volumes de espera dos reservatórios deve ser feito de modo cuidadoso, para minimizar o risco de uma grande cheia à jusante do barramento e para acompanhar a evolução do risco de cheias à medida que os volumes de espera vão sendo ocupados ou esvaziados.

Com relação à operação de controle de cheias, podem existir dois tipos: operação normal e operação em emergência.

Na operação normal, há uma cheia que permanece, durante toda a sua duração, controlada pelo Centro de Operação, sem haver previsão do uso completo dos vazios nos reservatórios nem de descargas acima das restrições à jusante. Em casos de

reservatórios com restrições à montante, a operação normal é feita quando é possível liberar uma vazão, inferior à vazão de restrição, a ponto de impedir danos relativos ao nível do lago. (ONS, 2012b)

Na operação em emergência, ultrapassando os limites da operação normal, há a previsão de esgotamento dos volumes de espera, necessitando liberar vazões acima das vazões de restrição. Outra ocasião é quando se perde o contato com o Centro de Operação, dando ao operador na usina total responsabilidade pela tomada de decisões, já havendo um procedimento preestabelecido para garantir a segurança da barragem. (ONS, 2012b)

Em ambas as situações deve haver diretrizes para a definição de quais descargas, em cada instante da cheia, serão liberadas para garantir a segurança do aproveitamento, sem causar vazões maiores do que existiriam sem a presença da barragem.

De maneira que o uso dos volumes dos reservatórios para controlar uma cheia seja criterioso, foram definidas regras de operação de controle de cheias, que definem como os volumes de espera devem ser utilizados. Essas regras são resumidas a seguir:

- Se não estiver ocorrendo uma cheia, os volumes de espera devem ser mantidos vazios;
- No caso de ocorrência de uma cheia, o reservatório deve defluir uma vazão igual à vazão de restrição e permitir que os volumes de espera sejam ocupados;
- Após o fim da cheia, deve-se operar o reservatório de modo que seus volumes de espera tornem a ficar vazios.

Considerando estas regras de operação, foram desenvolvidos pelo CEPEL, três modelos para auxiliar o planejamento da operação de controle de cheias: OPCHEN, OPCHEND e OPCHENS.

O modelo OPCHEN (CEPEL, 2010; COSTA *et al*, 2001) faz o planejamento do enchimento/esvaziamento dos volumes de espera semanal através da solução de um problema de programação linear (PPL) relacionado à situação atual dos sistemas parciais e a um conjunto de envoltórias ordenadas por seu risco de cheias (associado a um tempo de retorno). Quanto menor o tempo de retorno, menor a proteção relacionada a esta envoltória, sendo possível, desta maneira, acompanhar a evolução do risco

conforme as envoltórias são invadidas. O PPL é formulado de forma a minimizar a ocorrência de defluências maiores que os valores das restrições de defluências máximas nos pontos de controle de cheias, utilizando os volumes de espera dos reservatórios da cascata de forma otimizada.

Além de permitir acompanhar o aumento/diminuição do risco de inundação, este conjunto de restrições faz com que o modelo tente ocupar os volumes de espera dos sistemas parciais de forma homogênea. (RAUPP *et al*, 2012)

A Figura 3.6 a seguir mostra um exemplo de um conjunto de envoltórias teórico com diferentes riscos.

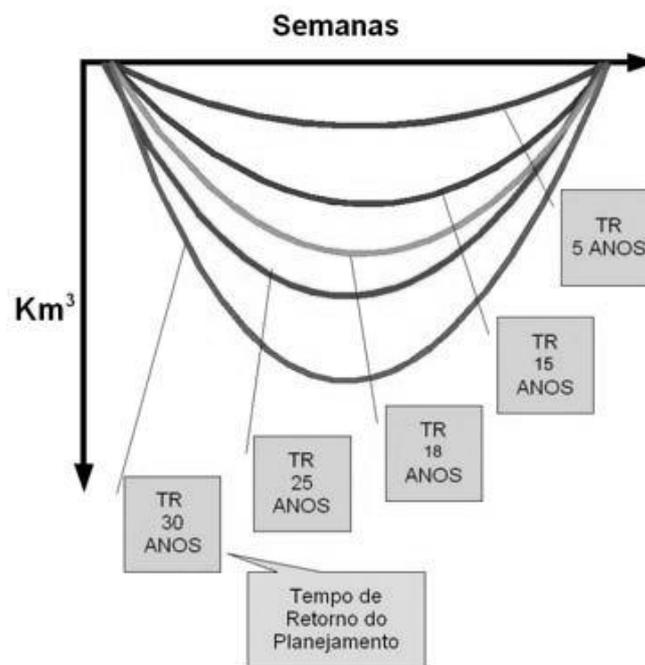


Figura 3.6 – Conjunto de Envoltórias Utilizado para acompanhamento do Risco ao Longo do Tempo
(Fonte: RAUPP *et al*, 2012)

O modelo OPCHEN possui discretização semanal e pode fazer a operação de um sistema de controle de cheias até 5 semanas a frente. Esse modelo atua no planejamento a curto prazo com foco na operação normal. No entanto, durante a ocorrência de uma cheia existe a necessidade de um planejamento diário considerando, além da operação normal, a operação em emergência.

O modelo OPCHEND (COSTA *et al*, 2005a, COSTA *et al*, 2005b e KYRILLOS, 2006) foi desenvolvido com essa finalidade e é um modelo de otimização determinística de discretização diária. Em situação normal, ele soluciona um problema com variáveis restritivas (PPL) tentando sempre otimizar a utilização dos espaços vazios sem defluir uma vazão superior à de restrição. Em emergência, as regras de operação são definidas pelo Diagrama de Operação em Emergência – DE (BEARD, 1963; SCEN-CECCA, 1977).

Essa ferramenta foi desenvolvida para orientar a operação em emergência para controle de cheias que define a descarga que deve ser defluída em um aproveitamento, quando são conhecidos os níveis do reservatório e a afluência, tendo em vista uma previsão do mínimo volume afluente que pode ser esperado em uma particular cheia. (KYRILLOS *et al*, 2006b)

Na resolução do PPL não se verifica a possibilidade de esgotamento dos volumes de espera. A cada dia, a programação definida através da resolução do PPL (armazenamentos e defluências dos aproveitamentos) é testada através dos DE dos reservatórios e reservatórios equivalentes do sistema, para verificar a ocorrência de Situação de Emergência: se for indicada Situação de Emergência em algum aproveitamento ou conjunto de aproveitamentos e se a defluência calculada pelo DE for maior que a defluência obtida na resolução do PPL, então a defluência calculada pelo DE é imposta como restrição de defluência mínima e retorna-se para a resolução do novo PPL. O processo para quando não for indicada Situação de Emergência em nenhum aproveitamento ou conjunto de aproveitamentos do sistema, ou quando as defluências calculadas pelo DE forem iguais às defluências obtidas na resolução do PPL. (COSTA *et al*, 2005a)

O modelo OPCHENS (CEPEL, 2008) permite simular um período chuvoso inteiro ou um conjunto de cenários de períodos chuvosos, com o intuito de avaliar o desempenho das regras de operação de controle de cheias ou avaliar a proteção garantida pelas restrições de vazão máxima nos reservatórios.

Apesar da importância da proteção do vale à jusante, como já mencionado, os reservatórios utilizados para controle de cheias também são utilizados para a geração de

energia elétrica. No entanto, esses dois usos do reservatório são conflitantes, conforme discutido no capítulo 2.

Frente à necessidade de cooperação entre a geração energética, os usos múltiplos e as restrições ambientais, é necessário determinar metas a serem cumpridas pelas hidroelétricas e termoelétricas, assim como o armazenamento nos reservatórios. O modelo utilizado para o planejamento da operação energética de curto prazo do SIN é o DECOMP (CEPEL, 2002; PIMENTEL, 2005; XAVIER, 2005).

Nos estudos energéticos, durante o planejamento de curto prazo, o modelo DECOMP adota como limites de armazenamento em cada reservatório as curvas de volume de espera para eles definidas.

Os volumes definidos nos estudos energéticos são, então, testados através de um modelo de Avaliação de Risco, chamado ARISCO (GTHO, 1996), para verificar se o ganho energético sugerido implica em um risco de cheias maior que o adotado nos Estudos de Prevenção de Cheias do ano corrente, podendo, portanto, ser aprovada ou não. (RAUPP *et al*, 2012)

Em casos onde os níveis dos reservatórios estiverem nos limites dos volumes de espera e as aflúências superarem as vazões de restrição, pode não ser possível manter uma propriedade operativa que mantenha os riscos preestabelecidos nos estudos, necessitando utilizar os volumes de espera. Quando ocorre essa situação, continua-se tentando atender às definições colocadas pelo DECOMP, porém, nesse modelo, não são mais considerados os limites de armazenamento devido aos volumes de espera e, através do gerenciamento destes volumes, busca-se diminuir os riscos provocados pelo evento. Assim, o OPCHEN faz o planejamento de como será a ocupação, na semana, dos volumes de espera definidos nos Estudos de Prevenção de Cheias. Como é possível verificar, os volumes finais a serem alocados nos reservatórios é consequência da utilização iterativa entre os modelos DECOMP e OPCHEN.

De acordo com COSTA *et al*. (2007a) essa iteração consiste em, após verificada a necessidade de utilização de volumes de espera, enviar ao OPCHEN o despacho energético semanal obtido por meio do DECOMP, para que ele otimize o gerenciamento dos volumes visando a proteção do vale à jusante através da diminuição dos riscos de cheias. Após receber os resultados do OPCHEN (níveis de armazenamento

dos aproveitamentos), os dados retornam ao DECOMP para que o despacho seja obtido com outras restrições operativas.

A Figura 3.7 mostra o esquema de iteração proposta por COSTA *et al.* (2007a) para o planejamento da operação a curto prazo.

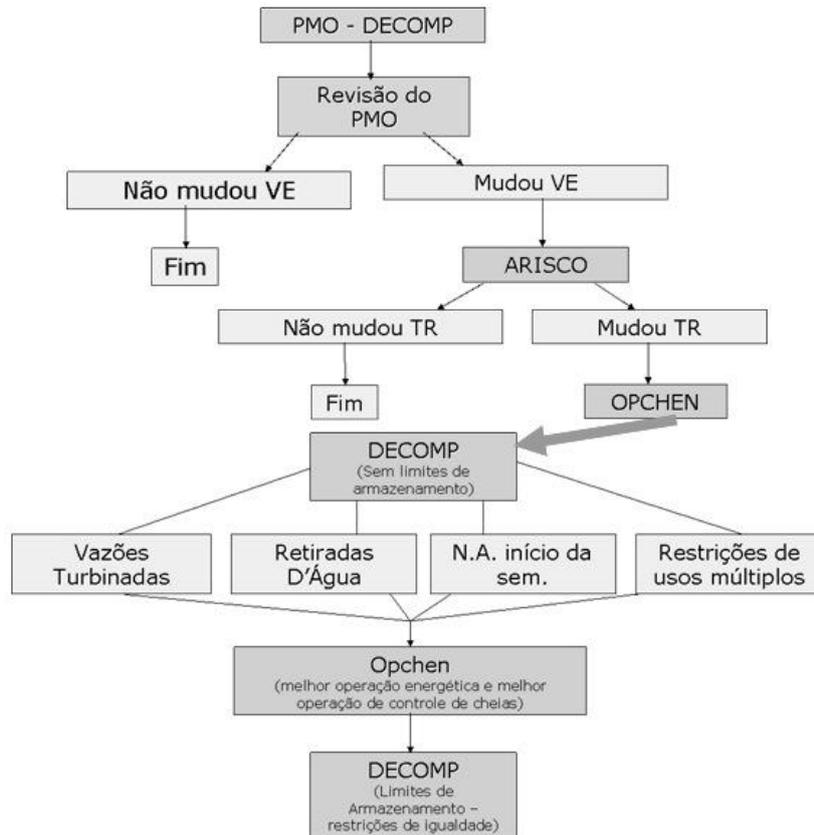


Figura 3.7 – Esquema de Iteração Entre os Modelos DECOMP e OPCHEN
(Fonte: COSTA *et al.*, 2009)

Frente ao cenário de utilização dos volumes de espera, de acordo com as regras de operação de controle de cheias, avalia-se posteriormente a necessidade de esvaziamento para retornar aos níveis estabelecidos pelos estudos, considerando as restrições à jusante, nunca ultrapassando as vazões limites.

A Figura 3.8 mostra a cadeia final dos modelos apresentados no trabalho.

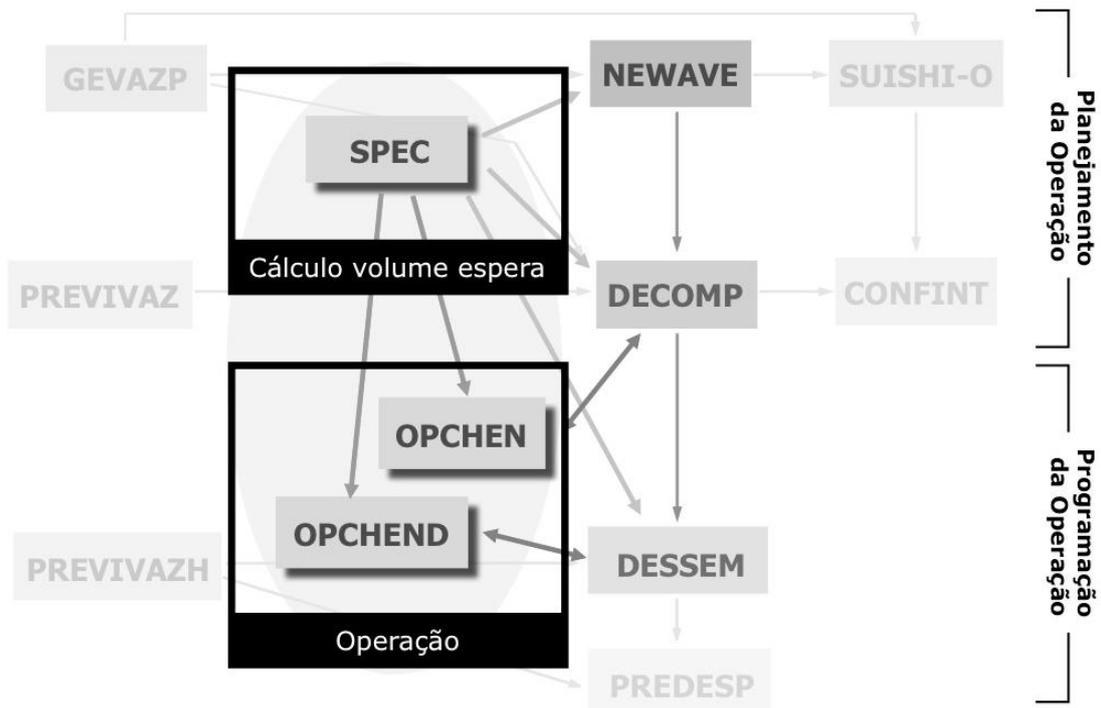


Figura 3.8 – Cadeia de Modelos Apresentados no Trabalho
(Fonte: CEPTEL)

Capítulo 4. Acompanhamento da Operação do Controle de Cheias

Como já foi apresentado anteriormente, o planejamento da operação do sistema hidrotérmico é dividido em três etapas, que se diferem, dentre outros aspectos, pelos seus horizontes de tempo: planejamento de médio prazo, planejamento de curto prazo e programação diária. No planejamento de médio prazo, define-se o quanto de energia térmica e hidráulica será gerado em cada mês, ou seja, o quanto será gerado pelo parque térmico e o quanto será gerado por cada um dos quatro reservatórios equivalentes (Norte, Nordeste, Centro-Oeste/Sudeste e Sul). No planejamento de curto prazo, o modelo DECOMP (XAVIER et al, 2005; COSTA, 2009) desagrega a produção do primeiro mês para cada semana e para cada usina individualizada, ou seja, ele estabelece uma meta semanal de geração para cada uma das usinas. Normalmente, esse procedimento, chamado de Programa Mensal da Operação (PMO) e realizado pelo Operado Nacional do Sistema Elétrico (ONS), é feito na última semana de cada mês para estabelecer a geração semanal das usinas no mês seguinte. A cada semana do mês corrente, é feita uma revisão do PMO, onde as novas metas semanais de geração levam em consideração as atualizações das informações sobre o estado do sistema (como aflúências, cargas, restrições, entre outras). Na programação diária, as metas semanais de cada usina são desagregadas em metas diárias para cada unidade geradora.

Além disso, o planejamento energético também leva em consideração o controle de cheias, que por sua vez é dividido em duas etapas. A primeira, onde são calculados os volumes de espera, é realizada antes do início do período chuvoso. A segunda, realizada durante o período chuvoso, consiste em planejar a operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas.

Este trabalho se insere na segunda etapa dos Estudos de Prevenção de Cheias, levando em consideração os resultados da primeira etapa (cálculos dos volumes de espera) e do Programa Mensal da Operação (PMO).

Com o objetivo de fazer um acompanhamento automático da operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas que pertencem ao controle de cheias ao longo do período chuvoso, neste trabalho foi desenvolvido, no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

(CEPEL), um programa de acompanhamento semanal da utilização dos volumes de espera. Através desse acompanhamento, o programa também pode ser utilizado para analisar se os resultados da primeira etapa para os sistemas parciais foram adequados/suficientes.

4.1 Descrição do Programa

O Programa de Acompanhamento Semanal da Utilização dos Volumes de Espera – PAVES foi desenvolvido de forma geral e, portanto, pode ser utilizado para qualquer bacia hidrográfica, cujo estudo de prevenção de cheia utiliza o modelo SPEC. Ele deve ser rodado para uma semana de cada vez, o que o torna útil tanto para uma análise pontual (de uma semana específica), quanto para o acompanhamento de todo o período chuvoso. Para o acompanhamento ao longo do período chuvoso, é necessário rodá-lo a cada semana que se passa e em ordem cronológica, uma vez que ele lê, armazena e exibe parte dos resultados das semanas anteriores, quando estes existirem. É importante destacar que tal acompanhamento é feito em termos de sistemas parciais e não de reservatórios individualizados, uma vez que a proteção de um determinado ponto de controle pode ser feita por um conjunto de reservatórios (sistemas parciais) e não apenas do seu reservatório de montante.

Com base nos resultados do programa mensal da operação das usinas hidrelétricas, mais especificamente do modelo DECOMP, e nas envoltórias dos volumes de espera dos sistemas parciais calculados pelo programa CAEV, o programa define o nível de armazenamento (em porcentagem) dos sistemas parciais na semana corrente, indicando, quando ele utiliza alguma parte do volume de espera, o quanto (também em porcentagem) é utilizado e qual a envoltória que foi invadida. Uma vez que podem existir mais de um sistema parcial para um mesmo ponto de controle e que cada um deles pode ter invadido diferentes envoltórias de volumes de espera, o programa define para cada ponto de controle qual foi a envoltória de maior severidade utilizada (ou seja, a que apresenta o menor tempo de retorno e assim, maior risco), bem como os sistemas parciais que chegaram a utilizá-la.

Para o cálculo dos níveis de armazenamento dos sistemas parciais, são utilizados os dados da capacidade de armazenamento K (em km^3) de cada reservatório que compõe o

sistema parcial e o seu percentual de utilização na semana corrente PVA (em porcentagem). O primeiro dado é fixo ao longo da estação chuvosa e é obtido no arquivo de descrição do sistema (bacia), que será mais detalhado a seguir. O segundo dado, variável ao longo da estação, é obtido em um dos relatórios de saída do modelo DECOMP chamado SUMÁRIO. Como mencionado, a cada semana é feita uma nova revisão da PMO e, com isso, gerado um novo arquivo SUMÁRIO com os valores atualizados dos níveis de armazenamento dos reservatórios. O nível de armazenamento de um dado sistema parcial $Nível_{sp}$ (em km^3) numa dada semana é dado pela Equação (4.1), enquanto a sua capacidade total de armazenamento K_{sp} (em km^3) é dada pela Equação (4.2).

$$Nível_{sp}(km^3) = \sum_{i=1}^{n_r} \left(\frac{PVA(i) * K(i)}{100} \right) \quad (4.1)$$

$$K_{sp}(km^3) = \sum_{i=1}^{n_r} K(i) \quad (4.2)$$

Onde:

$Nível_{sp}$ = nível de armazenamento do sistema parcial na semana, dado em km^3 ;

K_{sp} = capacidade total de armazenamento do sistema parcial, dado em km^3 ;

$PVA(i)$ = percentual de utilização do i-ésimo reservatório na semana;

$K(i)$ = capacidade de armazenamento do i-ésimo reservatório, dado em km^3 ;

n_r = número de reservatórios que pertencem ao sistema parcial.

O nível de armazenamento $Nível$ (em porcentagem) desse sistema parcial para esta mesma semana é definido pela Equação (4.3):

$$Nível(\%) = \left(\frac{Nível_{sp}}{K_{sp}} \right) * 100 \quad (4.3)$$

Onde:

$Nível$ = nível de armazenamento do sistema parcial na semana, dado em porcentagem;

$Nível_{sp}$ = nível de armazenamento do sistema parcial na semana, dado em km^3 ;

K_{sp} = capacidade total de armazenamento do sistema parcial, dado em km^3 .

A verificação de utilização de volume de espera é feita comparando-se o valor do volume vazio no sistema parcial com o valor da envoltória de planejamento (ou seja, a

de maior tempo de recorrência e, conseqüentemente, de menor risco) para esse mesmo sistema parcial na semana em análise. Uma vez concluído que é utilizado parte do volume de espera, este percentual de utilização PVE é dado pela Equação (4.4). Em caso de não utilização do volume de espera, o programa assume um valor nulo para PVE, ou seja:

$$PVE(\%) = \left[\frac{ENV_{(sp,semana)} - (K_{sp} - Nível_{sp})}{ENV_{(sp,semana)}} \right] * 100 ; PVE \geq 0 \quad (4.4)$$

Onde:

PVE = percentual de utilização do volume de espera;

$ENV_{(SP,semana)}$ = valor da envoltória para o sistema parcial na semana em análise.

Sendo concluído que há a utilização de volume de espera ($PVE > 0\%$) nesse sistema parcial e dispondo dos demais valores de volume de espera (um de cada envoltória definida na primeira etapa do Estudo de Prevenção de Cheias, podendo chegar a um total de cinco) para ele na semana corrente, o programa define qual foi a envoltória de maior severidade (ou seja, de menor tempo de retorno) utilizada.

O processo descrito acima é realizado para todos os sistemas parciais da bacia. Sabendo-se quais sistemas parciais pertencem a cada um dos pontos de controle (local com restrição), o programa define para cada ponto de controle qual foi a envoltória de maior severidade utilizada (a de menor tempo de recorrência e de maior risco) e quais foram os sistemas parciais que a utilizaram. Com isso, define-se também qual foi o maior sistema parcial (o que apresenta um maior número de reservatórios) que utilizou a envoltória de maior severidade para cada ponto de controle.

A Figura 4.1 mostra um diagrama com os dados de entrada do PAVES e seus resultados.

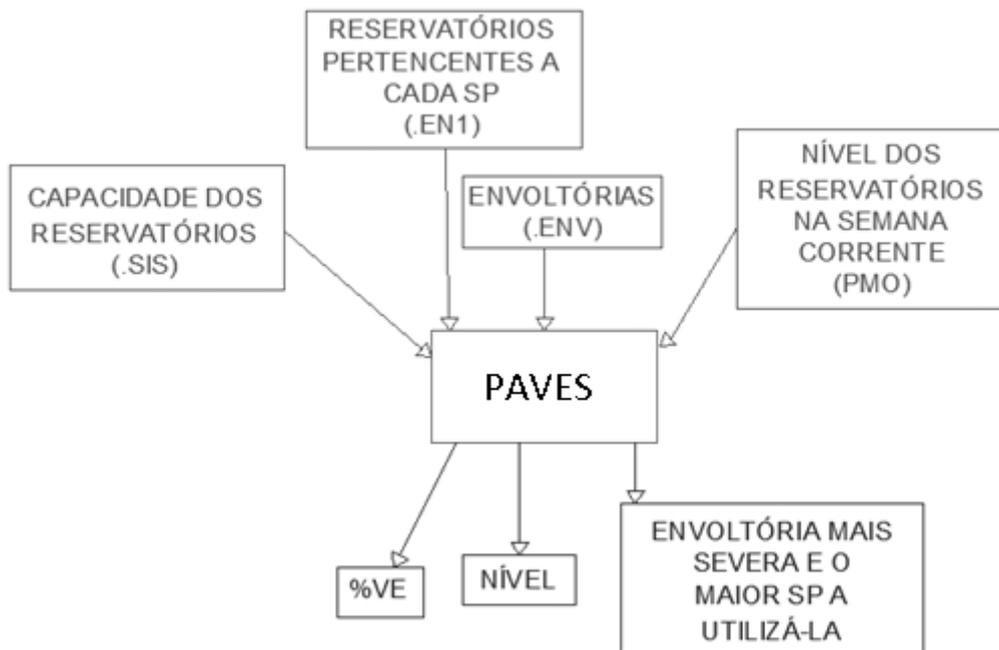


Figura 4.1 – Diagrama com os dados de entrada e os resultados do PAVES.

4.2 Estrutura do Programa

Nesta seção, serão descritos os arquivos de entrada necessários para rodar o programa, os arquivos de memória que ele utiliza para ler e armazenar as informações das semanas anteriores e os seus arquivos de saída.

4.2.1 Arquivos de entrada

4.2.1.1 Arquivo cheias.inp

Este é um arquivo que deve ser criado pelo usuário com um editor de texto (como o bloco de notas) antes da execução do PAVES. Nele devem estar presentes as informações que controlam o programa:

- Quantidade de bacias para o qual o programa estará sendo rodado;
- Mês e ano do arquivo SUMÁRIO utilizado;
- Número da revisão do PMO;
- Quantidade de conjuntos de envoltórias que serão consideradas;

A quantidade de vezes que o par de dados abaixo deve ser informado deve ser igual à quantidade de bacias para o qual o programa estará sendo rodado.

- Código de identificação da bacia;
- Semana corrente da bacia.

4.2.1.2 Arquivo de descrição do sistema

Este arquivo, também utilizado no modelo SPEC, apresenta os dados descritivos (dados físicos, de topologia e as restrições de defluência) de cada bacia. Ele possui uma extensão (.SIS) e deve ser o mesmo que foi utilizado para gerar as envoltórias. Para cada bacia deve existir um arquivo desse tipo contendo as seguintes informações:

- Nome da bacia;
- Código da bacia;
- Quantidade de reservatórias na bacia;

Para cada um desses reservatórios devem ser informados os seguintes dados:

- Código do reservatório;
- Nome do reservatório;
- Vazão defluente máxima diária;
- Vazão defluente mínima diária;
- Código do reservatório (que pertence ao controle de cheias) situado à jusante ou o valor “zero”, quando ele for o reservatório mais à jusante;
- Capacidade total $K(\text{km}^3)$ de armazenamento do reservatório.

Todos os dados correspondentes a um mesmo reservatório devem ser escritos em uma mesma linha. Portanto, a quantidade de linhas que devem ser escritas com tais informações deve ser equivalente à quantidade de reservatórios da bacia.

4.2.1.3 Arquivos de envoltória

A função CAEV do modelo SPEC, descrita no capítulo 3, gera três arquivos de envoltória para cada tempo de recorrência. O PAVES utiliza dois desses três arquivos.

O primeiro arquivo utilizado, cuja extensão é (.EN1), contém as informações que foram utilizadas para gerar as envoltórias de volume de espera, tais como:

- Número de reservatórios;
- Número de sistemas parciais;
- Número de pontos de controle;
- Quais reservatórios são pontos de controle;
- Vetor contendo o tempo de retorno de cada reservatório;
- Vazões máximas e mínimas defluentes de cada reservatório;
- Quantidade de séries sintéticas utilizadas para a geração das envoltórias;
- Os reservatórios que formam cada um dos sistemas parciais;
- Intervalo de tempo das envoltórias (semana ou dia). Uma vez que este programa é de acompanhamento semanal, utilizam-se os arquivos gerados com um intervalo semanal;
- Etc.

O segundo, cuja extensão é (.ENV), contém os valores dos volumes das envoltórias de cada sistema parcial.

Portanto, para cada conjunto de envoltórias que o PAVES for utilizar, devem ser fornecidos esses dois arquivos.

4.2.1.4 Arquivo SUMARIO

O SUMÁRIO é um arquivo de saída do DECOMP onde estão as informações do PMO. A cada revisão semanal do PMO, é gerado um novo arquivo SUMARIO contendo os valores atualizados das operações hidráulicas e térmicas. No entanto, o PAVES utiliza apenas uma pequena parte desse arquivo, relativa à operação hidráulica e na qual constam os conjuntos de informações abaixo para cada um dos reservatórios de hidrelétricas, sejam eles pertencentes ou não ao controle de cheias:

- Código do reservatório;
- Nome do reservatório;
- Percentual do volume útil utilizado na semana anterior;

- Percentual do volume útil utilizado na semana corrente.

4.2.2 Arquivos de memória

Uma vez que o PAVES é rodado apenas para uma semana e um de seus objetivos é fazer um acompanhamento semanal ao longo da estação chuvosa, ele precisa ler e armazenar os resultados das semanas anteriores. Para isso, ele faz uso de dois arquivos de memória chamados “avecn” e “avecp”.

Na primeira semana, o PAVES gera esses dois arquivos e escreve os principais resultados neles. A partir da segunda semana, o PAVES lê os resultados da semana anterior nesses arquivos e reescreve sobre eles os resultados das semanas anteriores acrescidos dos resultados da semana corrente, criando-se assim um histórico.

Os resultados que cada arquivo armazena serão descritos a seguir.

4.2.2.1 Arquivo avecn

Este arquivo armazena os seguintes resultados: nível de armazenamento (em porcentagem) de todos os sistemas parciais e, para cada ponto de controle, qual foi a envoltória de maior severidade utilizada, bem como o maior sistema parcial que a utilizou.

4.2.2.2 Arquivo avecp

Este arquivo armazena o percentual de volume de espera utilizado (em relação à envoltória de planejamento) de todos os sistemas parciais a cada semana. Assim como adotado no programa, esse percentual é sempre maior ou igual a zero, caso em que não há a utilização de volume de espera.

4.2.3 Arquivos de saída

4.2.3.1 Arquivos com extensão .EXL

Para facilitar a geração de gráficos no Excel, o PAVES gera diversos arquivos com a extensão (.EXL). Cada arquivo contém um tipo de informação, apresentados na forma

de tabela para serem facilmente exportados para o Excel. Abaixo, são mostradas as informações contidas em cada um dos arquivos:

- **EV1.EXL**: Apresenta os valores da envoltória de planejamento (ou seja, a de maior tempo de retorno e menor risco) de todos os sistemas parciais da bacia desde a primeira semana até a semana corrente.
- **EV2.EXL**: Apresenta os valores da segunda envoltória (ou seja, a de segundo maior tempo de retorno) de todos os sistemas parciais da bacia desde a primeira semana até a semana corrente.
- **EV3.EXL**: Apresenta os valores da terceira envoltória (ou seja, a de terceiro maior tempo de retorno) de todos os sistemas parciais da bacia desde a primeira semana até a semana corrente.
- **EV4.EXL**: Apresenta os valores da quarta envoltória (ou seja, a de segundo menor tempo de retorno) de todos os sistemas parciais da bacia desde a primeira semana até a semana corrente.
- **EV5.EXL**: Apresenta os valores da quinta envoltória (ou seja, a de menor tempo de retorno) de todos os sistemas parciais da bacia desde a primeira semana até a semana corrente.
- **GRF.EXL**: Para cada ponto de controle, ele apresenta as informações não só do maior sistema parcial que utilizou a envoltória de maior severidade, mas também do maior sistema parcial (em termos de número de reservatórios que o compõe). As informações exibidas, desde a primeira semana até a semana corrente, são: os valores de todas as envoltórias (até cinco), o nível de armazenamento (em porcentagem) e o percentual de volume de espera utilizado (em relação à envoltória de planejamento).
- **NIV.EXL**: Apresenta os níveis de armazenamento (em porcentagem) de todos os sistemas parciais da bacia desde a primeira semana até a semana corrente.

- **PVE.EXL:** Apresenta o percentual de utilização do volume de espera (em relação à envoltória de planejamento) de todos os sistemas parciais da bacia desde a primeira semana até a semana corrente.

4.2.3.2 Relatório (.NIV)

Este relatório apresenta a data de execução do programa, o PMO (ou revisão) utilizado, a semana corrente, os níveis de armazenamento (em porcentagem) dos sistemas parciais, desde a primeira semana até a semana corrente, e a envoltória invadida em caso de utilização de volume de espera. Para uma melhor organização, estes valores são apresentados em forma de tabela, onde as linhas representam cada semana do período chuvoso e as colunas, os sistemas parciais, sendo esses limitados a dez sistemas parciais por tabela.

Na Figura 4.2, é mostrada uma parte do relatório (.NIV) referente ao ciclo de 2006/2007 da bacia do Paraná.

PROGRAMA DE ACOMPANHAMENTO SEMANAL DOS VOLUMES DE ESPERA

DEPARTAMENTO DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA E MEIO AMBIENTE - DEA
ELETROBRAS CEPEL

Teste Parana

Ultimo PMO Executado - Novembro /2006 - RV4

Semana do periodo chuvoso: 5

Data da Execucao 25/ 4/2013

*** VOLUME ARMAZENADO NOS SISTEMAS PARCIAIS (%) ***

(X) - CONJUNTO DE ENVOLTORIAS UTILIZADO

PERIODO	SISTEMA PARCIAL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	45.80	54.00	81.50	50.33	28.00	41.31	54.41	54.26	0.00	81.50
2	42.30	53.00	80.00	47.08	26.70	40.16	52.88	52.93	0.00	80.00
3	41.70	52.00	86.00	47.32	27.20	39.89	53.43	52.91	0.00	86.00
4	40.00	50.00	82.50	45.39	28.20	39.36	53.20	52.04	0.00	82.50
5	38.10	48.40	80.00	43.41	24.60	36.78	50.33	49.63	0.00	80.00

Figura 4.2 – Parte do relatório .NIV da bacia do Paraná, referente ao ciclo de 2006/2007, que mostra os níveis de armazenamento (em porcentagem) dos sistemas parciais.

4.2.3.3 Relatório (.PVE)

Este relatório apresenta um cabeçalho com a data de execução do programa, o PMO (ou revisão) utilizado e a semana corrente. Além disso, apresenta uma tabela com os tempos de retorno correspondentes às envoltórias de cada reservatório, seguida de outra tabela contendo os sistemas parciais de cada ponto de controle (como mostrado nas Figuras 4.3 e 4.4). Em seguida, são apresentados os maiores sistemas parciais (em função da quantidade de reservatórios que os compõem) que utilizaram a envoltória mais severa para cada ponto de controle, desde a primeira semana até a semana corrente. Para uma melhor organização, esses valores são apresentados em forma de tabela, onde as linhas representam cada ponto de controle e as colunas, as semanas do período chuvoso, sendo esse limitado a onze semanas por tabela (como demonstrado nas Figuras 4.5 e 4.6). Uma vez que é possível que, na semana corrente, mais de um sistema parcial por ponto de controle pode ter utilizado a envoltória mais severa, são mostrados todos aqueles que a utilizaram, como mostrado na Figura 4.7.

Considerando que um dos objetivos desse programa é fazer um acompanhamento semanal da operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas pertencentes ao controle de cheias, esse relatório apresenta todos os sistemas parciais que chegaram a utilizar o volume de espera em cada semana. Isto pode ser visto na Figura 4.8.

Por último, como mostrado na Figura 4.9, são apresentados os percentuais de utilização dos volumes de espera (em relação à envoltória de planejamento) de cada sistema parcial, desde a primeira semana até a semana corrente, e qual foi a envoltória de maior severidade utilizada.

*** ENVOLTORIA E TEMPO DE RETORNO REFERENTE A CADA RESERVATORIO ***

RESERVATORIO	ENVOLTORIA				
	1	2	3	4	5
	TEMPO DE RETORNO				
6 Furnas	30	25	18	12	5
7 MMoraes	30	25	18	12	5
10 Igarapava	30	25	18	12	5
11 VGrande	30	25	18	12	5
12 PColombia	30	25	18	12	5
17 Marimbondo	30	25	18	12	5
18 AVermelha	7777	7777	7777	7777	7777
24 Emborcacao	30	25	18	12	5
25 NPonte	7777	7777	7777	7777	7777
31 Itumbiara	30	25	18	12	5
33 SSimao	30	25	18	12	5
37 BBonita	30	7777	7777	7777	7777
40 Promissao	7777	7777	7777	7777	7777
44 ISolteira-Eq	7777	7777	7777	7777	7777
45 Jupia	30	25	18	12	5
47 Jurumirim	50	7777	7777	7777	7777
49 Xavantes	50	7777	7777	7777	7777
61 Capivara	7777	7777	7777	7777	7777
600 P.S.Jose	30	25	18	12	5

OBS. : TEMPO DE RETORNO = 7777 SIGNIFICA TEMPO DE RETORNO INFINITO (PROTECAO TOTAL)

Figura 4.3 – Parte do relatório (.PVE) da bacia do Paraná, referente ao ciclo de 2006/2007, que mostra os tempos de retorno correspondentes a cada envoltória dos reservatórios.

*** SISTEMAS PARCIAIS PERTENCENTES A CADA PONTO DE CONTROLE ***

PONTO DE CONTROLE	SISTEMA PARCIAL
1 CAMARGOS	1
4 FUNIL-GR	2 3

Figura 4.4 – Parte do relatório (.PVE) da bacia do Camargos-Funil, referente ao ciclo de 2012/2013, que mostra os sistemas parciais de cada ponto de controle.

*** MAIOR SISTEMA PARCIAL A UTILIZAR A PIOR ENVOLTORIA ***

*** POR CADA PONTO DE CONTROLE ***

PONTO DE CONTROLE	PERIODO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6 Furnas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 MMoraes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 Igarapava	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 VGrande	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 PColombia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 Marimbondo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24 Emborcacao	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31 Itumbiara	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33 SSimao	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45 Jupia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600 P.S.Jose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 4.5 – Parte do relatório (.PVE) da bacia do Paraná, referente ao ciclo de 2006/2007, que mostra os maiores sistemas parciais que utilizaram a envoltória de maior severidade em função de cada ponto de controle.

PONTO DE CONTROLE	PERIODO											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
6 Furnas	-	-	-	-	1(3)	1(2)	1(1)	-	1(5)	-	-	
7 MMoraes	-	-	-	-	4(2)	4(2)	4(1)	-	-	-	-	
10 Igarapava	-	-	11(2)	-	11(4)	11(3)	11(3)	-	11(2)	-	-	
11 VGrande	-	-	20(2)	-	20(4)	20(3)	20(3)	-	20(2)	-	20(2)	
12 PColombia	-	-	25(2)	-	25(4)	25(3)	25(3)	-	25(2)	-	25(2)	
17 Marimbondo	-	-	-	-	31(2)	-	-	-	-	-	-	
24 Emborcacao	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31 Itumbiara	-	-	8(2)	-	8(4)	8(3)	8(3)	-	8(3)	8(2)	8(5)	
33 SSimao	-	-	16(1)	-	16(4)	16(3)	16(3)	-	16(3)	-	16(5)	
45 Jupia	-	176(2)	176(4)	176(4)	176(5)	176(4)	176(4)	176(1)	176(1)	176(1)	176(5)	
600 P.S.Jose	-	733(2)	733(4)	759(4)	733(5)	760(4)	760(4)	754(1)	733(1)	754(1)	754(5)	

Figura 4.6 – Parte do relatório (.PVE) da bacia do Paraná, referente ao ciclo de 2006/2007, que mostra os maiores sistemas parciais que utilizaram a envoltória de maior severidade em função de cada ponto de controle.

*** RELACAO DOS SISTEMAS PARCIAIS QUE UTILIZARAM ENVOLTORIA MAXIMA NA SEMANA ATUAL ***

Semana 25	

31 Itumbiara	(1): 8
33 Ssimao	(1): 16
45 Jupia	(4): 62 83
600 P.S.Jose	(4): 239 294

Figura 4.7 – Parte do relatório (.PVE) da bacia do Paraná, referente ao ciclo de 2006/2007, que mostra todos os sistemas parciais que utilizaram a envoltória de maior severidade por ponto de controle.

*** ACOMPANHAMENTO DOS SISTEMAS PARCIAIS QUE UTILIZARAM VOLUME DE ESPERA ***

*** DURANTE A ESTACAO CHUVOSA [1a. SEMANA do PMO] ***

PERIODO	SISTEMAS PARCIAIS

13	145 151 158 159 163 164 167 171 174 175 176 534 557 599 606 619 643 655 672 702 712
	733
14	8 11 16 20 25 93 111 114 128 131 136 139 145 146 151 152 153 154 158 159 162
	163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 328 393 403 463 473 489 516
	534 541 557 564 565 584 599 606 611 619 643 645 647 655 662 663 664 665 666 671 672
	673 693 695 702 710 711 712 713 714 715 716 731 733 734 735 736 738 739 740 741 746
	748 750 751 753 754 755 756 758 759 760

Figura 4.8 – Parte do relatório (.PVE) da bacia do Paraná, referente ao ciclo de 2006/2007, que mostra todos os sistemas parciais que utilizaram volume de espera.

*** PERCENTUAL DO VOLUME DE ESPERA UTILIZADO POR CADA SISTEMA PARCIAL ***

*** EM RELACAO A ENVOLTORIA DE PLANEJAMENTO ***

(X) - CONJUNTO DE ENVOLTORIAS UTILIZADO

PERIODO	SISTEMA PARCIAL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.77(2)	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	41.31(3)	0.00	0.00	31.56(2)	0.00	48.81(3)	0.00	64.31(4)	0.00	0.00
17	37.01(2)	0.00	0.00	29.03(2)	0.00	30.95(2)	0.00	50.84(3)	0.00	0.00
18	4.35(1)	0.00	0.00	18.46(1)	0.00	19.65(2)	0.00	43.74(3)	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	100.00(5)	0.00	0.00	0.00	0.00	19.36(2)	0.00	42.07(3)	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.06(2)	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.15(5)	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00(5)	0.00	100.00(5)	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.88(1)	0.00	0.00

Figura 4.9 – Parte do relatório (.PVE) da bacia do Paraná, referente ao ciclo de 2006/2007, que mostra os percentuais de volume de espera utilizado e as envoltórias invadidas.

4.2.3.4 Relatório de erros

O relatório de erros, cuja extensão é (.ERR), apresenta um cabeçalho, com a data de execução do PAVES, o PMO (ou revisão) utilizado e a semana corrente, e todos os erros ocorridos ao longo da execução do programa. Esse relatório tem a finalidade de facilitar a identificação do problema, caso ele interrompa a execução do PAVES. Existe um erro, quando um sistema parcial possui volume útil nulo, que não interrompe a execução do modelo. Quando o PAVES se depara com essa situação, ele informa, nesse relatório, todos os sistemas parciais que apresentaram um volume útil nulo.

A Figura 4.10 apresenta um exemplo desse relatório, gerado para o ciclo de 2006/2007 da bacia do Paraná.

Ultimo PMO Executado - Maio /2007 - RV0

Semana do periodo chuvoso: 27

Data da Execucao 25/ 4/2013

ARQUIVO DE ERROS DO PROGRAMA

SISTEMAS PARCIAIS COM VOLUME UTIL IGUAL A ZERO:

9 17 18 21 22 23 32 177 178

Figura 4.10- Relatório de erro (.ERR), gerado para o ciclo de 2006/2007 da bacia do Paraná.

A Figura 4.11 resume, através de um diagrama, todos os arquivos de entrada e de saída do PAVES.

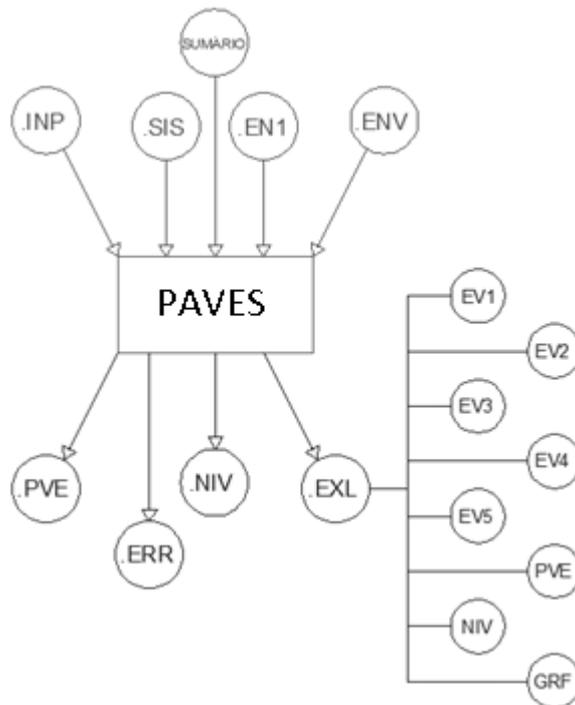


Figura 4.11 - Diagrama com os arquivos de entrada e de saída do PAVES.

No capítulo 5, serão apresentados a aplicação e os resultados desse programa para duas estações chuvosas da bacia hidrográfica do Paraná. Foram escolhidos o ciclo de 2012/2013, por ter sido o último período chuvoso da bacia, e o de 2006/2007, por ter sido um ano úmido, contrastando com o primeiro, que foi seco.

controle, se localizam a jusante das UHEs: Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo, Emborcação, Itumbiara, São Simão, Jupia e a localização Porto São José. O topológico da bacia do rio Paraná até o posto fluviométrico de Porto São José, com seus reservatórios e restrições, é apresentado na Figura 5.2 a seguir.

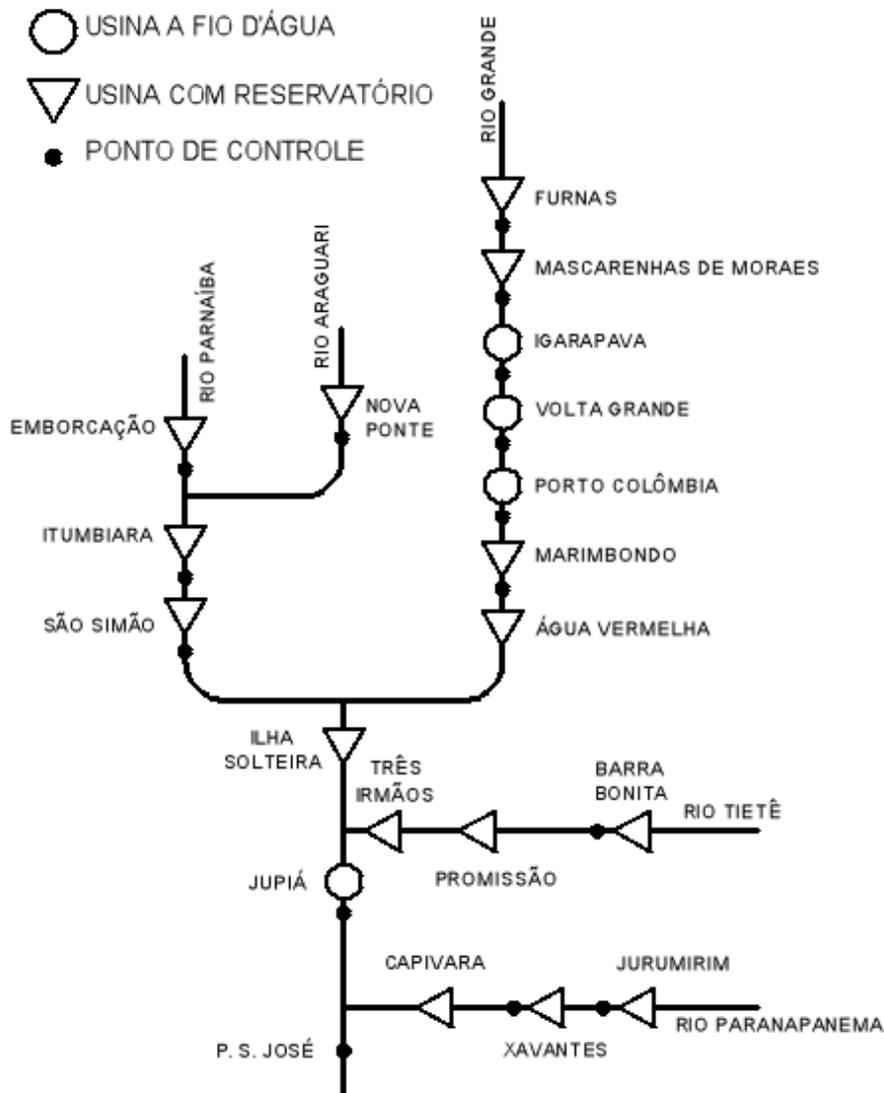


Figura 5.2 – Topológico da Bacia do Rio Paraná até o Posto Fluviométrico de Porto São José

Devido ao grande número de aproveitamentos e restrições, a bacia do Rio Paraná é a que agrega o maior número de sistemas parciais (SP), 760 no total, pois esses são formados pela combinação dos aproveitamentos situados à montante de cada ponto de

controle. Assim, quanto mais à jusante está localizado um ponto de controle, maior o número de sistemas parciais associados a ele, como é o caso dos dois pontos de controle mais à jusante da bacia, Jupia, com 145 sistemas parciais, e Porto São José, com 584 sistemas parciais.

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da aplicação do programa desenvolvido neste trabalho, para dois períodos chuvosos diferentes. Inicialmente, o estudo seria feito somente para o período chuvoso 2012/2013 que compreende o período de Novembro de 2012 e Abril de 2013, por ter sido o ano do desenvolvimento do trabalho. No entanto, nesse período chuvoso, classificado como cenário seco, não houve necessidade de utilização dos volumes de espera alocados devido à combinação entre os baixos níveis de armazenamento no início da estação e as baixas afluências durante a mesma. De forma a exemplificar a aplicação do PAVES, considerou-se também uma estação chuvosa em que houve necessidade de utilização dos volumes de espera. Foi escolhido, então, um período chuvoso, no qual ocorreu uma das maiores cheias do histórico. A estação chuvosa escolhida foi a de Novembro de 2006 a Abril de 2007, um período chuvoso bastante úmido, evidenciando a utilização dos volumes de espera e a necessidade do acompanhamento da evolução da utilização dos volumes de espera ao longo do período chuvoso.

Para cada uma das estações chuvosas, foram utilizados 5 conjuntos de envoltórias com diferentes tempos de recorrência: 30 anos (Envoltória de Planejamento), 25 anos, 18 anos, 12 anos e 5 anos, sendo cada uma delas ligadas a um risco, conforme seu nível de proteção às cheias, indo de 1 (TR=30 anos) a 5 (TR=5 anos).

A Figura 5.3 ilustra a seguir as envoltórias utilizadas.

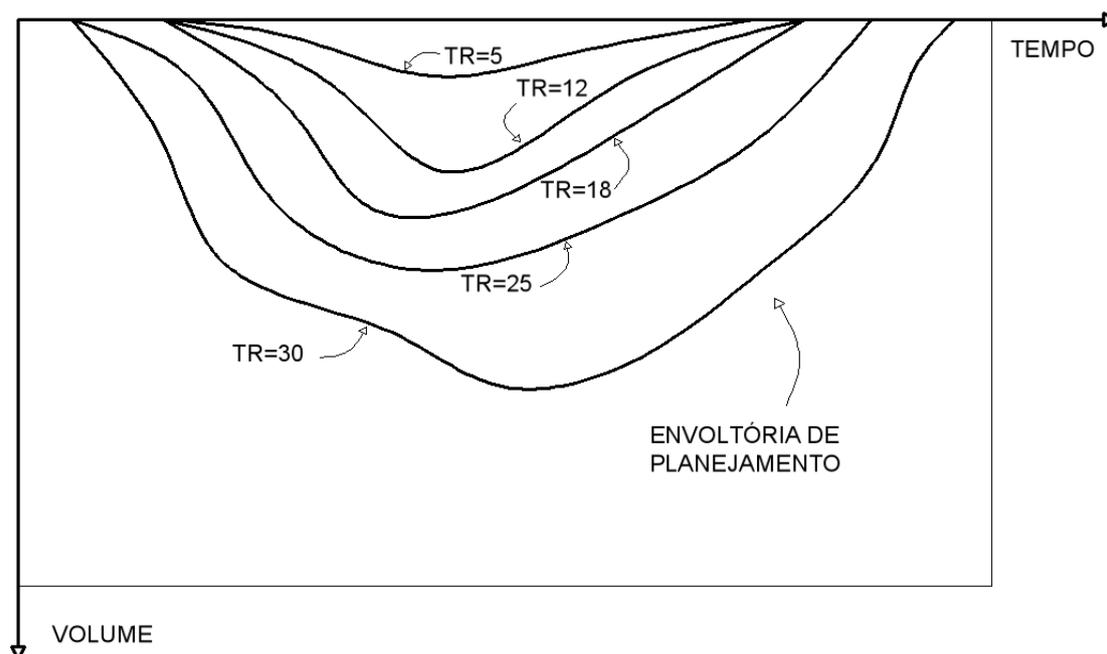


Figura 5.3 – Envoltórias Utilizadas no Estudo de Caso

5.1 Caso 1: Período Chuvoso entre Novembro de 2012 e Abril de 2013

Conforme apresentado no capítulo anterior, o PAVES utiliza os arquivos SUMARIO, gerados pelo programa DECOMP durante a elaboração do PMO e suas revisões durante a estação chuvosa, como arquivo de entrada para sua execução. Os níveis programados para cada semana estão mostrados nas Tabelas 5.1 e 5.2. Os aproveitamentos que não apresentam valores de nível de armazenamento têm volume útil igual a zero, ou seja, são aproveitamentos à fio d'água.

Tabela 5.1 – Valores Programados para os Níveis de Armazenamento dos Aproveitamentos em Percentual de volume útil no Período Chuvoso de 2012/2013

Ano: 12/13	SEMANA													
RESERVATÓRIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6 Furnas	29,7	24,2	20,9	19,0	20,0	14,6	12,2	16,0	12,4	16,8	11,7	25,9	26,8	29,9
7 Mmoreaes	85,1	94,9	87,2	86,8	82,8	80,0	80,0	77,6	80,0	80,0	79,0	75,3	79,0	75,3
10 Igarapava	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 VGrande	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 PColombia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 Marimbondo	26,4	22,8	21,5	25,2	26,1	16,1	16,6	19,5	17,8	25,6	27,3	34,6	35,8	58,6
18 AVermelha	16,8	13,3	14,0	21,8	18,1	10,2	13,9	11,9	17,0	13,7	15,6	20,8	25,4	37,0
24 Emborcacao	45,4	46,1	46,2	45,6	45,2	43,8	42,2	39,9	37,8	36,3	33,6	30,5	32,1	33,0
25 NPonte	41,0	39,9	38,2	37,3	35,5	34,7	32,4	31,6	30,7	30,0	27,6	26,3	27,7	26,7
31 Itumbiara	12,3	10,0	12,6	15,2	17,1	14,7	15,3	13,2	13,9	13,1	13,9	12,6	19,2	24,6
33 SSimaio	31,0	24,6	15,5	23,6	19,3	13,1	24,4	22,5	33,9	34,9	30,0	26,1	29,5	33,7
37 BBonita	55,3	57,2	52,5	53,9	54,3	49,5	53,8	50,5	65,0	70,0	69,8	70,6	82,1	82,8
40 Promissao	38,4	41,5	34,9	38,2	33,4	28,7	31,9	30,9	43,7	46,1	45,2	34,3	55,4	55,4
44 ISolteira-Eq	52,0	48,8	50,0	46,8	45,8	45,6	45,8	45,8	45,8	45,8	45,6	45,8	45,8	45,8
45 Jupia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47 Jurumirim	41,3	37,3	35,5	35,2	32,6	36,0	27,0	40,8	31,7	31,4	39,1	32,1	35,3	36,1
49 Xavantes	40,9	38,9	32,6	30,2	29,1	37,2	27,0	36,6	27,6	27,7	34,3	28,3	30,0	27,7
61 Capivara	44,0	39,5	34,7	35,4	31,4	41,3	28,3	34,5	31,3	29,9	36,5	40,5	36,5	40,5
600 P.S.Jose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 5.2 – Valores Programados para os Níveis de Armazenamento dos Aproveitamentos em Percentual de volume útil no Período Chuvoso de 2012/2013

RESERVATÓRIO	SEMANA												
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
6 Furnas	40,9	44,9	49,3	47,9	50,0	54,6	57,5	58,6	60,6	64,9	68,5	70,6	70,7
7 Mmoraes	83,2	80,4	75,3	85,3	86,7	84,9	84,8	80,2	91,5	82,6	82,5	84,7	81,5
10 Igarapava	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 VGrande	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 PColombia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 Marimbondo	38,1	43,9	56,2	55,1	53,8	55,2	49,0	65,3	70,6	70,1	72,0	80,4	86,6
18 AVermelha	30,1	34,3	52,6	48,2	43,2	45,3	53,5	55,6	58,7	70,7	76,7	81,3	78,1
24 Emborcacao	35,2	38,2	36,7	36,3	36,3	37,7	37,7	39,4	41,0	42,2	43,0	45,4	45,1
25 NPonte	29,3	31,3	30,9	30,0	30,1	33,4	32,6	34,3	36,7	37,1	38,8	40,4	39,9
31 Itumbiara	27,4	39,4	34,8	32,4	33,7	33,9	33,6	35,5	37,5	49,3	58,1	65,7	66,4
33 SSimao	52,6	64,8	75,3	78,5	67,0	68,3	72,0	71,0	66,8	82,5	83,9	83,6	83,8
37 BBonita	81,6	84,4	86,4	86,4	83,9	85,7	85,6	88,2	89,9	91,0	93,8	93,8	93,8
40 Promissao	55,9	88,3	85,0	90,2	77,8	69,5	93,3	92,5	95,2	93,6	90,9	98,5	92,5
44 ISolteira-Eq	45,8	49,8	54,2	58,8	63,5	65,9	59,7	78,8	85,0	93,1	94,1	97,8	100,0
45 Jupia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47 Jurumirim	50,3	49,7	44,6	44,8	49,1	49,6	55,2	61,8	63,2	65,4	70,7	75,9	74,2
49 Xavantes	39,1	42,3	43,8	33,4	37,1	38,7	40,7	40,8	42,8	48,0	55,8	61,0	62,2
61 Capivara	46,1	58,5	65,2	62,1	68,6	68,6	85,2	84,1	86,9	95,9	99,6	99,6	100,0
600 P.S.Jose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Para ilustrar como o acompanhamento é feito, mostraremos os dados obtidos pela execução do PAVES através de gráficos e tabelas.

Nesta estação chuvosa, considerada seca pelos critérios do modelo ENSOCLAS em um estudo preliminar, não houve utilização dos volumes de espera em nenhum momento devido à combinação entre os baixos níveis de armazenamento no início da estação e as baixas afluições durante a mesma. Para a ilustração dos níveis e demais resultados, foi adotado um critério de escolha dos sistemas parciais, cujos resultados serão apresentados, que permanecerá até o final do trabalho. O primeiro sistema parcial escolhido foi o 176, ponto de controle em Jupia, com 15 aproveitamentos: Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo, Água Vermelha, Emborcação, Nova Ponte, Itumbiara, São Simão, Barra Bonita, Promissão, Ilha Solteira e Jupia, e o segundo foi o 760, ponto de controle em Porto São José, com 18 aproveitamentos: Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo, Água Vermelha, Emborcação, Nova Ponte, Itumbiara, São Simão, Barra Bonita, Promissão, Ilha Solteira, Jupia, Jurumirim, Xavantes e Capivara. Esses sistemas parciais têm grande importância por serem os maiores e seus pontos de controle serem os mais à jusante da bacia e, por isso, dão uma idéia da utilização dos volumes de espera na bacia como um todo. Essa seleção mostrou-se necessária devido ao grande número de sistemas parciais da bacia do Paraná, assim os demais resultados estão apresentados no Anexo I. A Figura 5.4 mostra o topológico desses dois sistemas parciais.

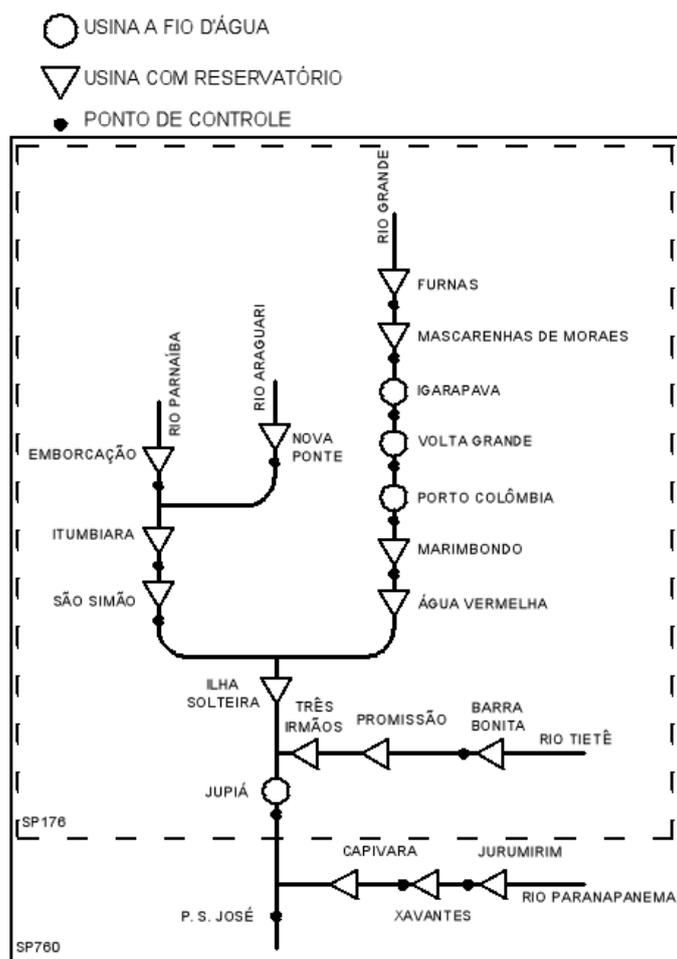


Figura 5.4 – Topológico dos SPs 176 e 760

A seguir, nas Figuras 5.5 e 5.6, serão apresentados os níveis de armazenamento e as envoltórias de planejamento dos sistemas parciais 176 e 760 no período chuvoso 2012/2013.

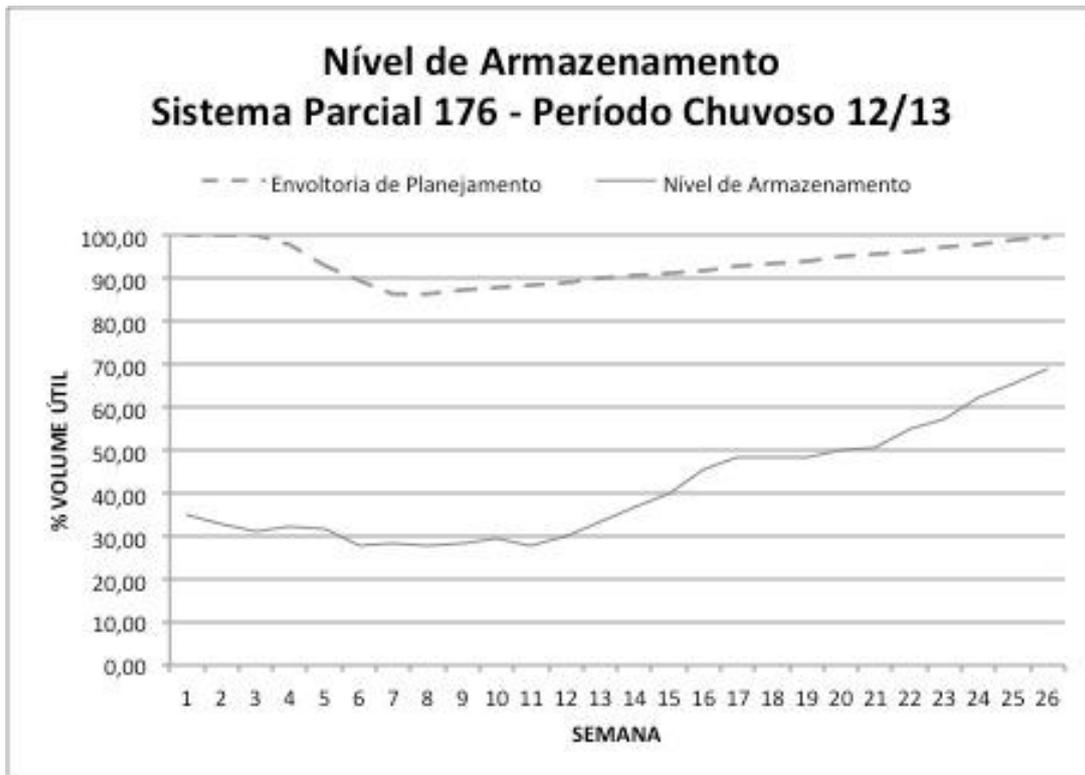


Figura 5.5 – Nível de Armazenamento e Envolvoria de Planejamento do SP 176 para o Período Chuvoso de 2012/2013

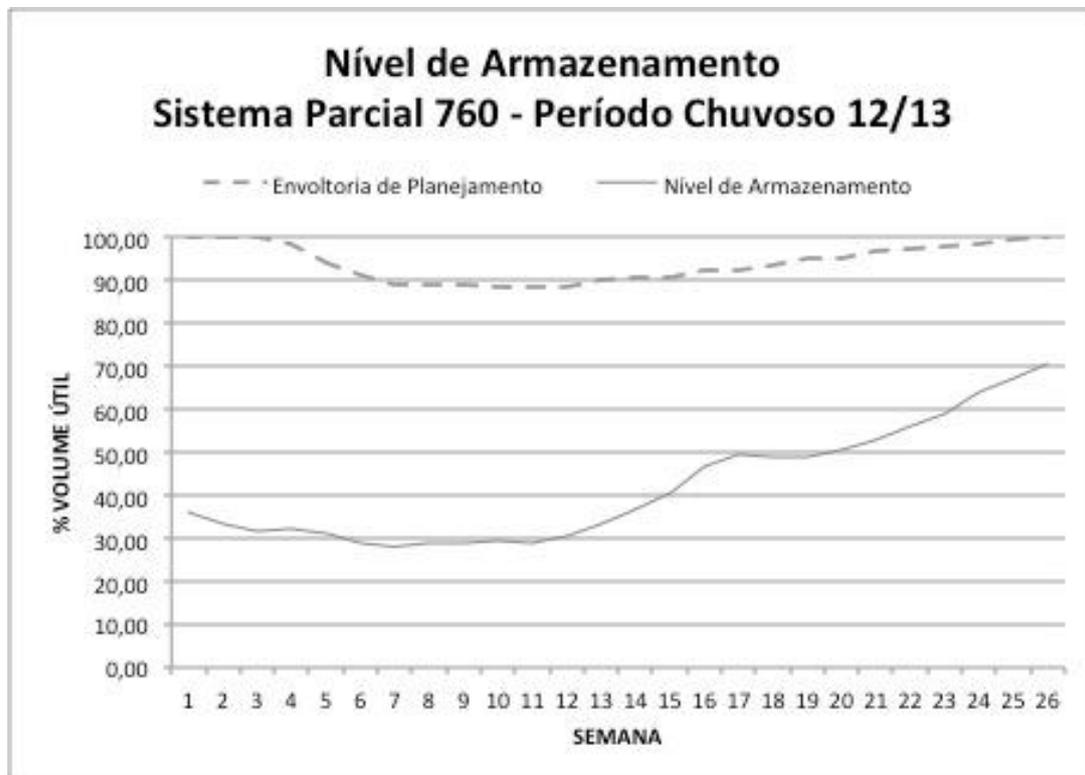


Figura 5.6 – Nível de Armazenamento e Envolvoria de Planejamento do SP 760 para o Período Chuvoso de 2012/2013

Nas Figuras 5.5 e 5.6, pode-se observar a não utilização dos volumes de espera dos dois sistemas parciais definidos pelas suas envoltórias de planejamento. Nota-se que os níveis de armazenamento, em ambos os sistemas parciais, se mantiveram muito baixos até aproximadamente a metade do período chuvoso, quando, somente após este tempo, houve o aumento dos níveis. No entanto, as afluições não foram capazes de elevar a ocupação do volume útil a mais de 70% antes do fim da estação chuvosa. Para uma análise mais profunda desse período, no Tópico 5.3, será apresentado uma comparação entre os dois períodos estudados.

5.2 Caso 2: Período Chuvoso entre Novembro de 2006 e Abril de 2007

As Tabelas 5.3 e 5.4 mostram os níveis programados para cada semana do período chuvoso 2006/2007. Os aproveitamentos que não apresentam valores para o nível de armazenamento têm volume útil igual a zero, ou seja, são aproveitamentos à fio d'água.

Tabela 5.3 – Valores Programados para os Níveis de Armazenamento dos Aproveitamentos em Percentual do Volume Útil no Período Chuvoso de 2006/2007

Ano: 06/07 RESERVATÓRIO	SEMANA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6 Furnas	45,8	42,3	41,7	40,0	38,1	43,2	41,6	42,9	47,8	49,9	59,1	68,4	81,1	95,3
7 Mmoraes	81,5	80,0	86,0	82,5	80,0	80,0	80,0	90,9	90,0	99,8	90,0	93,2	100,0	100,0
10 Igarapava	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 VGrande	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 PColombia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 Marimbondo	41,5	38,8	34,8	43,6	40,5	40,4	41,9	45,9	52,8	66,9	86,8	85,0	85,4	93,1
18 AVermelha	20,6	18,1	20,0	17,9	16,4	20,9	34,1	35,7	34,8	35,0	29,2	65,0	80,6	86,0
24 Emborcacao	54,0	53,0	52,0	50,0	48,4	47,6	50,6	55,8	59,7	59,8	68,3	79,5	86,0	93,6
25 NPonte	86,1	84,3	84,9	83,2	81,2	82,2	82,5	86,8	94,4	93,0	98,3	91,4	99,1	99,4
31 Itumbiara	28,0	26,7	27,2	28,2	24,6	25,4	31,2	42,7	44,3	53,9	69,6	88,0	93,4	97,2
33 SSimao	10,0	19,7	36,8	18,7	10,0	10,0	10,0	39,9	82,3	93,4	85,4	77,0	84,5	98,5
37 BBonita	50,5	48,3	49,7	48,3	48,3	53,2	59,5	62,0	57,6	70,4	77,5	79,3	78,8	79,7
40 Promissao	34,4	31,3	29,0	29,0	32,1	29,0	55,9	49,2	46,1	68,9	72,5	85,0	99,7	99,8
44 ISolteira-Eq	88,0	54,9	59,4	63,6	58,5	54,7	48,2	47,2	59,5	46,3	46,0	60,0	46,3	46,1
45 Jupia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47 Jurumirim	33,8	30,4	29,0	28,1	29,3	29,7	35,9	37,8	36,0	41,6	44,8	62,4	63,4	67,2
49 Xavantes	33,2	32,2	29,2	25,0	25,8	28,9	31,9	31,7	29,0	32,5	33,7	45,5	45,8	47,9
61 Capivara	23,6	20,0	20,8	17,4	16,7	14,7	19,1	22,7	22,6	36,3	33,9	61,1	64,1	73,0
600 P.S.Jose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 5.4 – Valores Esperados para os Níveis dos Aproveitamentos em Percentual no Período Chuvoso de 2006/2007

RESERVATÓRIO	SEMANA												
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
6 Furnas	95,0	98,5	98,5	98,5	97,0	100,0	96,6	98,3	100,0	98,3	98,2	98,8	97,7
7 Mmoraes	95,0	95,0	95,0	95,0	89,5	83,5	97,1	100,0	84,3	98,3	98,0	89,9	97,9
10 Igarapava	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 VGrande	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 PColombia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 Marimbondo	95,0	95,0	91,5	91,5	80,0	91,5	85,8	88,7	95,0	88,5	91,4	91,5	93,3
18 AVermelha	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	22,1	99,9	100,0	100,0	91,8	89,7	100,0	94,6
24 Emborcacao	93,0	99,0	99,0	99,0	97,3	97,9	97,9	100,0	100,0	98,3	99,9	99,4	98,9
25 NPonte	99,0	99,0	99,0	99,0	98,0	98,4	98,7	99,9	100,0	99,9	100,0	99,7	99,8
31 Itumbiara	97,0	98,5	97,5	97,5	95,7	100,0	100,0	100,0	100,0	97,7	99,3	99,1	99,7
33 SSímao	100,0	100,0	100,0	100,0	80,5	100,0	93,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
37 BBonita	80,0	82,1	83,6	84,4	82,1	90,3	86,9	92,0	88,7	87,5	91,1	91,7	91,2
40 Promissao	100,0	92,3	100,0	100,0	97,0	91,2	98,4	100,0	100,0	96,1	99,6	99,1	94,0
44 ISolteira-Eq	72,1	79,7	66,7	64,8	55,0	65,0	52,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
45 Jupia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47 Jurumirim	78,7	81,1	80,0	85,6	83,8	81,6	84,7	84,4	82,2	80,3	79,3	78,2	76,4
49 Xavantes	54,7	55,8	56,3	64,3	68,6	72,6	73,9	71,7	70,9	69,3	68,0	67,1	66,0
61 Capivara	79,3	85,6	87,6	100,0	100,0	97,3	98,3	97,6	100,0	95,7	97,0	95,6	94,2
600 P.S.Jose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nesta estação chuvosa, dita úmida pelos critérios do modelo ENSOCLAS, a utilização de volumes de espera deu-se a partir da semana 13 estendendo-se até a semana 25, podendo-se observar a utilização de volume de espera ao longo do período. Também é possível analisar o reenchimento dos reservatórios pelo aumento do nível de armazenamento nos dois sistemas parciais, chegando, quase em todos os casos, a 100% de utilização de armazenamento.

Seguindo os critérios descritos no Tópico 5.1 para a escolha dos sistemas parciais, serão mostrados os resultados para os sistemas 176 e 760 para a estação chuvosa estudada neste momento.

As Figuras 5.7 e 5.8 mostram os níveis de armazenamento alcançados por esses sistemas parciais e suas envoltórias de planejamento. Os volumes de espera estão apresentados em tabelas, logo abaixo dos gráficos, que mostram o percentual do volume de espera, em relação ao volume útil, utilizado na respectiva semana. As Tabelas 5.5 e 5.6 mostram esses volumes.

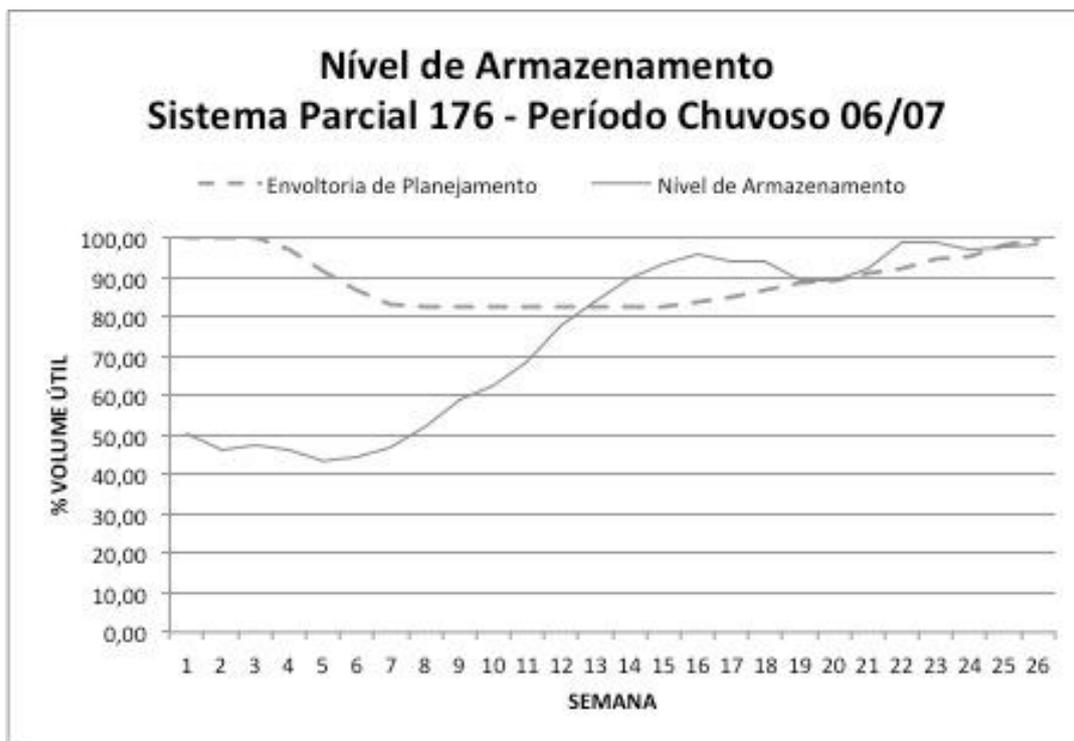


Figura 5.7 – Nível de Armazenamento e Envoltória de Planejamento do SP 176 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela 5.5 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 176 e Riscos Durante o Período Chuvoso de 2006/2007 para Cada Semana

Sistema Parcial 176		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	6,48	2
14	42,28	4
15	61,19	4
16	76,12	5
17	62,05	4
18	56,39	4
19	7,24	1
20	0,89	1
21	11,38	1
22	82,52	5
23	77,91	5
24	39,03	3
25	0,00	0
26	0,00	0

De acordo com a tabela 5.5, houve necessidade de utilização dos volumes de espera para o sistema parcial 176, da semana 13 até praticamente o final do período úmido (semana 24). Durante três semanas, foi necessário utilizar o último conjunto de envoltória (risco igual a 5 e TR menor que 5 anos).

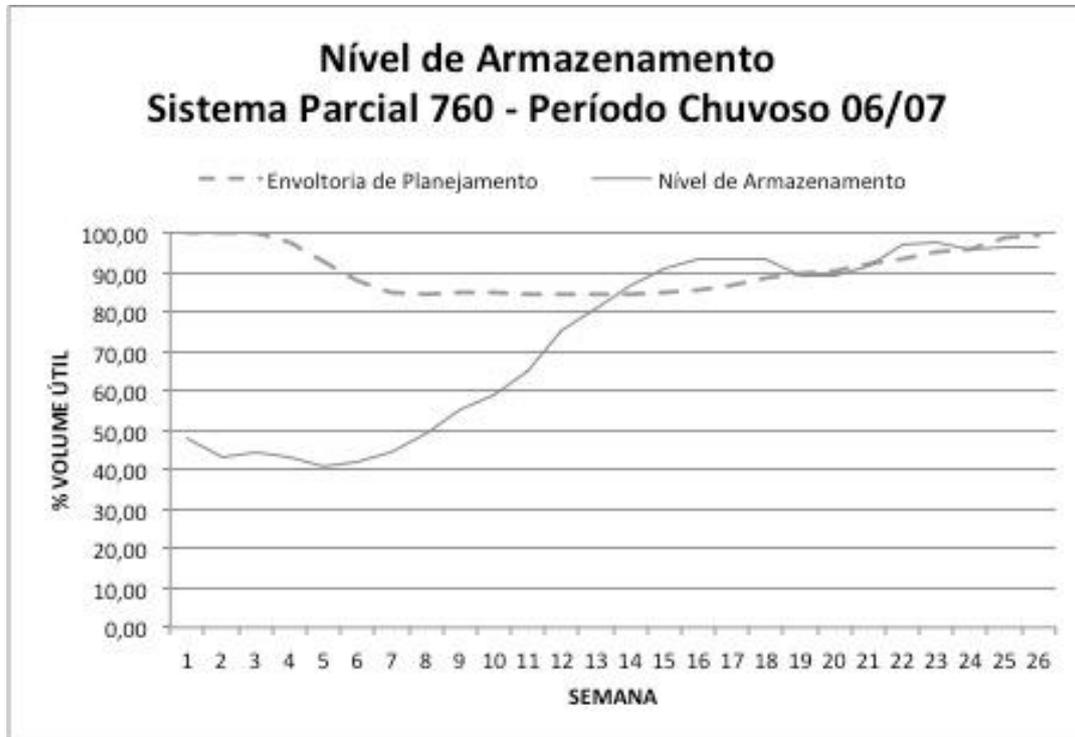


Figura 5.8 – Nível de Armazenamento e Envoltória de Planejamento do SP 760 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela 5.6 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 760 e Riscos Durante o Período Chuvoso de 2006/2007 para Cada Semana

Sistema Parcial 760		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	14,25	2
15	38,98	3
16	56,31	4
17	48,51	4
18	42,76	4
19	0,00	0
20	0,00	0
21	0,00	0
22	58,88	4
23	45,58	4
24	0,00	0
25	0,00	0
26	0,00	0

O sistema parcial 760 necessitou utilizar os volumes de espera referentes ao 4º conjunto de envoltórias (risco igual a 4 e TR menor que 12 anos) durante algumas semanas do período chuvoso. Nas semanas 19 a 21, a operação dos reservatórios conseguiu esvaziar o sistema de modo a retornar o nível dos reservatórios ao nível da envoltória do planejamento (TR igual a 30 anos), de acordo com as regras de operação de controle de cheias citadas no capítulo 3.

A seguir, serão mostrados outros sistemas parciais que mereceram destaque durante a análise deste período chuvoso. Por terem atingido um risco maior que os outros de seu ponto de controle, em uma determinada semana, os sistemas parciais 733, 759, 754, 712 e 83 terão seus resultados mostrados a seguir. A Figura 5.9 mostra o topológico da bacia do Paraná com sistemas parciais 733, 754 e 759 destacados, e a Figura 5.10 mostra o topológico dos sistemas parciais 712 e 83, de forma a compreender por qual curso d'água veio determinada cheia, influenciando, ou não, cada sistema.

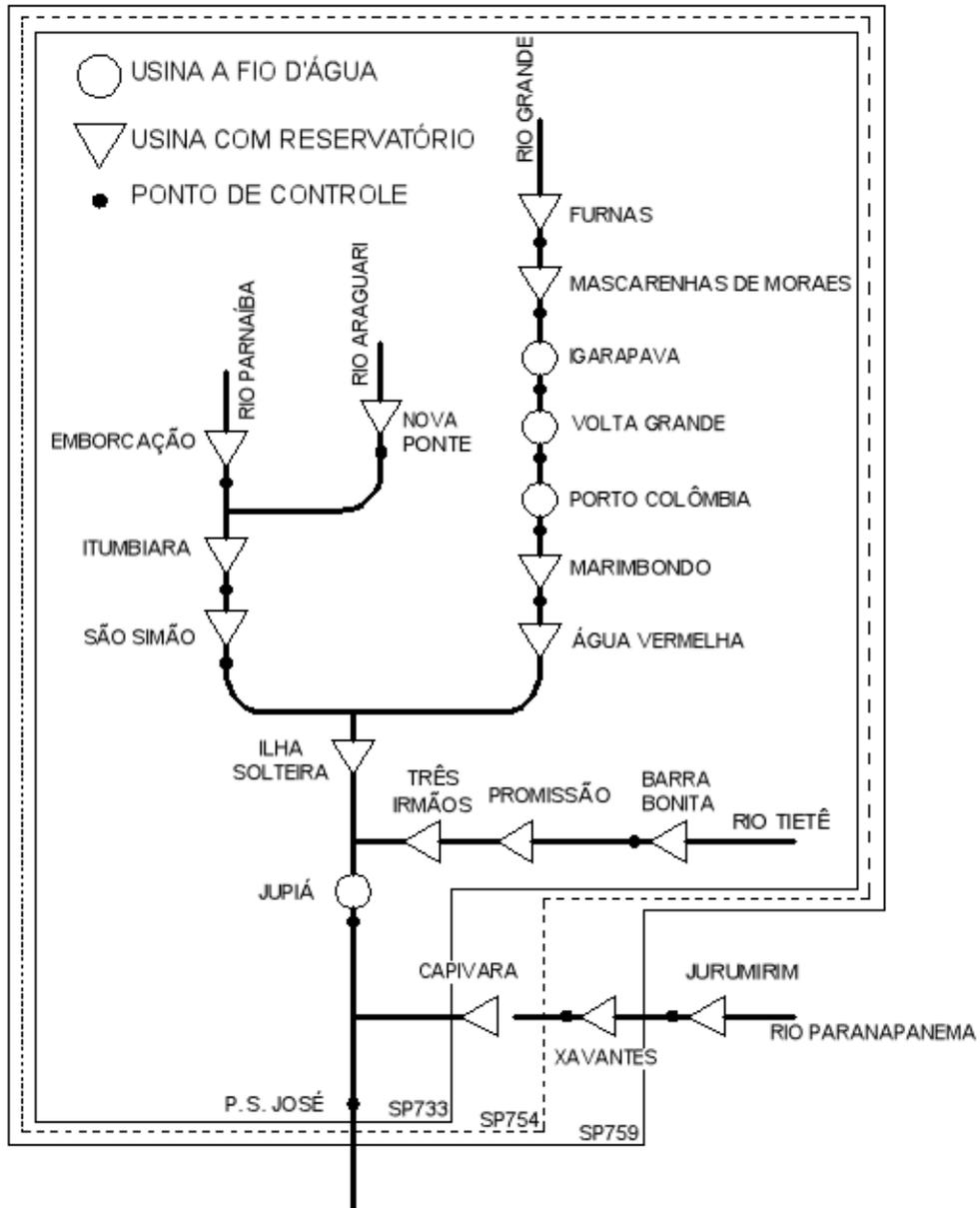


Figura 5.9 – Topológico da bacia do Paraná com Sistemas Parciais 733, 754 e 759 Destacados

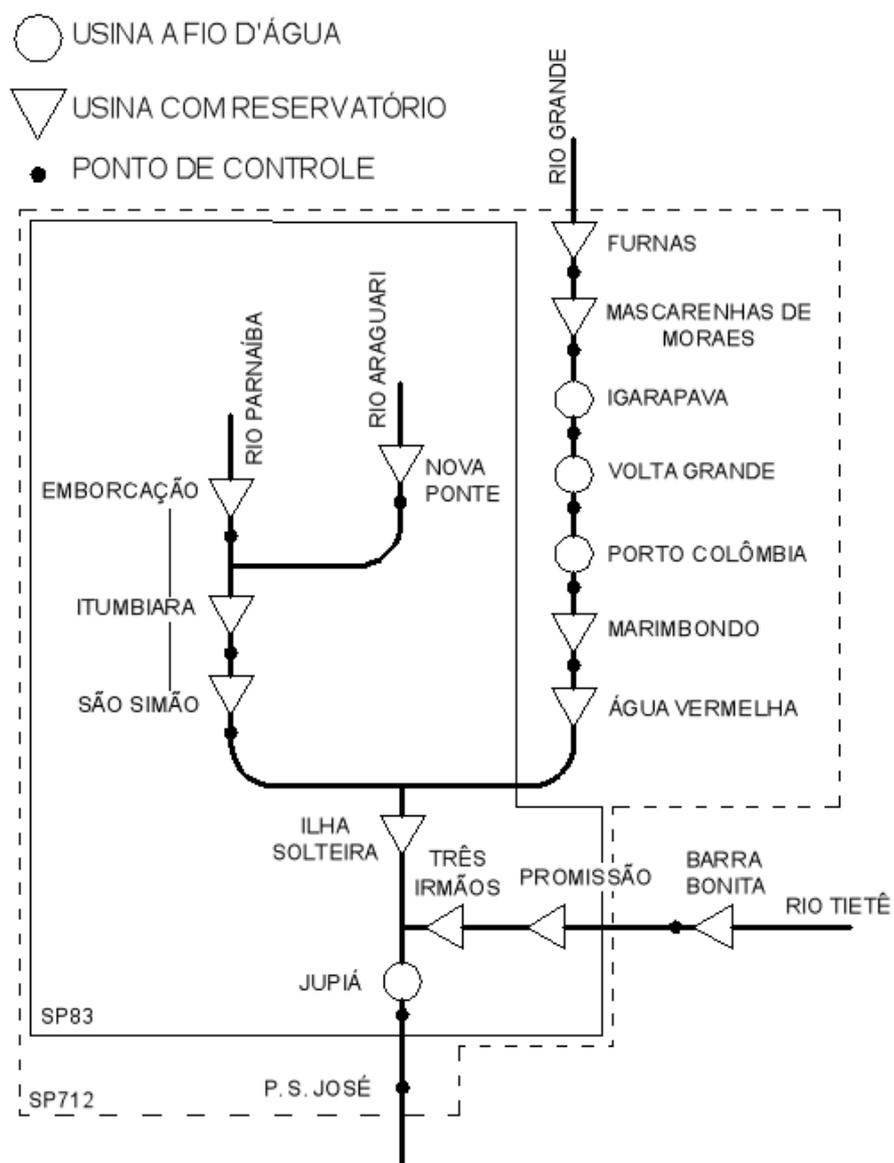


Figura 5.10 – Topológico da bacia do Paraná com Sistemas Parciais 712 e 83 Destacados

Os riscos citados acima podem ser observados no relatório de saída do PAVES, onde existe o histórico de riscos e volumes de espera das semanas anteriores do período chuvoso analisado.

O Sistema Parcial 733 tem seu ponto de controle em Porto São José e é composto pelos aproveitamentos de Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo, Água Vermelha, Emborcação, Nova Ponte, Itumbiara, São Simão, Barra Bonita, Promissão, Ilha Solteira e Jupia.

A Figura 5.11 mostra que este sistema atingiu risco maior que os outros sistemas parciais associados a este ponto de controle nas semanas: 13, 14, 16 e 20.

- Na semana 13, este sistema parcial alcançou o nível de risco 2 (TR inferior a 25 anos), enquanto o maior sistema parcial do ponto de controle associado a este ponto de controle não utilizou nenhum volume de espera de nenhuma das envoltórias.
- Na semana 14, o nível de risco atingido foi 4 (TR inferior a 12 anos), enquanto o maior sistema parcial deste ponto de controle (760) atingiu o nível de risco 2 (TR inferior a 25 anos).
- Na semana 16, o presente sistema atingiu o nível de risco máximo 5 (TR inferior a 5 anos), enquanto o sistema parcial 760 chegou ao nível de risco 4 (TR inferior a 12 anos).
- Na semana 20, o nível de risco atingido foi 1 (TR inferior a 30 anos), enquanto o sistema parcial 760 não utilizou nenhum volume de espera de nenhuma das envoltórias.
- Nas semanas 22 e 23, este sistema parcial ganha destaque por atingir o maior risco possível (TR inferior a 5 anos).

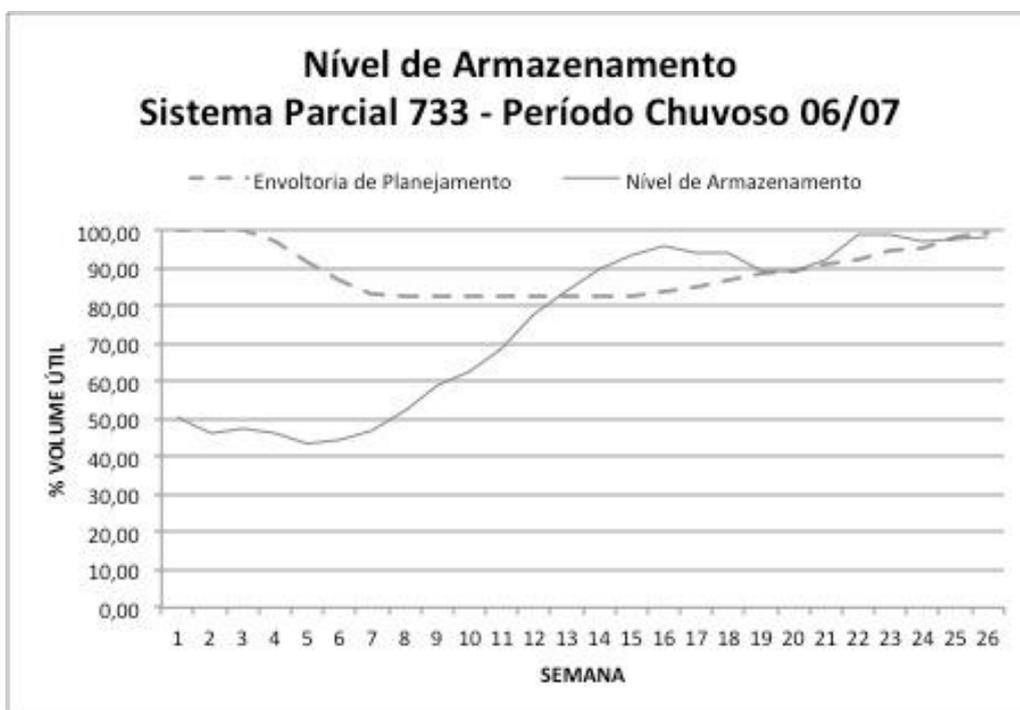


Figura 5.11 – Nível de Armazenamento e Envoltória de Planejamento do SP 733 para o Período Chuvoso de 2006/2007

A Tabela 5.7 apresenta os volumes de espera utilizados e seus riscos associados.

Tabela 5.7 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 733 e Riscos Durante o Período Chuvoso de 2006/2007 para Cada Semana

Sistema Parcial 733		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	6,35	2
14	42,28	4
15	61,19	4
16	76,12	5
17	62,05	4
18	56,39	4
19	7,24	1
20	0,89	1
21	11,38	1
22	82,52	5
23	77,91	5
24	39,03	3
25	0,00	0
26	0,00	0

O Sistema Parcial 759 tem seu ponto de controle em Porto São José e é composto pelos aproveitamentos de Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo, Água Vermelha, Emborcação, Nova Ponte, Itumbiara, São Simão, Barra Bonita, Promissão, Ilha Solteira, Jupia, Xavantes e Capivara. A Figura 5.12 mostra que, na semana 15, atingiu-se a um nível de risco 4 (TR inferior a 12 anos), enquanto o sistema parcial 760 atingiu o nível de risco 3 (TR inferior a 18 anos). Na Tabela 5.8 são apresentados os respectivos volumes de espera utilizados pelo sistema parcial 759.

Nas semanas 19 a 21, a operação dos reservatórios conseguiu esvaziá-los, retornando à envoltória de planejamento (conforme as regras de operação de controle de cheias). Se isso não tivesse sido feito, talvez os reservatórios não teriam conseguido comportar as cheias das semanas 22 e 23, que atingiram risco 4 (TR inferior a 12 anos).

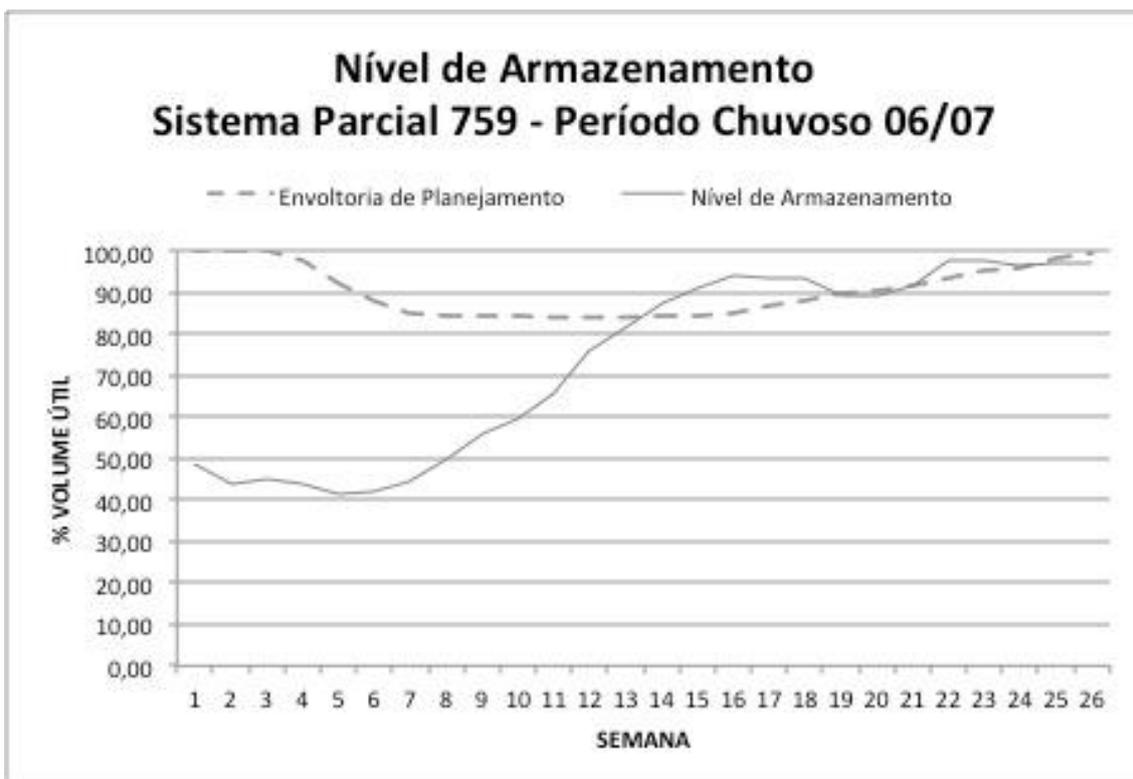


Figura 5.12 – Nível de Armazenamento e Envoltória de Planejamento do SP 759 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela 5.8 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 759 e Riscos Durante o Período Chuvoso de 2006/2007 para Cada Semana

Sistema Parcial 759		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	21,23	3
15	43,60	4
16	60,60	4
17	52,08	4
18	46,79	4
19	0,00	0
20	0,00	0
21	0,00	0
22	66,71	4
23	58,15	4
24	7,57	1
25	0,00	0
26	0,00	0

O Sistema Parcial 754 tem seu ponto de controle em Porto São José e é composto pelos aproveitamentos de Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo, Água Vermelha, Emborcação, Nova Ponte, Itumbiara, São Simão, Barra Bonita, Promissão, Ilha Solteira, Jupia e Capivara.

A Figura 5.13 mostra que, nas semanas 19 e 21, o sistema parcial 754 ultrapassou a envoltória de planejamento alcançando o nível de risco 1 (TR inferior a 30 anos), enquanto que, o maior sistema parcial deste ponto de controle (760) não utilizou volumes de espera de nenhuma de suas envoltórias. Além disso, nas semanas 22 e 23 foi necessário utilizar os volumes referentes à envoltória de TR igual a 5 anos (risco igual a 5). A Tabela 5.9 mostra os volumes de espera que foram utilizados por este sistema parcial e seus riscos associados.

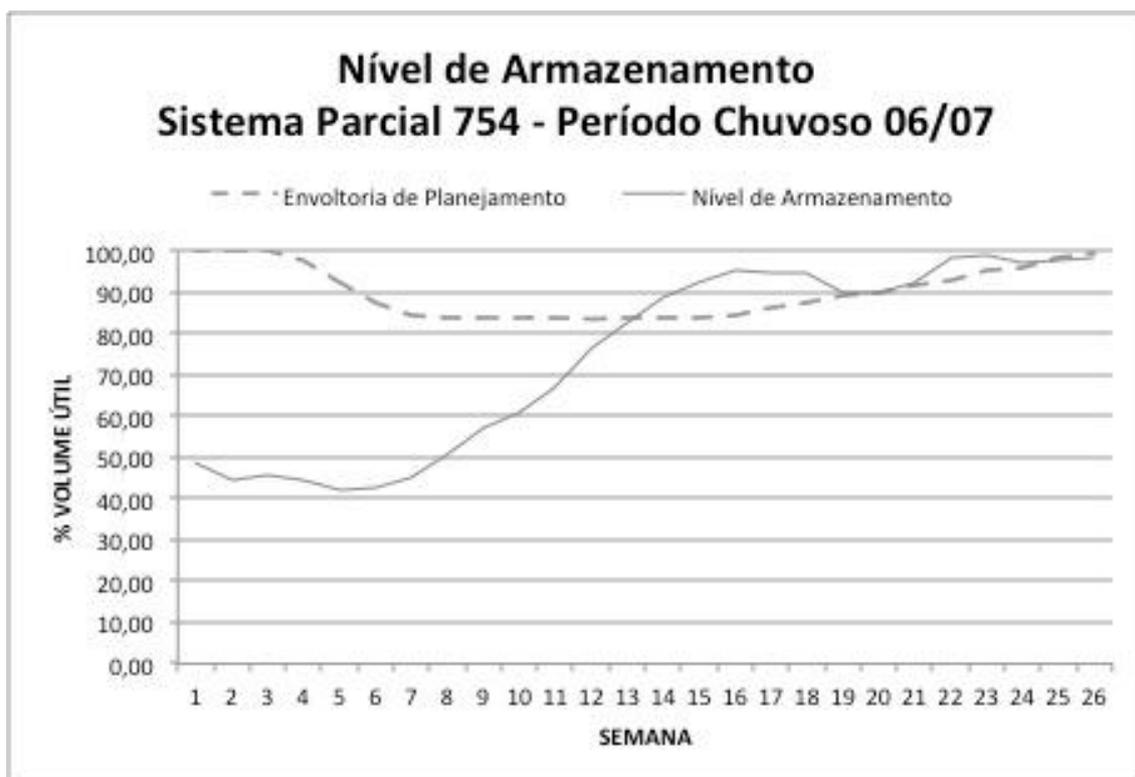


Figura 5.13 – Nível de Armazenamento e Envoltória de Planejamento do SP 754 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela 5.9 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 754 e Riscos Durante o Período Chuvoso de 2006/2007 para Cada Semana

Sistema Parcial 754		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	31,89	3
15	53,06	4
16	70,22	4
17	61,64	4
18	56,39	4
19	7,24	1
20	0,00	0
21	10,11	1
22	80,35	5
23	77,91	5
24	32,46	2
25	0,00	0
26	0,00	0

O Sistema Parcial 712 tem seu ponto de controle em Porto São José e é composto pelos aproveitamentos de Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo, Água Vermelha, Emborcação, Nova Ponte, Itumbiara, São Simão, Promissão, Ilha Solteira e Jupuíá.

A Figura 5.14 mostra que o sistema parcial 712 utilizou volumes de espera da semana 13 a semana 24, nesta última semana, atingiu um nível que o levou ao risco 4 (TR inferior a 12 anos), enquanto que, o sistema parcial 760 não utilizou volumes de espera de nenhuma de suas envoltórias na semana 24. A Tabela 5.10 mostra as características do volume de espera desse sistema parcial.

Essa tabela também mostra que nas semanas 22 e 23, o sistema parcial atingiu o risco máximo (TR inferior a 5 anos), chegando a quase 85% de utilização de volume de espera.

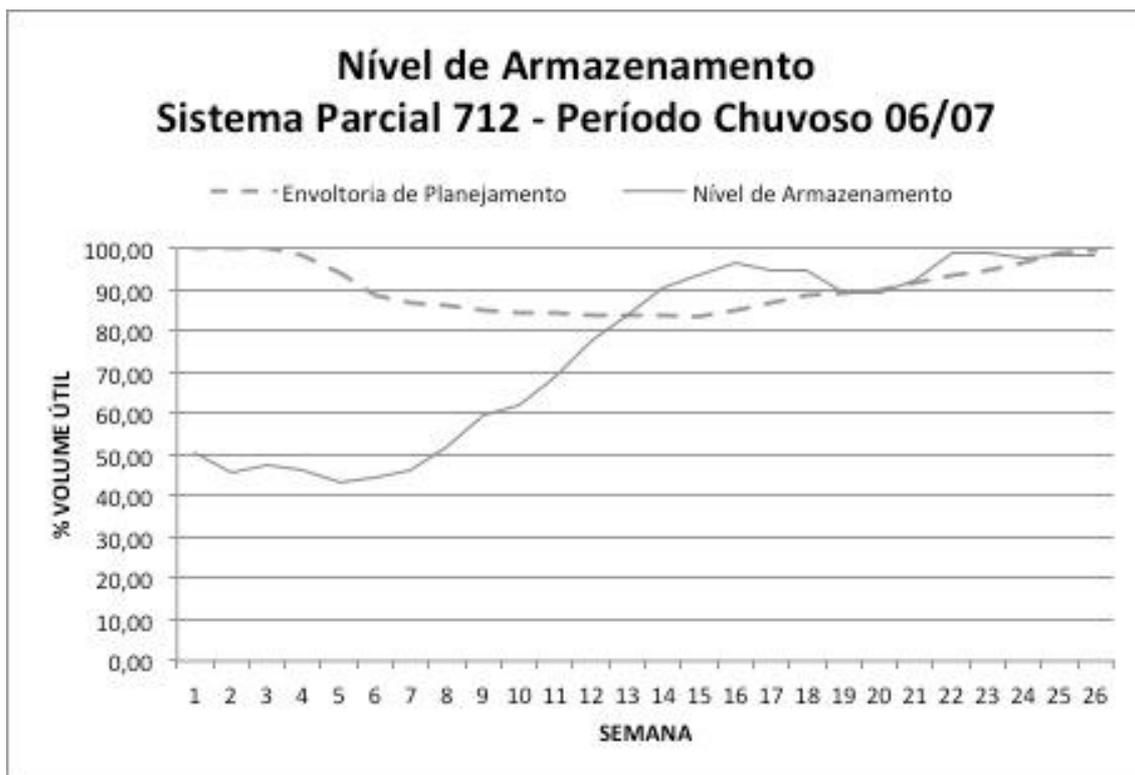


Figura 5.14 – Nível de Armazenamento e Envoltória de Planejamento do SP 712 Para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela 5.10 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 712 e Riscos Durante o Período Chuvoso de 2006/2007 para Cada Semana

Sistema Parcial 712		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	1,20	2
14	40,19	4
15	62,25	4
16	76,77	5
17	60,71	4
18	51,64	4
19	3,34	1
20	0,00	0
21	5,53	1
22	83,92	5
23	84,34	5
24	35,97	4
25	0,00	0
26	0,00	0

O Sistema Parcial 83 tem seu ponto de controle Jupιά e é composto pelos aproveitamentos de Emborcação, Nova Ponte, Itumbiara, São Simão, Promissão, Ilha Solteira e Jupιά.

Na semana 25, ele utilizou 16,35% do volume de espera atingindo um nível de armazenamento que o levou ao risco 4, enquanto o sistema parcial 176, não fez uso de volumes de espera de nenhuma das envoltórias. Na semana 22, o sistema precisou utilizar praticamente todo o volume de espera alocado. A Figura 5.15 mostra a evolução dos níveis de armazenamento durante o período chuvoso e a Tabela 5.11 apresenta os volumes de espera utilizados pelo sistema parcial e seus riscos associados.

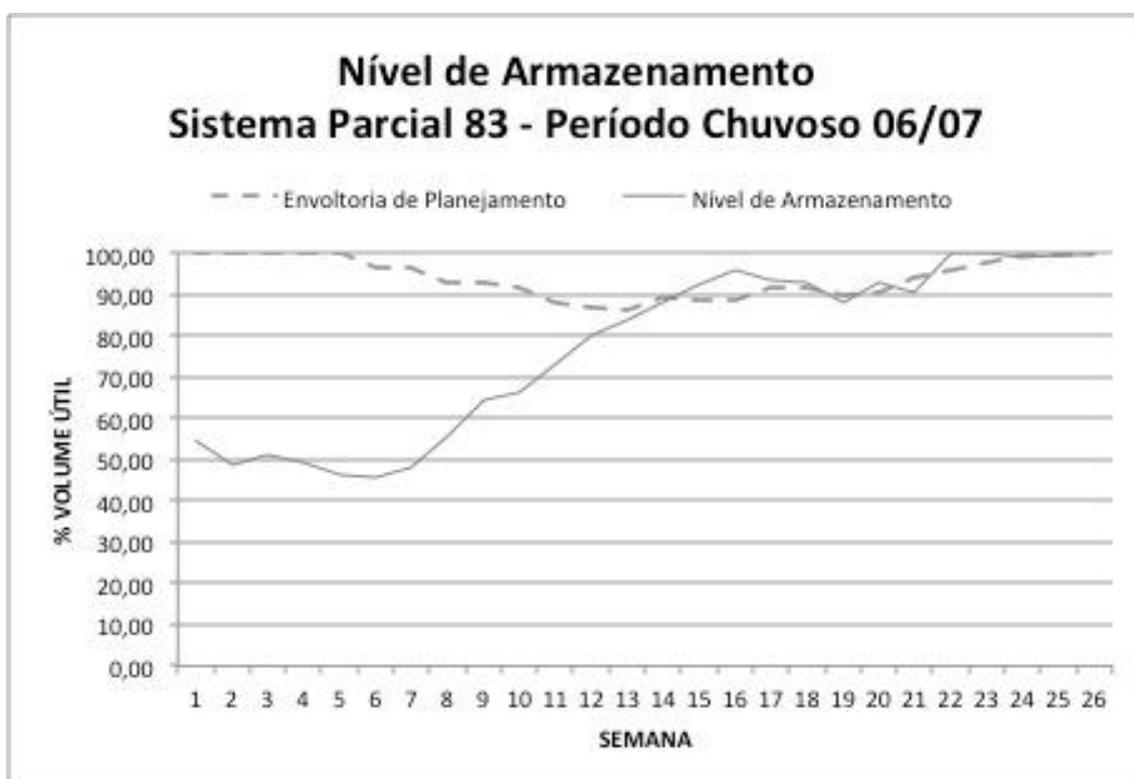


Figura 5.15 – Nível de Armazenamento e Envoltória de Planejamento do SP 83 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela 5.11 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 83 e Riscos Durante o Período Chuvoso de 2006/2007 para Cada Semana

Sistema Parcial 83		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	0,00	0
15	35,34	2
16	62,02	4
17	21,36	4
18	13,11	2
19	0,00	0
20	23,00	1
21	0,00	0
22	99,50	5
23	96,48	5
24	0,00	0
25	16,35	4
26	0,00	0

As Tabelas 5.12 e 5.13 mostram, para cada ponto de controle, os maiores riscos atingidos pelos níveis de armazenamento dos seus sistemas parciais, em cada semana do período chuvoso, a partir do momento que iniciou-se a utilização dos volumes de espera, ou seja, da semana 13, indo até o fim da estação chuvosa, na semana 26. Entre as semanas 1 e 12, o nível de armazenamento não foi suficiente para alcançar nenhuma envoltória, assim o risco foi zero.

Tabela 5.12 – Riscos dos Pontos de Controle Referentes aos Níveis de Armazenamento Entre as Semanas 13 e 19

PONTO DE CONTROLE	SEMANA						
	13	14	15	16	17	18	19
Furnas	0	0	0	3	2	1	0
Mascarenhas de Moraes	0	0	0	2	2	1	0
Igarapava	0	2	0	4	3	3	0
Volta Grande	0	2	0	4	3	3	0
Porto Colômbia	0	2	0	4	3	3	0
Marimbondo	0	0	0	2	0	0	0
Emborcação	0	0	0	0	0	0	0
Itumbiara	0	2	0	4	3	3	0
São Simão	0	1	0	4	3	3	0
Jupia	2	4	4	5	4	4	1
P.S.José	2	4	4	5	4	4	1

Tabela 5.13 – Riscos dos Pontos de Controle Referentes aos Níveis de Armazenamento Entre as Semanas 19 e 26

PONTO DE CONTROLE	SEMANA						
	20	21	22	23	24	25	26
Furnas	5	0	0	0	0	0	0
Mascarenhas de Moraes	0	0	0	0	0	0	0
Igarapava	2	0	0	0	0	0	0
Volta Grande	2	0	2	0	0	0	0
Porto Colômbia	2	0	2	0	0	0	0
Marimbondo	0	0	0	0	0	0	0
Emborcação	0	0	0	0	0	0	0
Itumbiara	3	2	5	5	0	1	0
São Simão	3	0	5	4	0	1	0
Jupia	1	1	5	5	4	4	0
P.S.José	1	1	5	5	4	4	0

5.3 Comparação entre os Períodos Chuvosos Estudados

Ao analisarmos as duas estações chuvosas, observamos uma grande diferença entre os níveis de armazenamento durante todo o decorrer do período chuvoso. Enquanto no Caso 2 os sistemas parciais chegaram, em quase sua totalidade, a um nível de armazenamento de 100% de volume útil, o Caso 1 apresenta, em grande parte de seus sistemas parciais um nível de armazenamento em torno de 70% do seu volume útil ao final do período úmido.

Duas análises comparativas podem ser feitas: (a) em relação à diferença entre as envoltórias calculadas para as duas estações chuvosas e, (b) em relação à ocupação dos volumes de espera das respectivas envoltórias e, conseqüentemente, aos níveis de armazenamentos atingidos nas bacias (seus sistemas parciais) nas duas estações chuvosas.

5.3.1 Envoltórias calculadas para as duas estações chuvosas

Como foi mencionado, a diferença entre as classificações, definidas pelo modelo ENSOCLAS para as duas estações, leva à geração de séries sintéticas diferentes, que resulta em envoltórias com diferentes requisições de volumes de espera para as duas estações. Pode-se observar nas Figuras 5.16 e 5.17 que as envoltórias para os sistemas parciais 176 e 760 para a estação chuvosa 2012/2013, que foi classificada como uma estação menos úmida, apresentam necessidades de volumes de espera muito menores que as envoltórias da estação chuvosa 2006/2007, classificada como mais úmida. Isso

porque, no caso da estação menos úmida, as cheias de grande proporção têm probabilidade de ocorrência menor. É importante ressaltar que, os conjuntos de séries sintéticas considerados nos dois estudos são diferentes, uma vez que, os subconjuntos de anos da série histórica considerados para estimar os parâmetros na geração das duas séries sintéticas foram distintos. Por exemplo, no caso da estação chuvosa 2012/2013, classificada como menos úmida, os anos mais úmidos do histórico foram excluídos.

As Figuras 5.16 e 5.17 mostram a comparação das envoltórias de planejamento, dos períodos chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013, para os sistemas parciais escolhidos conforme os critérios descritos no Tópico 5.1.

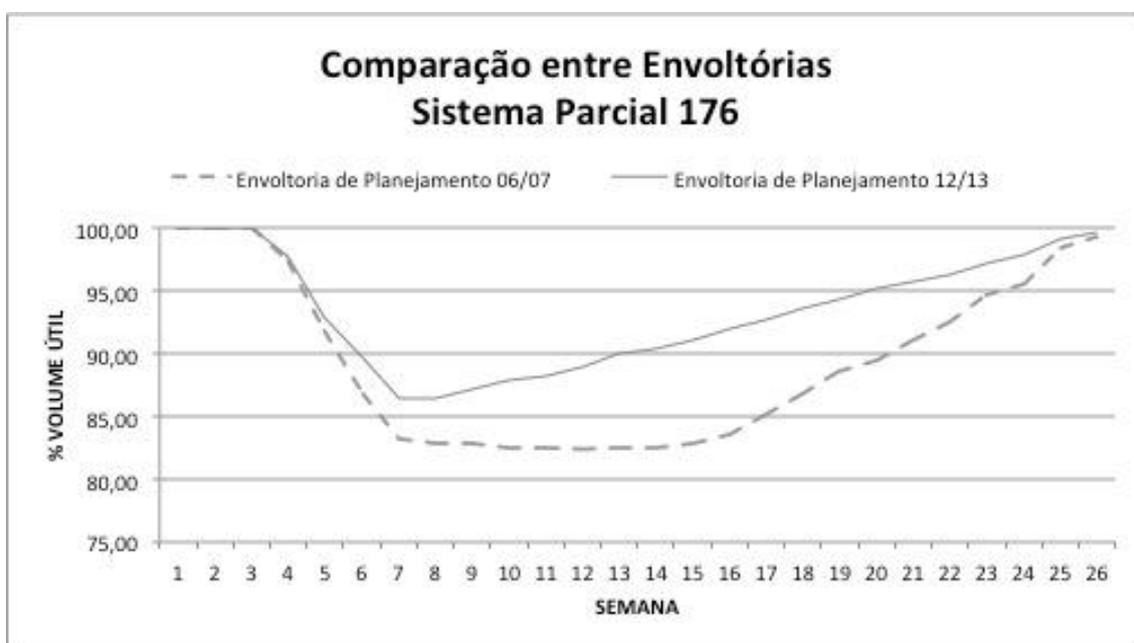


Figura 5.16 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 176 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

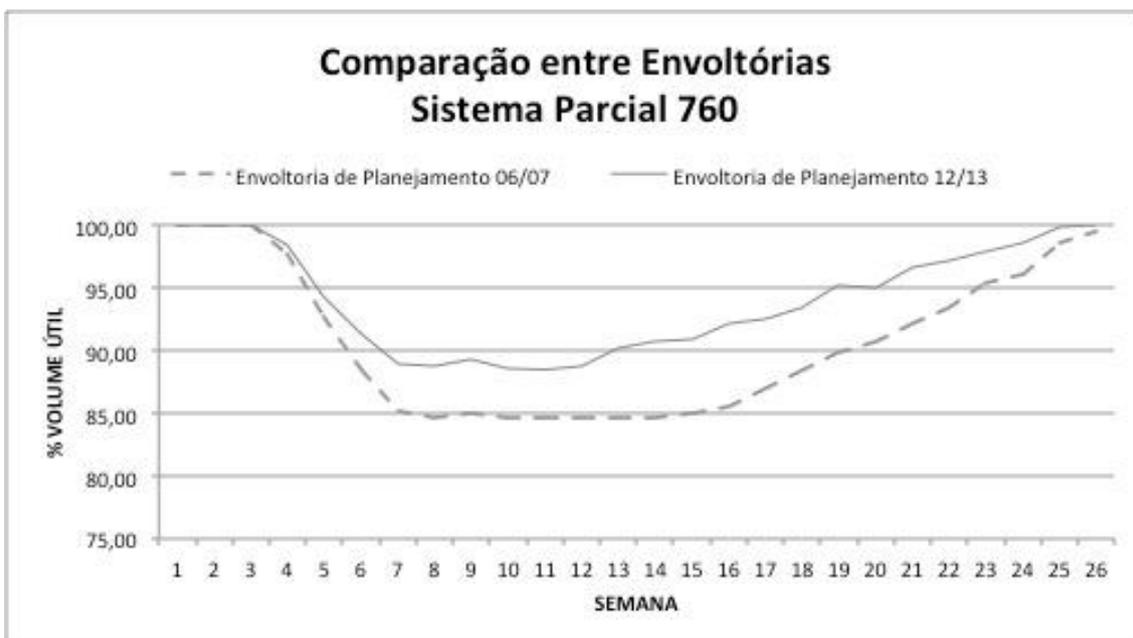


Figura 5.17 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 760 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

Ressalta-se ainda que, no caso dos dois períodos chuvosos estudados, não houve mudança nos reservatórios da bacia considerados para controle de cheias, nem nas vazões de restrição dos pontos de controle, o que poderia levar à alteração das envoltórias e das curvas de níveis de armazenamento dos sistemas parciais de um período para o outro.

5.3.2 Níveis de armazenamento

Como mencionado, em nenhum momento a estação chuvosa do Caso 1 utilizou os volumes de espera, cujos valores requeridos por suas envoltórias eram menores que os referentes ao caso 2. Para observar a diferença entre os níveis de armazenamento resultantes nas duas estações chuvosas, será feita uma comparação desses para os sistemas parciais 176 e 760.

As Figuras 5.18 e 5.19 mostram essa comparação de níveis de armazenamento dos sistemas parciais 176 e 760 nos dois períodos chuvosos estudados neste trabalho.

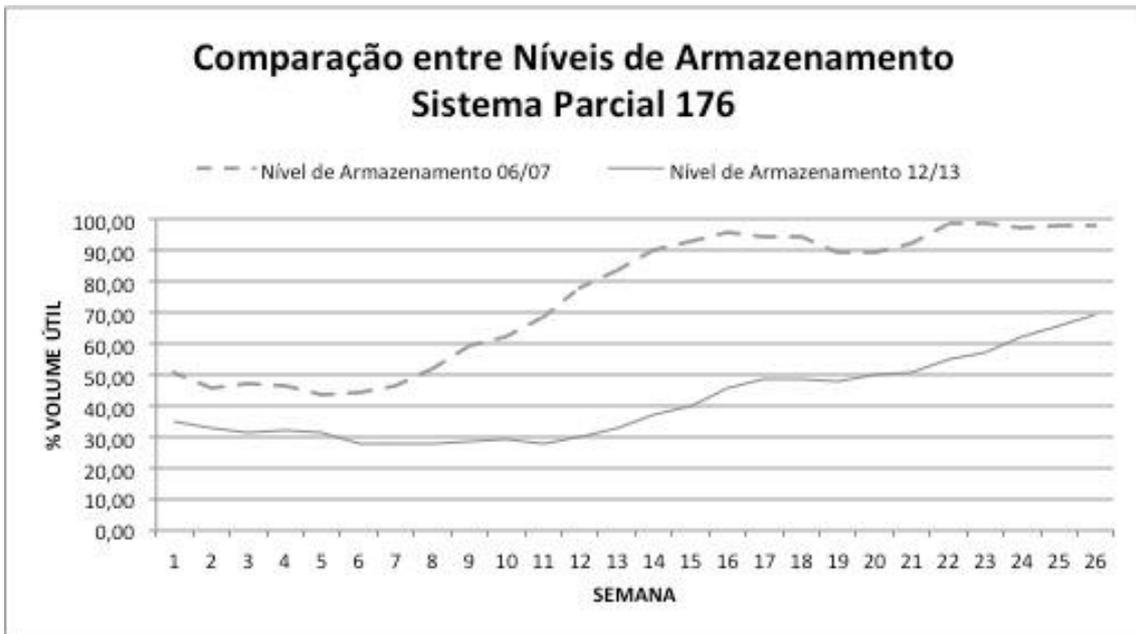


Figura 5.18 – Comparação Entre os Níveis de Armazenamento do SP 176 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

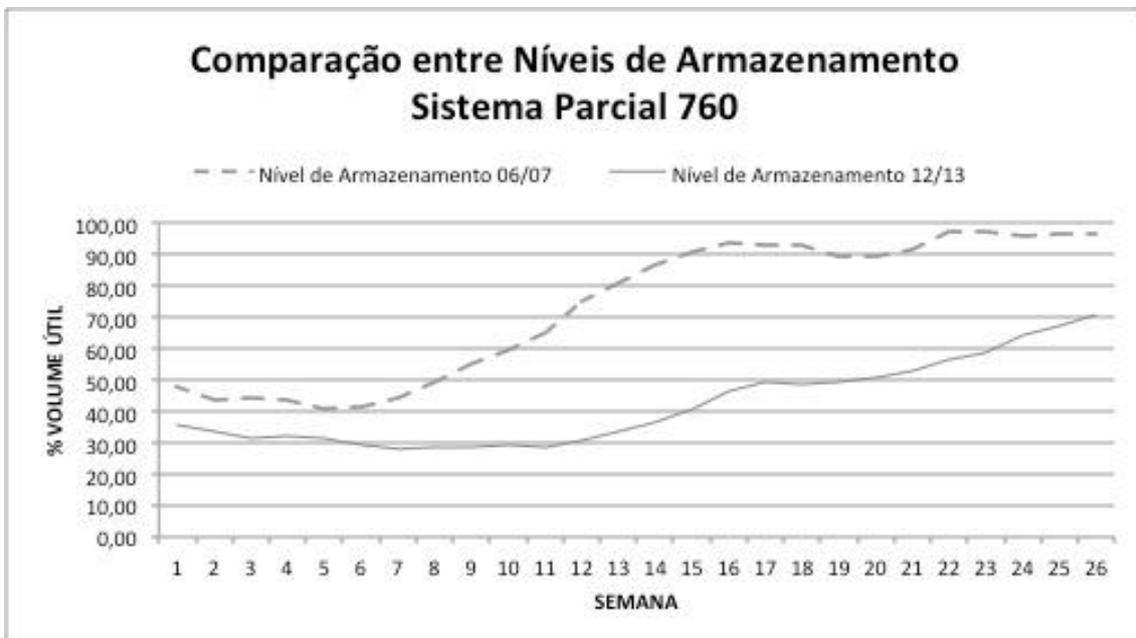


Figura 5.19 – Comparação Entre os Níveis de Armazenamento do SP 760 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

Os gráficos apresentados nas Figuras 5.18 e 5.19 mostraram a diferença entre períodos chuvosos menos úmidos e mais úmidos. Enquanto, em períodos chuvosos com maior quantidade de chuva, a maioria dos sistemas parciais ultrapassa 90% de armazenamento de seu volume útil na semana 15, no período chuvoso mais seco, pode-se observar que, apesar da tentativa de reenchimento, os sistemas parciais pouco ultrapassam 70% do seu nível de armazenamento em relação ao seu volume útil ao final do período. Tal situação do período mais seco se deu devido à combinação entre os baixos níveis de armazenamento no início da estação e as baixas afluências durante a mesma.

Capítulo 6. Conclusões

Neste trabalho, foi desenvolvida uma ferramenta computacional capaz de acompanhar a utilização dos volumes de espera e os riscos atingidos pelos níveis de armazenamento dos sistemas parciais das bacias do SIN. Essa informação é relevante durante o período chuvoso, permitindo a observação da evolução dos riscos relativos à utilização dos volumes vazios, definido por envoltórias relacionadas aos tempos de recorrência de cheias.

Utilizando essa ferramenta, foram realizados dois estudos de caso com o objetivo de avaliar a metodologia. A bacia escolhida para os estudos foi a do Paraná, devido à sua grande importância para o Setor Elétrico. O primeiro estudo foi para o período chuvoso 2012/2013 e o segundo para o período chuvoso 2006/2007. Uma vez que, durante o período chuvoso do primeiro caso, os níveis de armazenamento dos sistemas parciais mantiveram-se baixos e não houve utilização dos volumes de espera, foi escolhido um segundo caso para a verificação das funcionalidades do PAVES. O período chuvoso 2006/2007, foi selecionado por ter sido um dos mais chuvosos do histórico da bacia.

Os resultados obtidos possibilitaram também a comparação entre os períodos chuvosos, mostrando a grande diferença entre os níveis de armazenamento, chegando-se à conclusão que, em um período mais seco, a geração de energia hidrelétrica pode ficar comprometida, devido à menor reserva hídrica nos reservatórios durante a estiagem.

A análise dos resultados permitiu verificar a utilidade desse modelo computacional, bem como o seu bom funcionamento, uma vez que permitiu o acompanhamento da evolução dos níveis de armazenamento dos sistemas parciais, dos volumes de espera utilizados e dos riscos referentes à utilização dos volumes vazios, no transcorrer de cada período chuvoso.

No entender dos autores deste trabalho, a maior contribuição desse modelo será a experiência que o operador, após analisar os resultados de vários períodos chuvosos, iria adquirir. Isso poderia auxiliar na tomada de decisões, quanto a possíveis aprimoramentos na utilização dos volumes de espera, baseando-se no histórico de riscos construído.

Ao analisar o programa desenvolvido, os autores selecionaram alguns aprimoramentos que poderiam ser feitos. O primeiro seria, na avaliação de riscos referentes aos níveis de armazenamento, definir quais seriam os tempos de retorno (TR) que estariam sendo utilizados. Um exemplo seria: se um sistema parcial estivesse em risco 1, saber-se-ia que seu TR seria inferior a 30 anos e superior a 25 anos (risco 2), assim, por meio de cálculos, poderíamos determinar qual seria exatamente o TR, como 27 anos. O segundo aprimoramento poderia ser o detalhamento da utilização dos volumes de espera nos reservatórios da bacia, e não somente nos sistemas parciais como é feito atualmente. E o terceiro seria imprimir também no relatório .PVE o sistema parcial, dentre os que utilizaram a envoltória mais severa, o que utilizou o maior percentual de volume de espera.

No transcorrer deste trabalho, os autores tiveram a oportunidade de desenvolver suas habilidades de pesquisa, aprofundar seus conhecimentos no tema controle de cheias, definir a metodologia mais adequada a ser aplicada e estabelecer e implementar uma rotina computacional em linguagem FORTRAN. Rotina esta que, em seus arquivos de saída, apresenta dados facilmente convertidos em tabelas e gráficos para auxiliar a interpretação dos resultados.

Capítulo 7. Referências

ANEEL, 2008, *Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 3ª edição*, Brasília, Brasil.

ANEEL, Banco de Informações de Geração.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>

Acessado em: 25/07/2013.

BEARD, L.R., 1963, “Flood Control Operation Of Reservoir”, *Journal Of The Hydraulics Division*, ASCE, Volume 89, pp. 8-10, 21-23.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. *Código das Águas*.

Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>

Acessado em: 20/06/2013

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. *Lei das Águas*.

Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm>

Acessado em: 20/06/2013

CEPEL, 2002, *Modelo DECOMP – Manual de Referência Versão 11.0*, Relatório Técnico DPD/PEN – 15053/03, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CEPEL, 2008, *OPCHENS 2.2 Simulação da Operação Semanal de Controle de Cheias em Situação Normal – Manual de Metodologia*, Relatório Técnico DP/DEA – 3045/08, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CEPEL, 2010, *Operação Semanal de Controle de Cheias em Situação Normal – OPCHEN 3.1.3 - Manual de Metodologia*, Relatório Técnico DP/DEA – 3051/08, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CEPEL, 2013, *SISTEMA SPEC - Sistema para Estudos de Prevenção de Cheias – DIANA 5.0.4, SIMRESC 1.0, CAEV 3.9, VESPOT 4.0 e AUXARISCO 1.0.2 - Manual de Metodologia*, Relatório Técnico DP/DEA – 19709/13.

COSTA, F.S., DAMAZIO, J.M., ROCHA, V.F., 2001, “Planejamento da Operação Semanal de Controle de Cheias em Sistemas Hidroelétricos – Modelos OPCHEN e OPCHENS”, *XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Aracajú, SE, Brasil, Novembro.

COSTA, F.S., DAMÁZIO, J.M., KYRILLOS, D.S., *et al*, 2005a, “Programação Diária de Defluência dos Aproveitamentos Hidroelétricos do Sistema Interligado Brasileiro Considerando o Controle de Cheias”, *XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de energia Elétrica*, Curitiba, PR, Brasil, Outubro.

COSTA, F.S., DAMÁZIO, J.M., KYRILLOS, D.S., 2005b, “Redução do Tempo de Processamento do Modelo OPCHEND na Programação Diária de Defluências em Situação de Cheia no SIN”, *XVI Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos*, João Pessoa, PB, Brasil, Novembro.

COSTA, F. S., PIMENTEL, A. L., KYRILLOS, D.S. *et al*, 2007a, “Abordagem de Interação entre a Otimização Energética e o Controle de Cheias no Planejamento da Operação de Curto Prazo”, *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos de Países de Língua Oficial Portuguesa*, São paulo, SP, Brasil.

COSTA, F.S., MACEIRA, M.E.P., DAMÁZIO, J.M., 2007b, “Modelos de Previsão Hidrológica Aplicados ao Planejamento da Operação do Sistema Elétrico Brasileiro”, *Revista de Recursos Hídricos*, v.12, pp. 21-30.

COSTA, F.S., KYRILLOS, D.S.; SABÓIA, A.L.G. *et al*, 2009, “Aprimoramento Da Interação Entre A Otimização Energética E O Controle De Cheias No Planejamento Da Operação De Curto Prazo”, *XI Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica*, Belém, PA, Brasil, Março.

DAMAZIO, J.M, 1989, *Condições de Controlabilidade de Sistemas de Reservatórios para Controle de Cheias e seu Uso na Operação com Múltiplos Usos*, Relatório Técnico CEPEL 036/89, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FRANÇA, E.H.F., CANELLA, S.D., 1994, “Análise Comparativa entre Possíveis Curvas de Alocação de Volumes de Espera”, *III Encontro Técnico de Hidrologia Operacional*, Itaipava, RJ, Brasil.

GTHO, 1996, *Programa ARISCO - Avaliação do Risco na Operação de Controle de Cheias - Bacia do Rio Paraná*.

KELMAN, J., DAMÁZIO, J. M., COSTA, J. P., 1983, “Geração de Séries Sintéticas de Vazões Diárias – Modelo DIANA”, *Revista Brasileira de Engenharia*, vol. 1, nº. 2, pp. 5-22.

KELMAN, J., 1987, “Cheias e Aproveitamentos Hidroelétricos”, *Revista Brasileira de Engenharia*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

KYRILLOS, D.S., 2006a, *Otimização da Programação da Operação Diária em Situação Normal de Cheias e em Situação de Emergência em Reservatórios de Sistemas Hidroelétricos*, Tese de D.Sc., COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

KYRILLOS, D.S., COSTA, F.S., DAMÁZIO, J.M., 2006b, “Questões Sobre A Integração Do Diagrama De Emergência Com O Modelo Opchend”. *I Simpósio Sul Sudeste de Recursos Hídricos*, Curitiba, PR, Brasil, Agosto.

MARIEN, J.L., 1984, “Controllability Conditions for Reservoir Flood Control Systems with Applications”, *Water Resources Research*, vol 20(1), pp. 1477-1488.

MACEIRA, M.E.P., SUANO, C.M., COSTA, J.P., 1993, *Modelo Estratégico de Geração Hidrotérmica a Subsistemas, NEWAVE – Especificação Funcional*, Relatório Técnico CEPEL 1003/93, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MACEIRA, M.E.P., TERRY, L.A., DINIZ, A.S.L. *et al*, 2000, “Hourly Generation Dispatch Representing Detailed Hydraulic Constraints”, *VII Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning –SEPOPE*, Brazil, May.

MACEIRA, M.E.P., TERRY, L.A., COSTA, F.S. *et al*, 2002, “Chain of Optimization Models for Setting the Energy Dispatch and Spot Price in the Brazilian System”, *XIV Power Systems Computation Conference - PSCC*, Seville, June.

ONS, 2012a, *Plano Anual de Prevenção de Cheias (Ciclo 2012-2013)*, Rio de Janeiro, RJ, Agosto.

ONS, 2012b, *Diretrizes para as Regras de Operação de Controle de Cheias – Bacia do Rio Paraná até Porto São José (Ciclo 2012-2013)*, Rio de Janeiro, RJ, Outubro.

PIMENTEL, A.L.G; XAVIER, L.N.R.; COSTA, F.S. *et al.*, 2005, “Usos Múltiplos da Água no Planejamento Energético da Operação a Curto Prazo: metodologia e resultados”, *XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, PB, Brasil, Novembro.

RAUPP, I.P., 2008, *Minimização do Conflito entre a Geração de Energia Elétrica e o Controle de Cheias no Planejamento da Operação de Reservatórios*, Dissertação de M.Sc., COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RAUPP, I.P, COSTA, F.C. , DAMÁZIO, J.M., 2012, “Modelo Opchen – Ferramenta para Operação de Controle de Cheias em Sistemas Hidroelétricos”, *XXV Congresso Latinoamericano de Hidráulica San José*, COSTA RICA.

SCEN-CECCA, 1977, *Regras de Operação de Reservatórios para Controle de Cheias*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SILVA, E.L., Finardi, E.C., 2006, *Planejamento e Regulação de Sistemas de Energia Elétrica*, Apostila do Curso de Especialização em Sistemas de Energia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

XAVIER, L.N., LIMA, A.L.D., COSTA, F.S. *et al*, 2005, “Aprimoramento da Modelagem da Função de Produção Energética das Usinas Hidroelétricas no Modelo DECOMP e Resultados”, *XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE*, Curitiba, PR, Outubro.

ANEXO I: Resultados Obtidos nos Tópicos 5.1, 5.2 e 5.3

Nos Tópicos 5.1, 5.2 e 5.3, foram apresentados os resultados obtidos pela ferramenta de acompanhamento dos volumes de espera utilizados ao longo dos períodos chuvosos de 2012/2013 e 2006/2007. No entanto, pelo grande número de sistemas parciais existentes, não foi possível citar todos no capítulo 5. Em virtude disso, os sistemas parciais com o maior número de reservatórios serão apresentados neste anexo, de forma a complementar os resultados obtidos.

Os sistemas parciais apresentados neste tópico serão, como mencionado acima, os com maior número de reservatórios de seus pontos de controle. Eles são os sistemas parciais 1, 4, 11, 20, 25, 31, 2, 8 e 16. A Figura I.1 mostra o topológico destes sistemas.

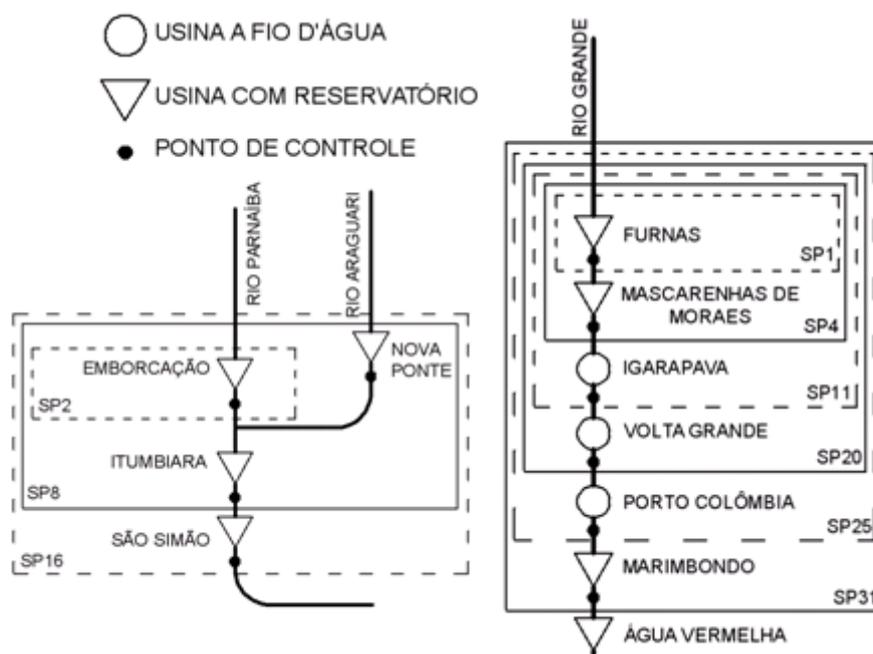


Figura I.1 – Topológico dos Sistemas Parciais 1, 2, 4, 8, 11, 16, 20, 25 e 31

• Tópico 5.1

Neste tópico serão apresentados os resultados para o período chuvoso 2012/2013, classificado como um período chuvoso seco, conforme mencionado no capítulo 5 deste trabalho.

A seguir, seguem as descrições de cada sistema parcial, mencionando seu ponto de controle e os reservatórios contidos no sistema parcial, e seus níveis de armazenamento.

O sistema parcial 1 tem seu ponto de controle em Furnas e tem o reservatório de Furnas como seu único componente.

A Figura I.2 apresenta o nível de armazenamento do SP 1 e sua envoltória de planejamento.

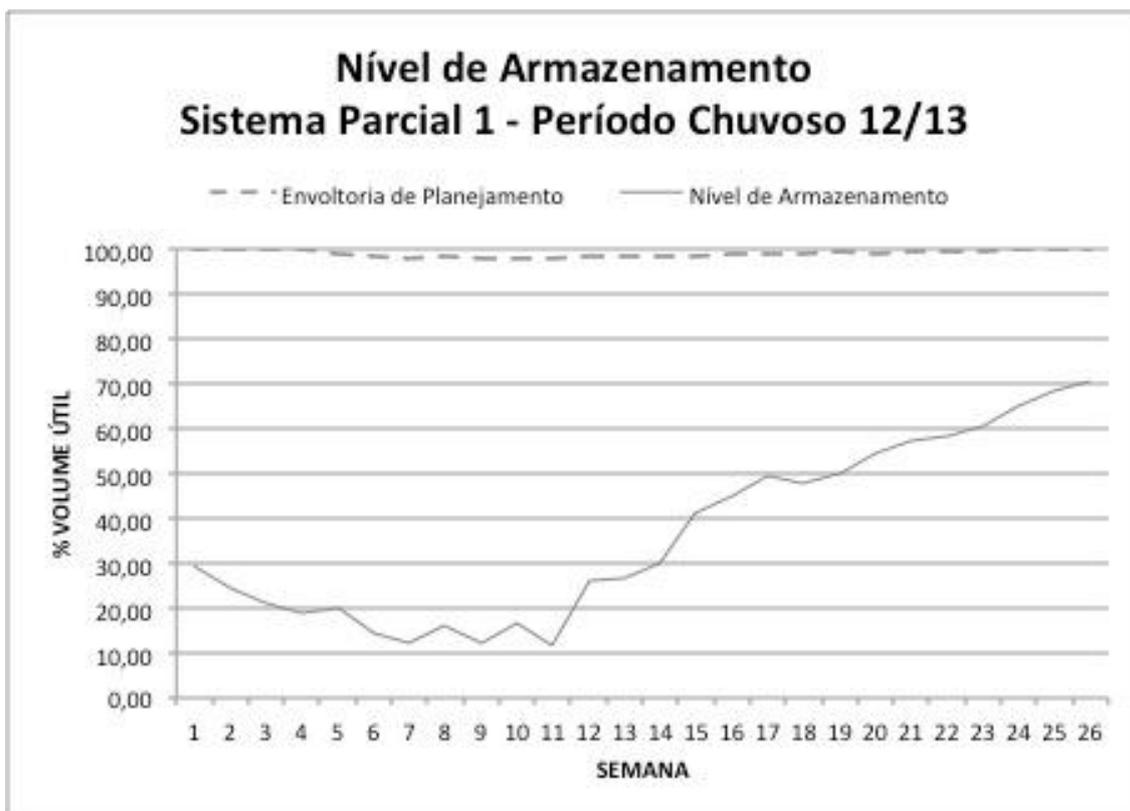


Figura I.2 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 1 para o Período Chuvoso de 2012/2013

O sistema parcial 4 tem seu ponto de controle em Mascarenhas de Moraes e é composto pelos reservatórios de Furnas e Mascarenhas de Moraes.

A Figura I.3 apresenta o nível de armazenamento do SP 4 e sua envoltória de planejamento.

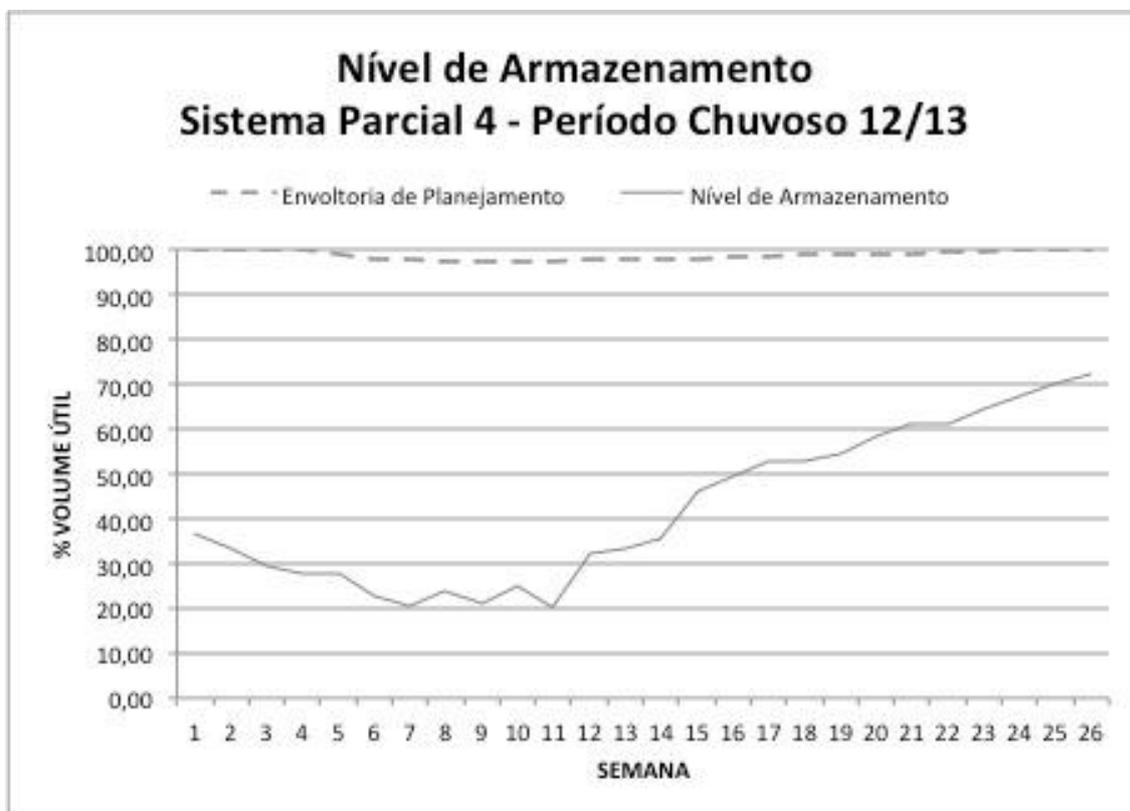


Figura I.3 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 4 para o Período Chuvoso de 2012/2013

O sistema parcial 11 tem seu ponto de controle em Igarapava e é composto pelos aproveitamentos de Furnas, Mascarenhas de Moraes e Igarapava.

A Figura I.4 apresenta o nível de armazenamento do SP 11 e sua envoltória de planejamento.

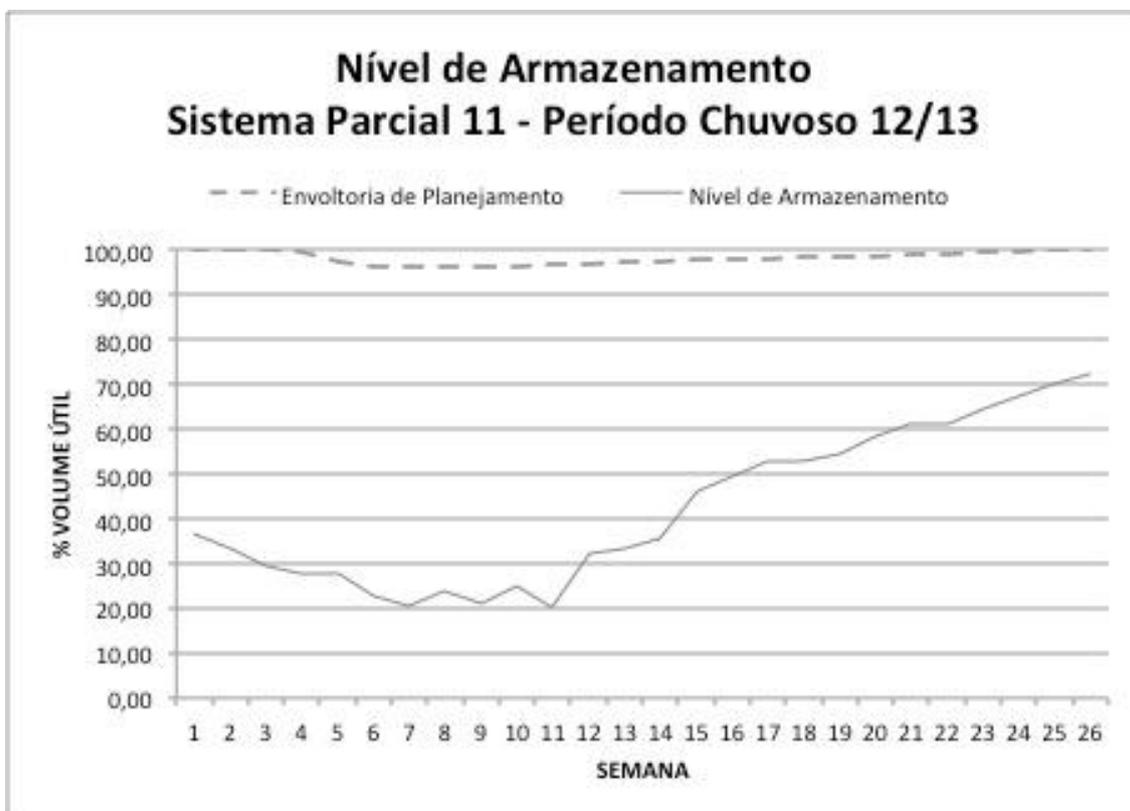


Figura I.4 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 11 para o Período Chuvoso de 2012/2013

O sistema parcial 20 tem seu ponto de controle em Volta Grande e tem os aproveitamentos de Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava e Volta Grande como seus componentes.

A Figura I.5 apresenta o nível de armazenamento do SP 20 e sua envoltória de planejamento.

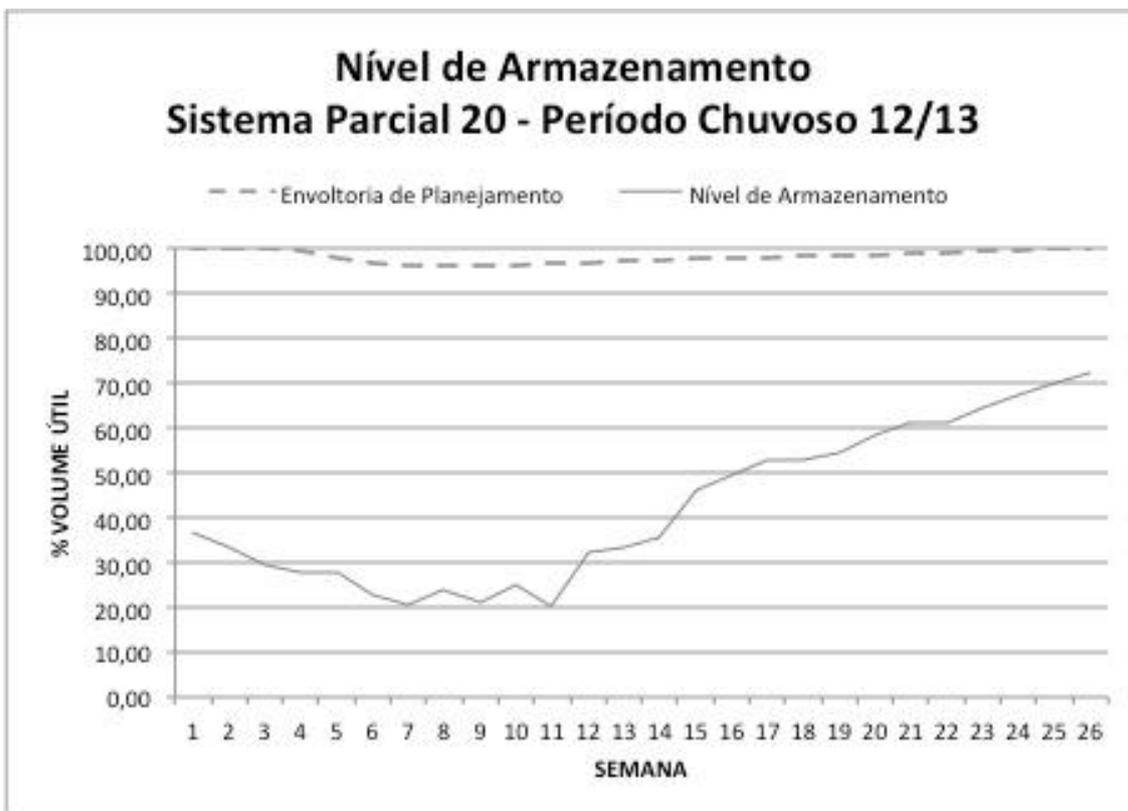


Figura I.5 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 20 para o Período Chuvoso de 2012/2013

O sistema parcial 25 tem como ponto de controle Porto Colômbia e tem Furnas, Mascarenhas de Moraes, Igarapava, Volta Grande e Porto Colômbia como seus aproveitamentos constituintes.

A Figura I.6 apresenta o nível de armazenamento do SP 25 e sua envoltória de planejamento.

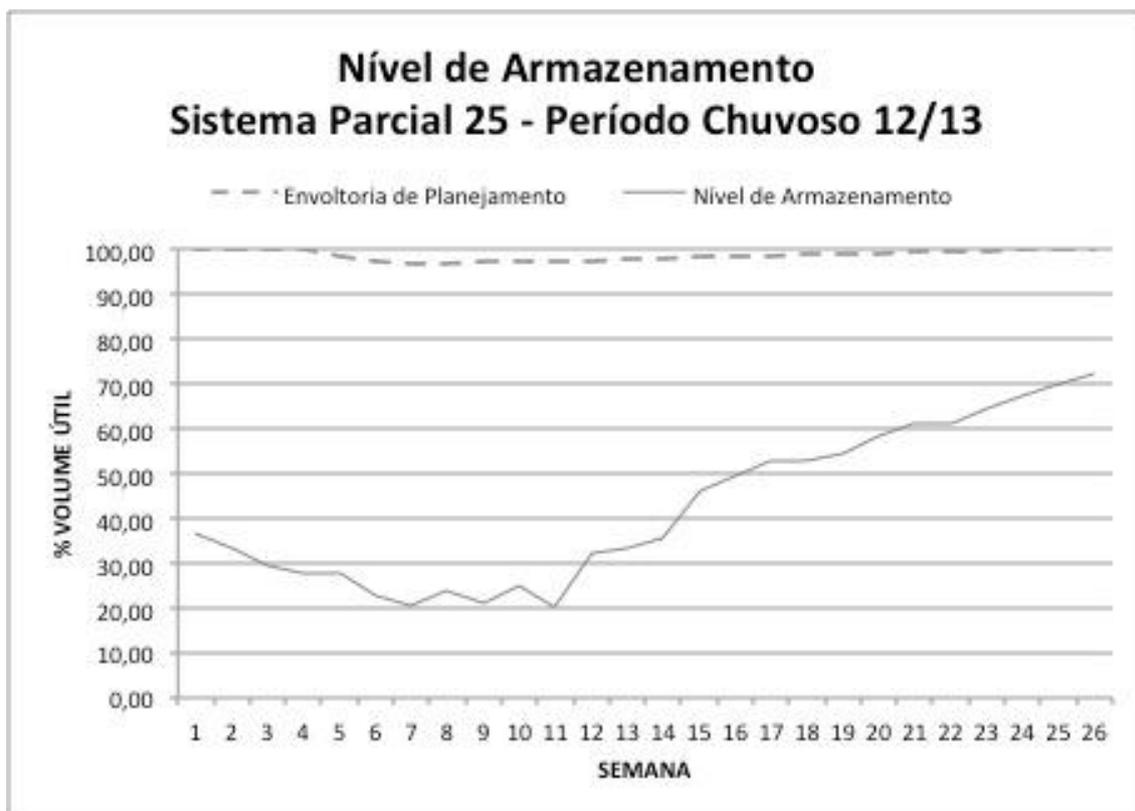


Figura I.6 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 25 para o Período Chuvoso de 2012/2013

O sistema parcial 31 tem seu ponto de controle em Marimbondo e tem os mesmos aproveitamentos do sistema parcial 25, adicionado o reservatório de Marimbondo.

A Figura I.7 apresenta o nível de armazenamento do SP 31 e sua envoltória de planejamento.

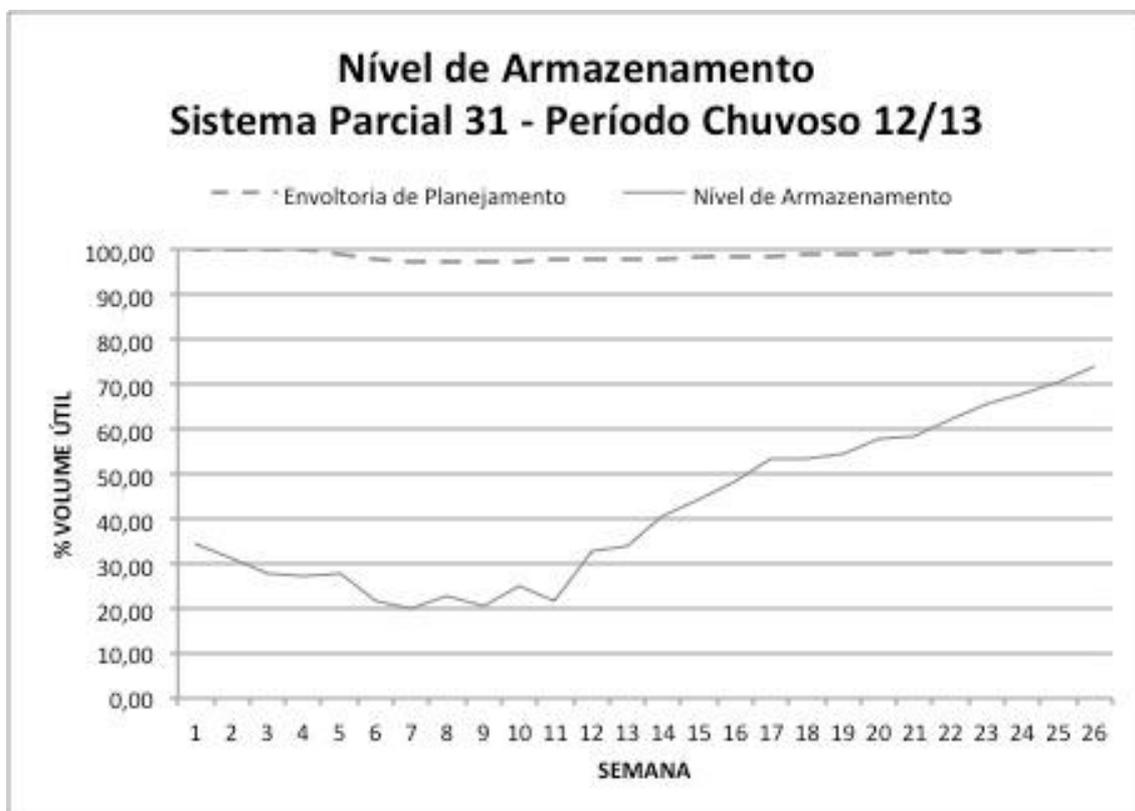


Figura I.7 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 31 para o Período Chuvoso de 2012/2013

O sistema parcial 2 tem seu ponto de controle em Emborcação e tem como único aproveitamento Emborcação.

A Figura I.8 apresenta o nível de armazenamento do SP 2 e sua envoltória de planejamento.

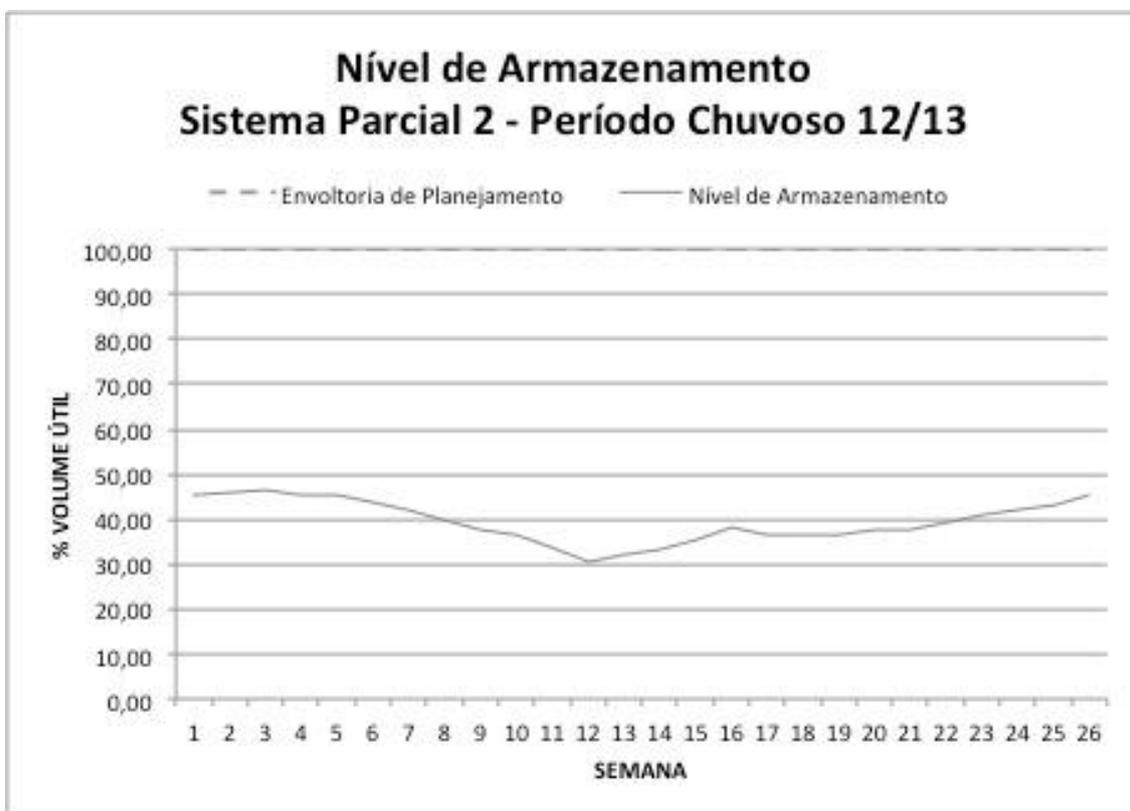


Figura I.8 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 2 para o Período Chuvoso de 2012/2013

O sistema parcial 8 tem seu ponto de controle em Itumbiara e tem como seus aproveitamentos Emborcação, Nova Ponte e Itumbiara.

A Figura I.9 apresenta o nível de armazenamento do SP 8 e sua envoltória de planejamento.

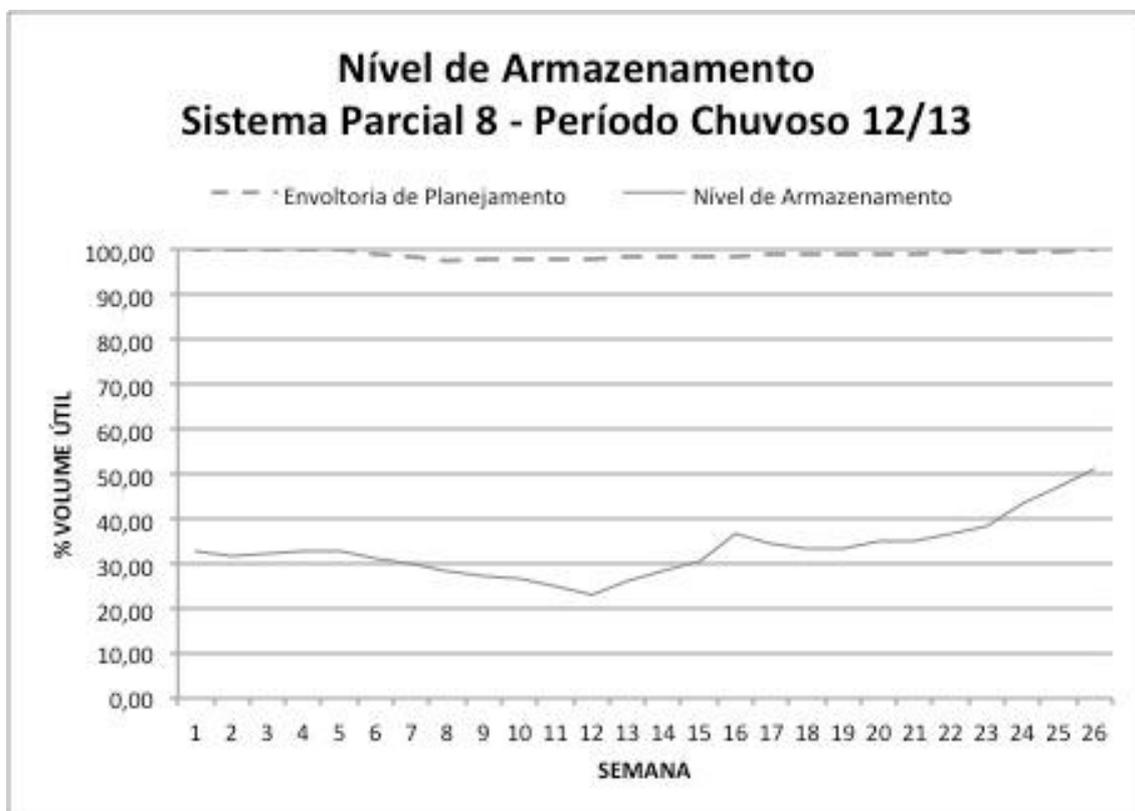


Figura I.9 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 8 para o Período Chuvoso de 2012/2013

O sistema parcial 16 tem seu ponto de controle em São Simão e tem os mesmos aproveitamento do sistema parcial 8, adicionado o aproveitamento de São Simão.

A Figura I.10 apresenta o nível de armazenamento do SP 16 e sua envoltória de planejamento.

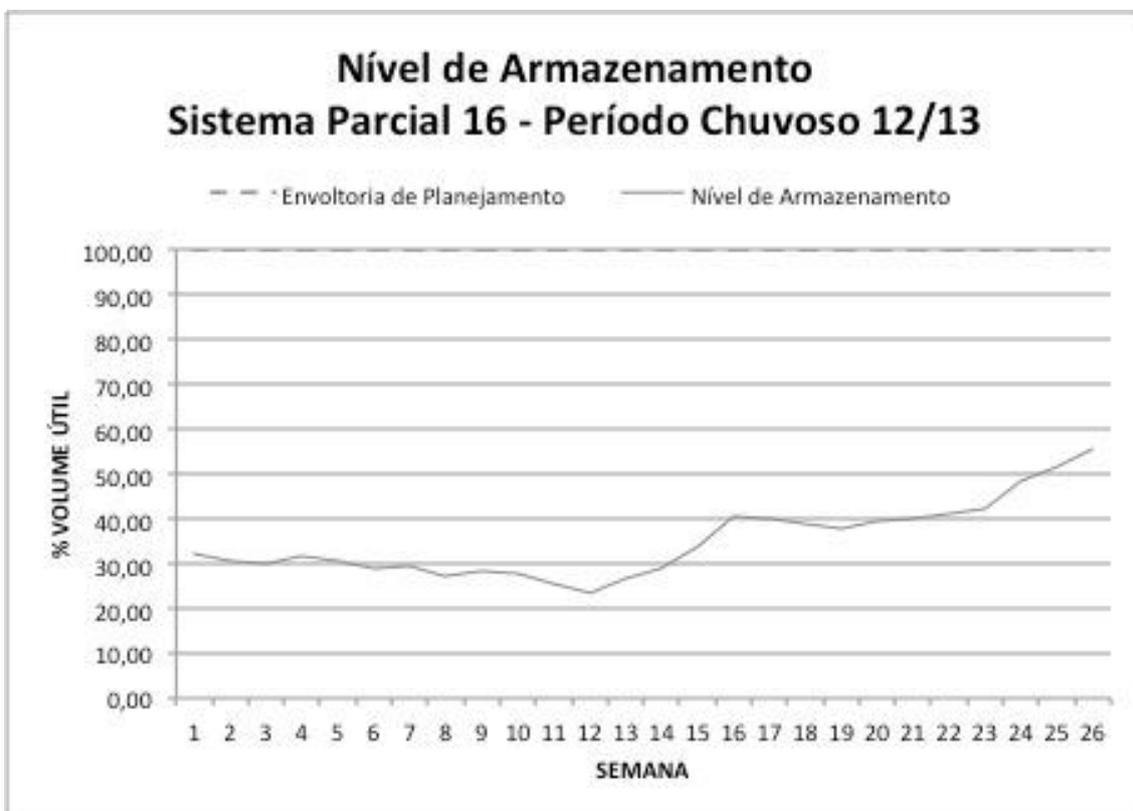


Figura I.10 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 16 para o Período Chuvoso de 2012/2013

Os resultados deste item seguem as mesmas conclusões do capítulo 5, quando foram discutidos os sistemas parciais 760 e 176, mostrando a evolução dos níveis de armazenamento e a não utilização dos volumes de espera ao longo do período chuvoso 2012/2013.

- **Tópico 5.2**

Neste tópico serão apresentados os resultados para o período chuvoso 2006/2007. Os gráficos a seguir apresentam os níveis de armazenamento e as envoltórias de planejamento de cada sistema parcial. As tabelas descrevem, assim como no capítulo 5, os percentuais de volumes de espera a partir da semana 13, quando se iniciou a utilização deles. Os detalhes de cada sistema parcial, como os reservatórios constituintes e os topológicos, já foram descritos no Tópico 5.1.

A Figura I.11 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 1 e a Tabela I.1 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

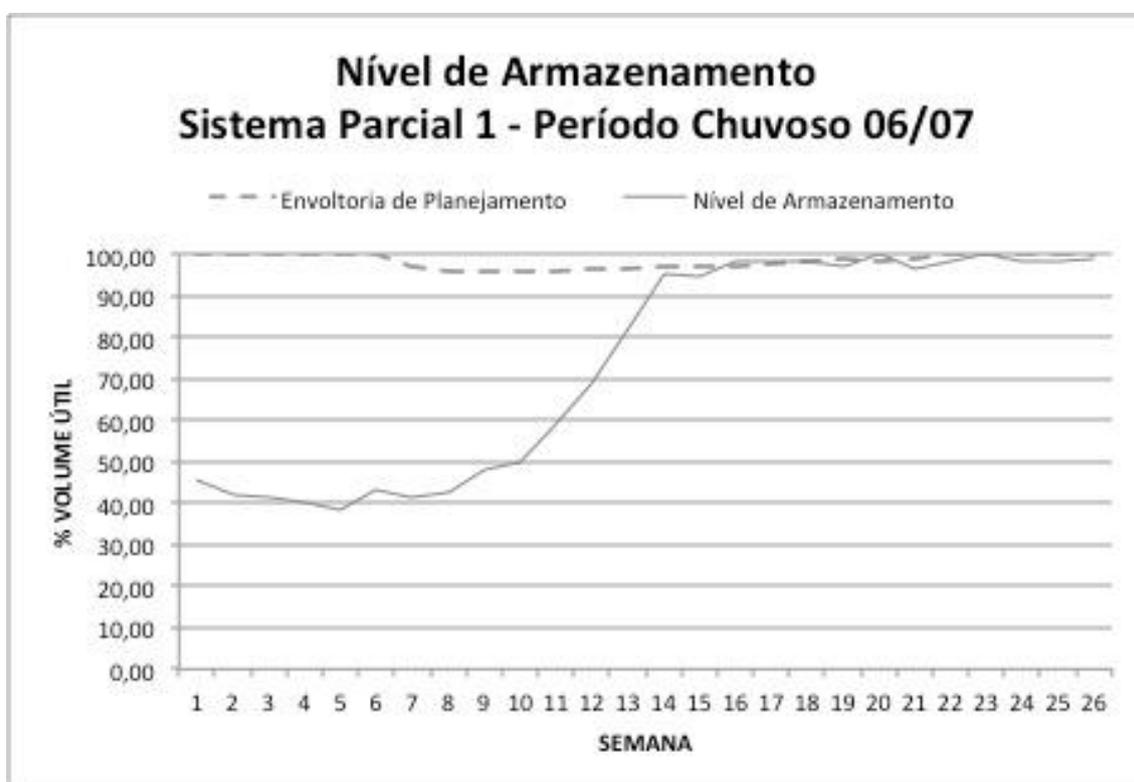


Figura I.11 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 1 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.1 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 1 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 1		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	0,00	0
15	0,00	0
16	41,31	3
17	37,01	2
18	4,35	1
19	0,00	0
20	100,00	5
21	0,00	0
22	0,00	0
23	0,00	0
24	0,00	0
25	0,00	0
26	0,00	0

A Figura I.12 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 4 e a Tabela I.2 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

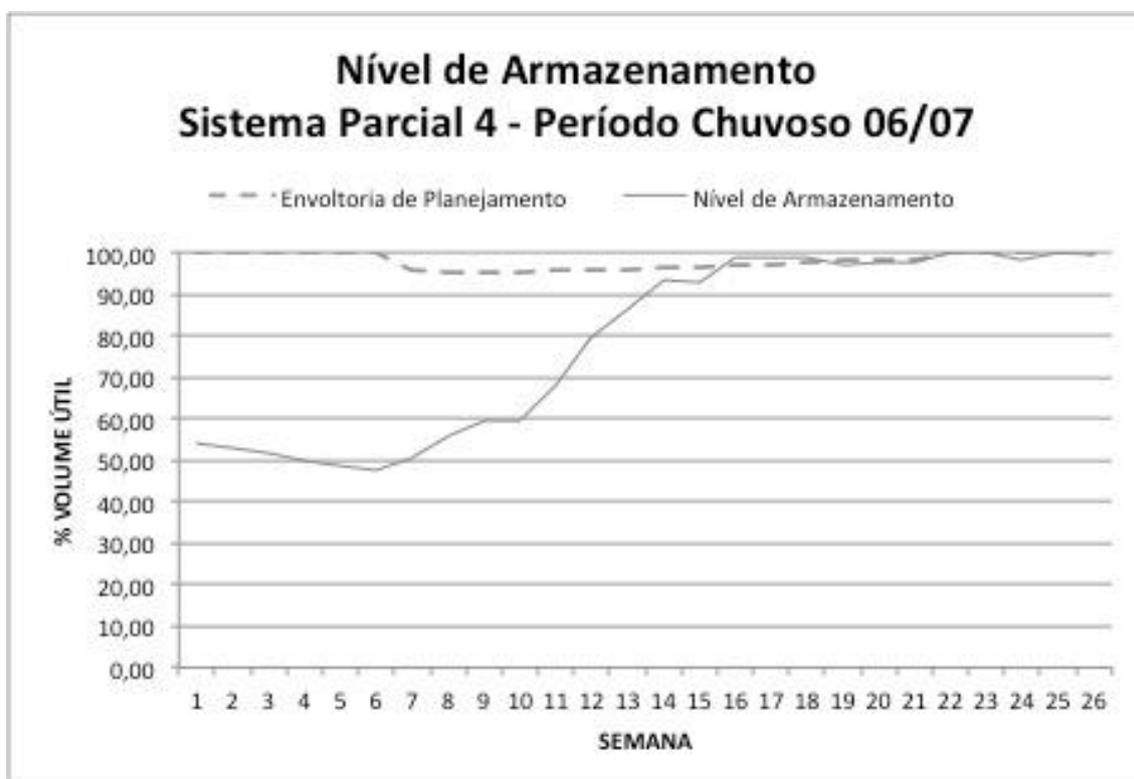


Figura I.12 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 4 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.2 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 4 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 4		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	0,00	0
15	0,00	0
16	31,56	2
17	29,03	2
18	18,46	1
19	0,00	0
20	0,00	0
21	0,00	0
22	0,00	0
23	0,00	0
24	0,00	0
25	0,00	0
26	0,00	0

A Figura I.13 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 11 e a Tabela I.3 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

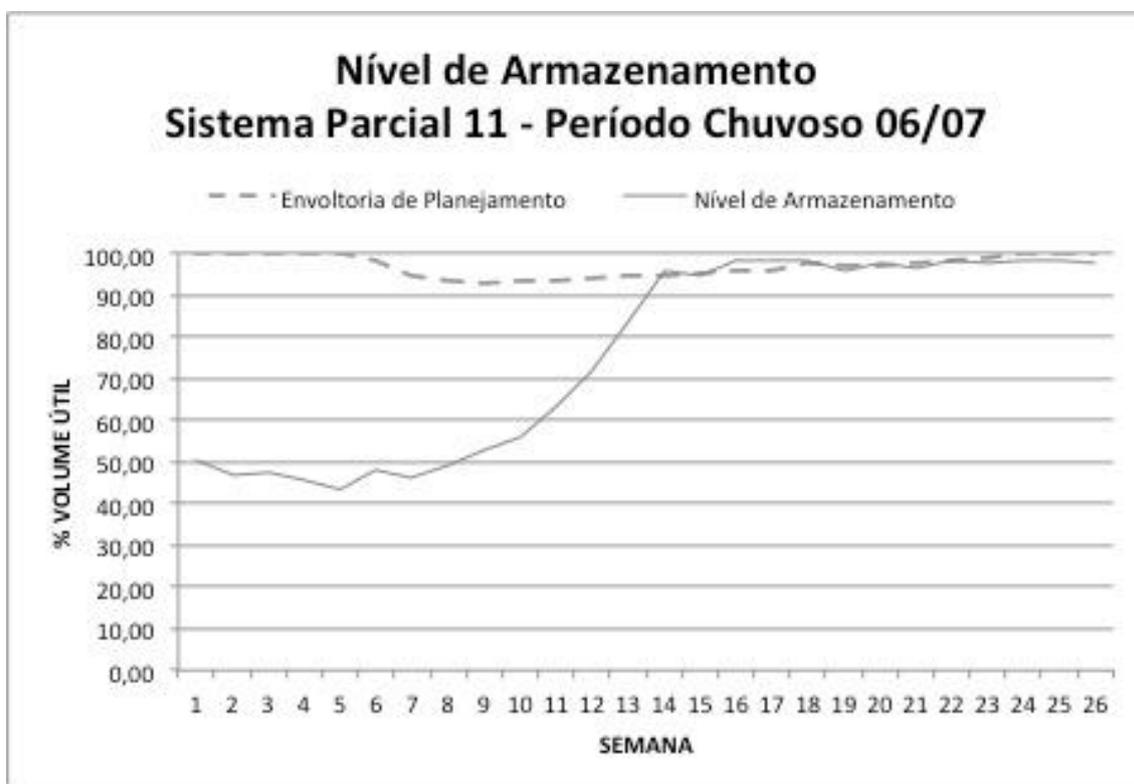


Figura I.13 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 11 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.3 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 11 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 11		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	19,88	2
15	0,00	0
16	52,09	4
17	50,86	3
18	20,16	3
19	0,00	0
20	25,00	2
21	0,00	0
22	0,00	0
23	0,00	0
24	0,00	0
25	0,00	0
26	0,00	0

A Figura I.14 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 20 e a Tabela I.4 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

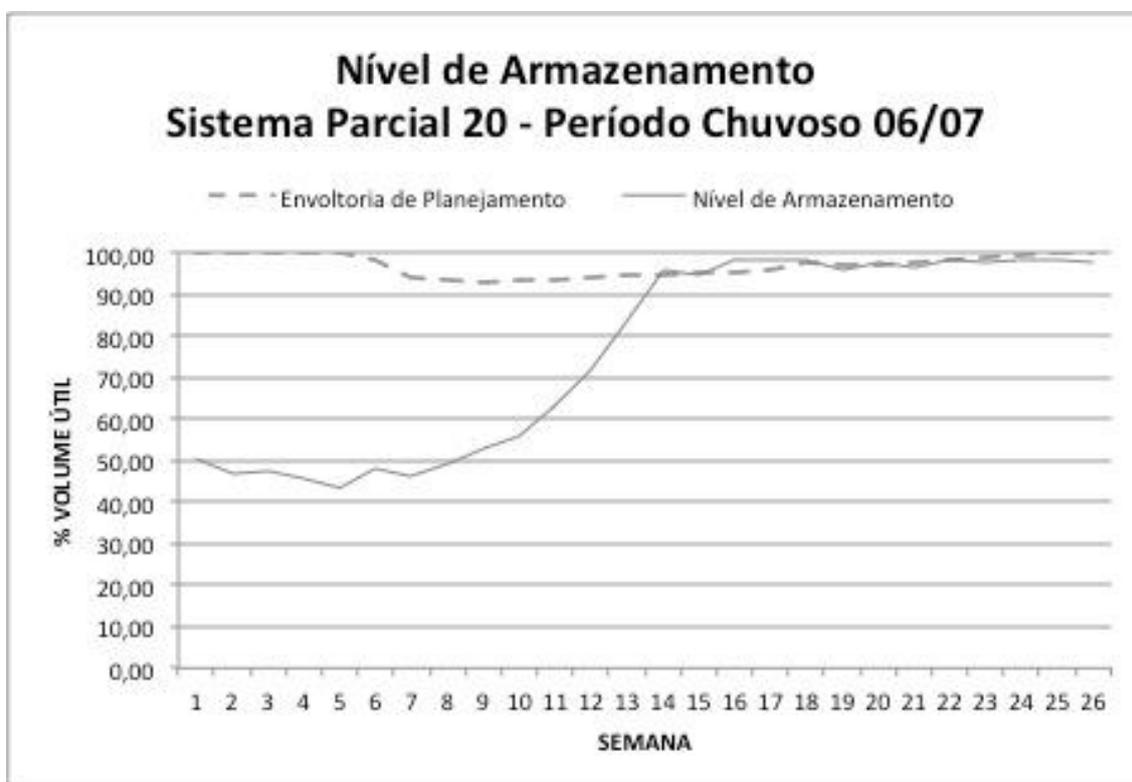


Figura I.14 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 20 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.4 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 20 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 20		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	22,93	2
15	0,00	0
16	56,45	4
17	50,86	3
18	20,16	3
19	0,00	0
20	26,34	2
21	0,00	0
22	16,37	2
23	0,00	0
24	0,00	0
25	0,00	0
26	0,00	0

A Figura I.15 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 25 e a Tabela I.5 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

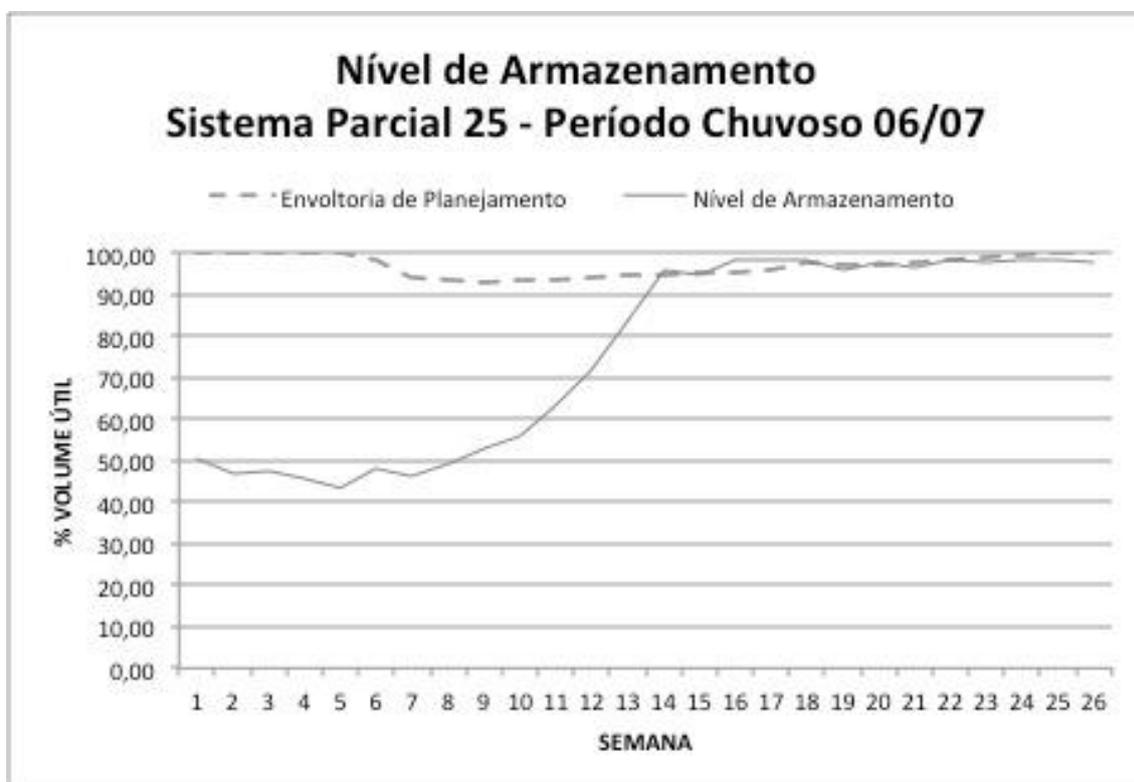


Figura I.15 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 25 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.5 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 25 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 25		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	22,93	2
15	0,00	0
16	56,45	4
17	50,86	3
18	20,16	3
19	0,00	0
20	26,34	2
21	0,00	0
22	16,37	2
23	0,00	0
24	0,00	0
25	0,00	0
26	0,00	0

A Figura I.16 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 31 e a Tabela I.6 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

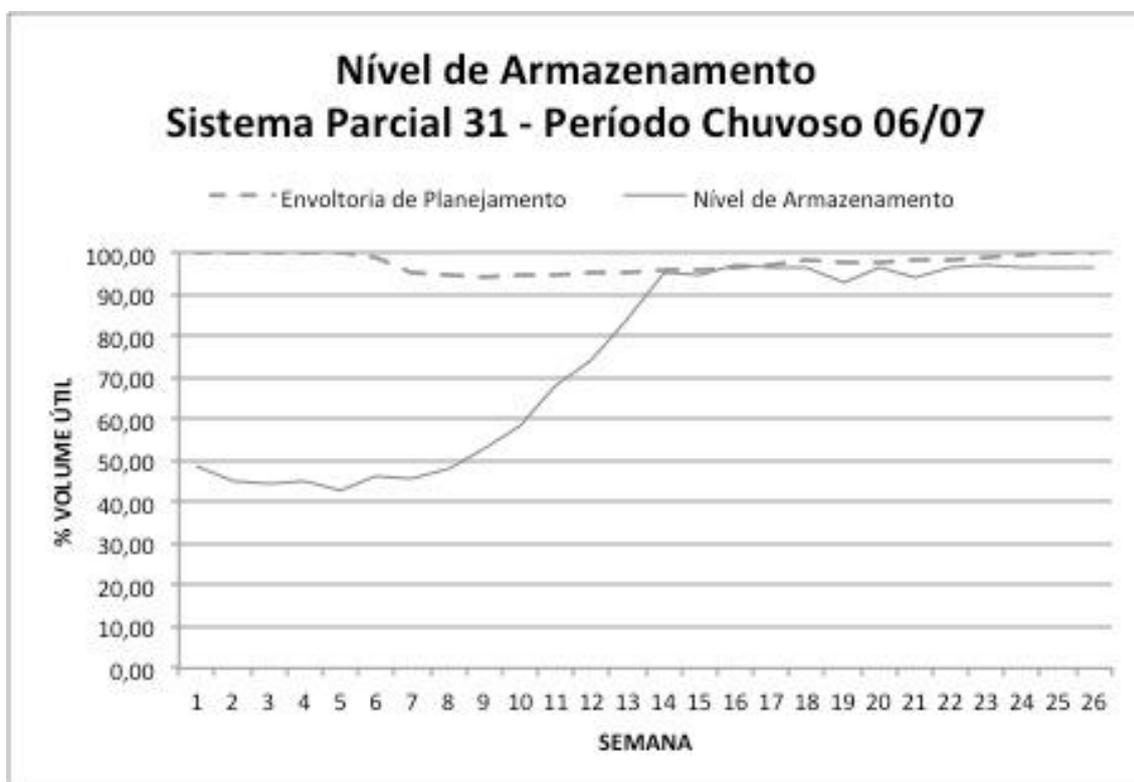


Figura I.16 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 31 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.6 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 31 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 31		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	0,00	0
15	0,00	0
16	26,56	2
17	0,00	0
18	0,00	0
19	0,00	0
20	0,00	0
21	0,00	0
22	0,00	0
23	0,00	0
24	0,00	0
25	0,00	0
26	0,00	0

A Figura I.17 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 2 e a Tabela I.7 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

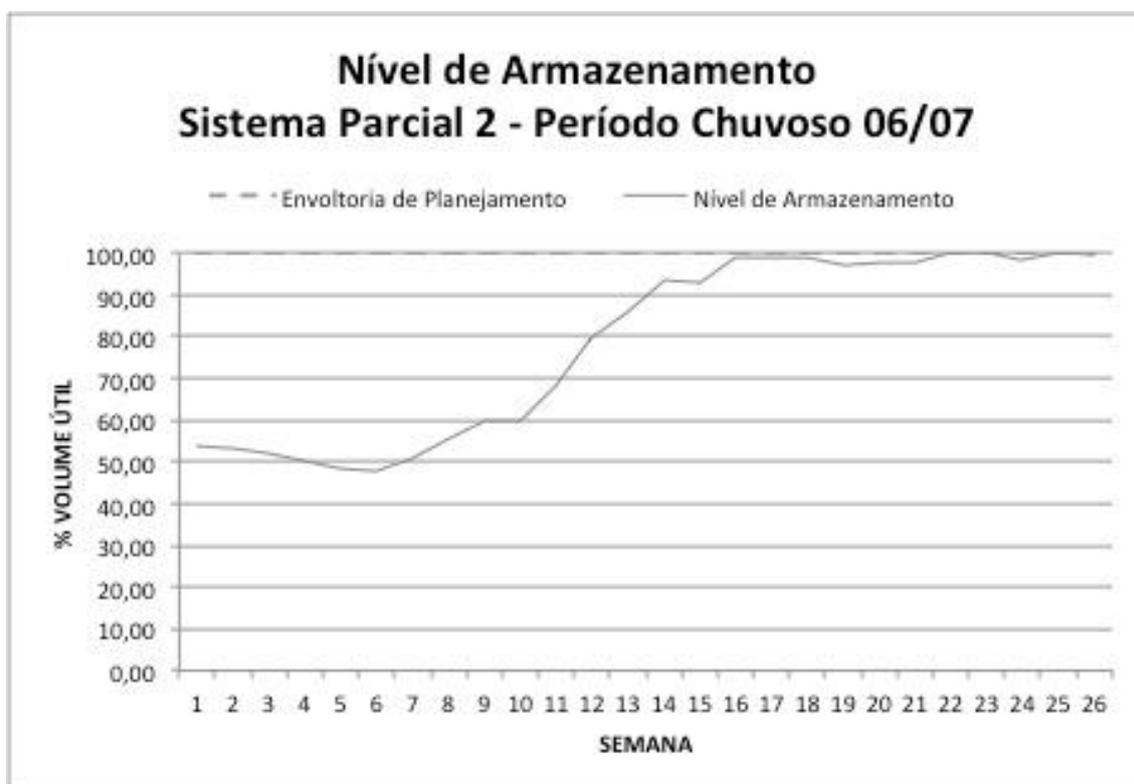


Figura I.17 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 2 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.7 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 2 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 2		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	0,00	0
15	0,00	0
16	0,00	0
17	0,00	0
18	0,00	0
19	0,00	0
20	0,00	0
21	0,00	0
22	0,00	0
23	0,00	0
24	0,00	0
25	0,00	0
26	0,00	0

A Figura I.18 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 8 e a Tabela I.8 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

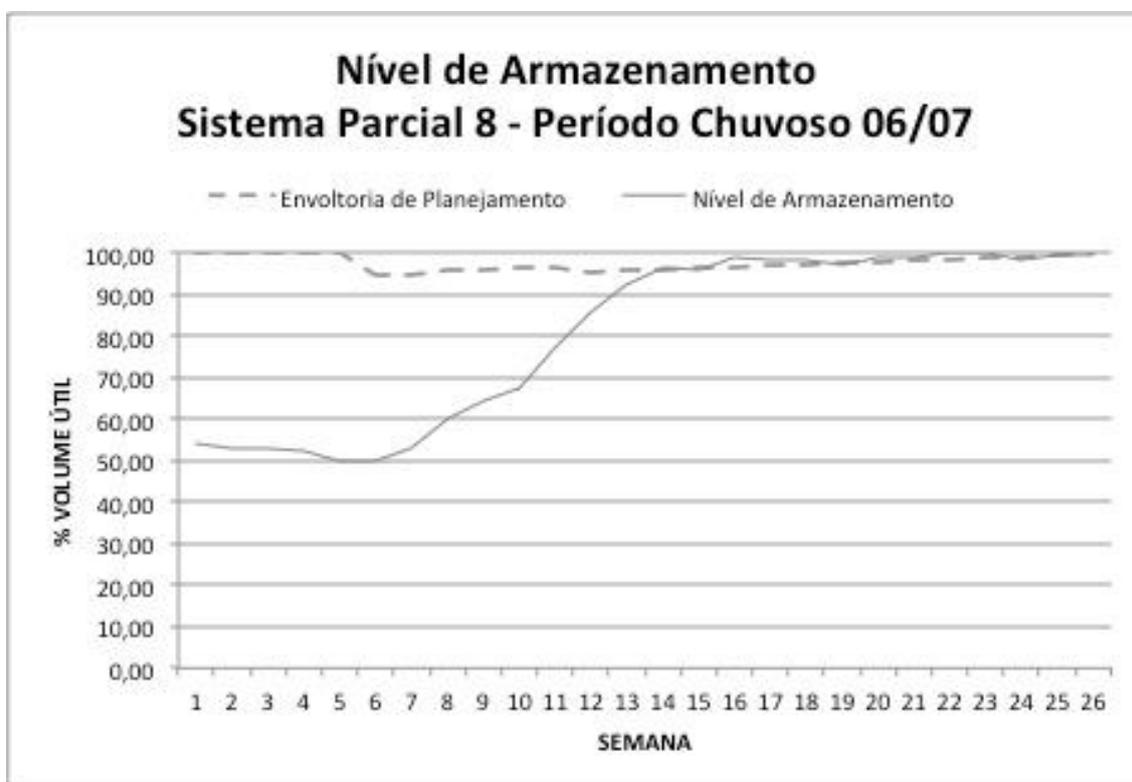


Figura I.18 – Nível e Envoltória de Planejamento do SP 8 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.8 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 8 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 8		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	15,77	2
15	0,00	0
16	64,31	4
17	50,84	3
18	43,74	3
19	0,00	0
20	42,07	3
21	35,06	2
22	98,15	5
23	100,00	5
24	0,00	0
25	8,88	1
26	0,00	0

A Figura I.19 apresenta os níveis de armazenamento do sistema parcial 16 e a Tabela I.9 apresenta as porcentagens de volume de espera utilizados por esse sistema parcial, da semana 13 a semana 26 do período chuvoso 2006/2007.

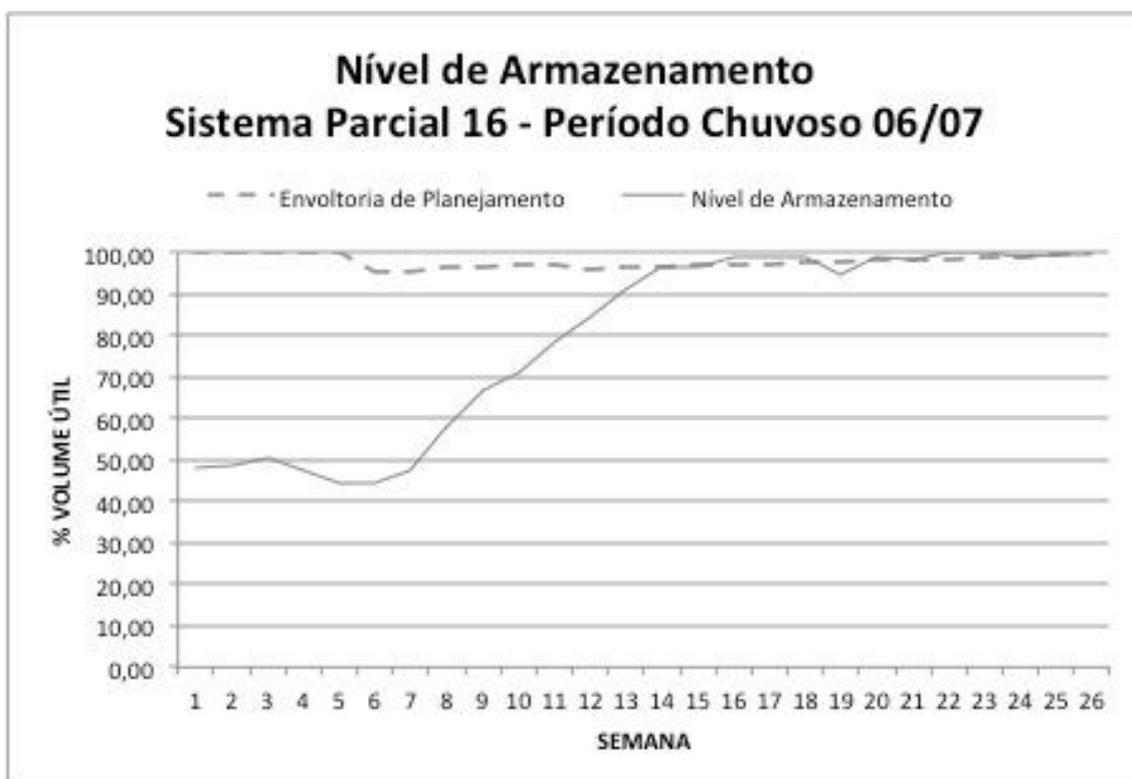


Figura I.19 – Nível e Envolvoria de Planejamento do SP 16 para o Período Chuvoso de 2006/2007

Tabela I.9 - Percentual de Volume de Espera Utilizado pelo SP 16 e Risco Durante o Período Chuvoso de 2006/2007

Sistema Parcial 16		
Semana	Volume de Espera (%)	Risco
13	0,00	0
14	10,16	1
15	0,00	0
16	64,31	4
17	50,84	3
18	43,74	3
19	0,00	0
20	42,07	3
21	0,00	0
22	98,15	5
23	88,92	4
24	0,00	0
25	8,88	1
26	0,00	0

Os resultados deste item seguem as mesmas conclusões do capítulo 5, quando foram discutidos os sistemas parciais 760 e 176, mostrando a utilização dos volumes de espera ao longo do período chuvoso a partir da semana 13. Destacam-se aqui os sistemas parciais 1, na semana 20, e 8, na semana 23. Eles atingiram 100% de nível de armazenamento, portanto, se a cheia continuasse, seria necessário defluir uma vazão superior à vazão de restrição para garantir a segurança da barragem.

- **Tópico 5.3**

Neste tópico, serão apresentados os resultados das comparações entre os períodos chuvosos 2012/2013 e 2006/2007. A seguir mostram-se as comparações entre as envoltórias de planejamento dos dois casos estudados.

A Figura I.20 mostra a comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 1, para os períodos chuvosos 2012/2013, classificado como seco, e 2006/2007, classificado como úmido.

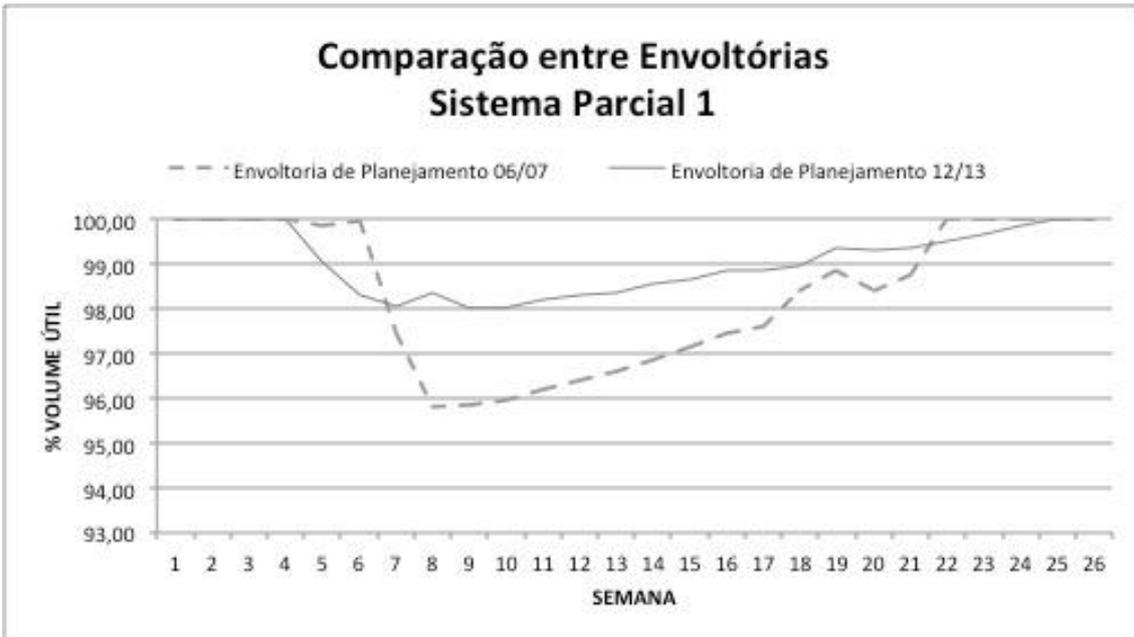


Figura I.20 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 1 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.21 mostra a comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 4, para os períodos chuvosos 2012/2013, classificado como seco, e 2006/2007, classificado como úmido.

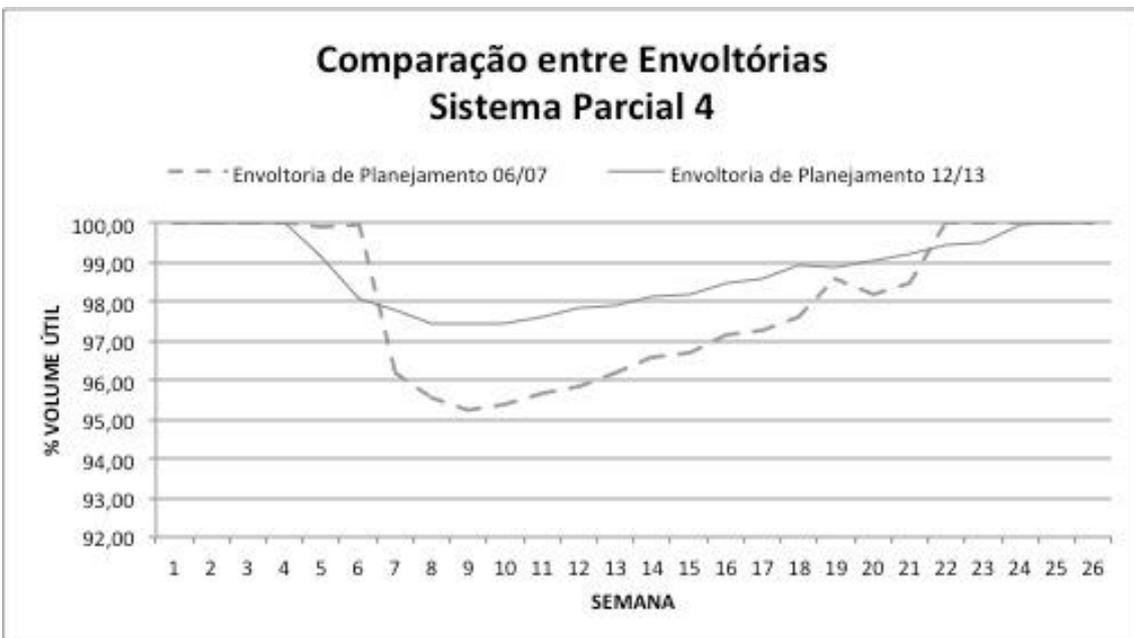


Figura I.21 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 4 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.22 mostra a comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 11, para os períodos chuvosos 2012/2013, classificado como seco, e 2006/2007, classificado como úmido.

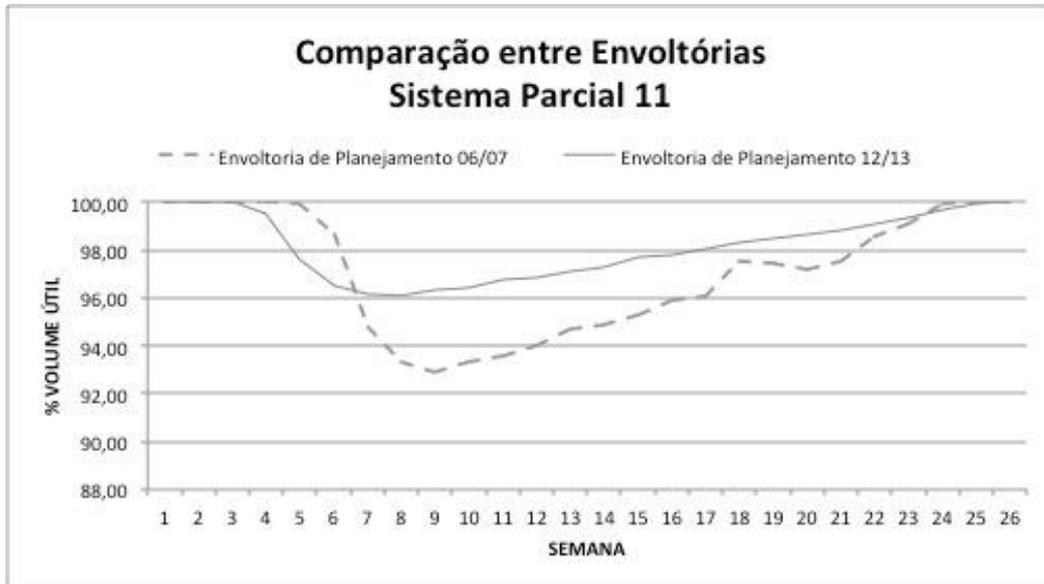


Figura I.22 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 11 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.23 mostra a comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 20, para os períodos chuvosos 2012/2013, classificado como seco, e 2006/2007, classificado como úmido.

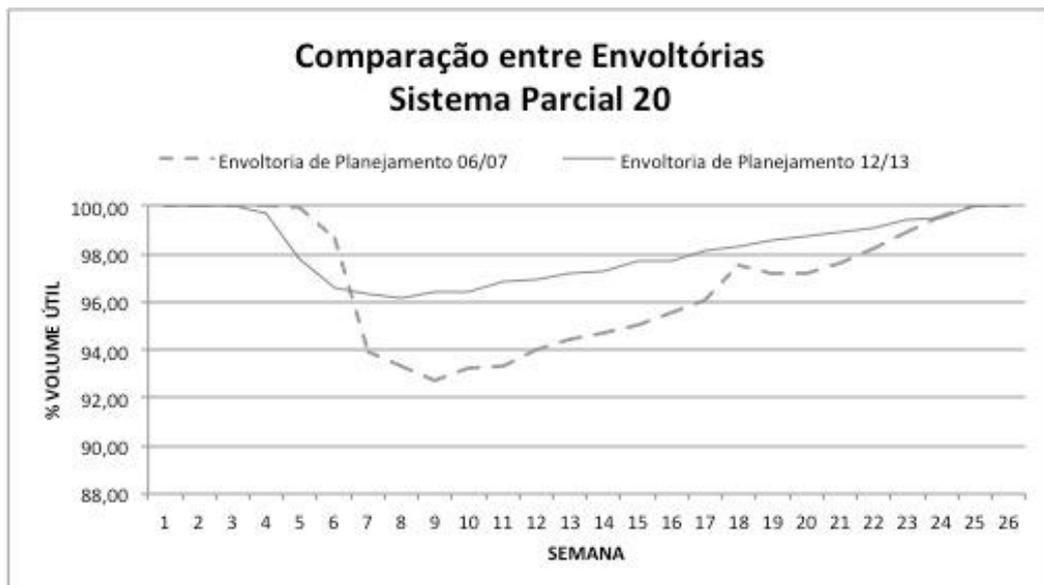


Figura I.23 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 20 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.24 mostra a comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 25, para os períodos chuvosos 2012/2013, classificado como seco, e 2006/2007, classificado como úmido.

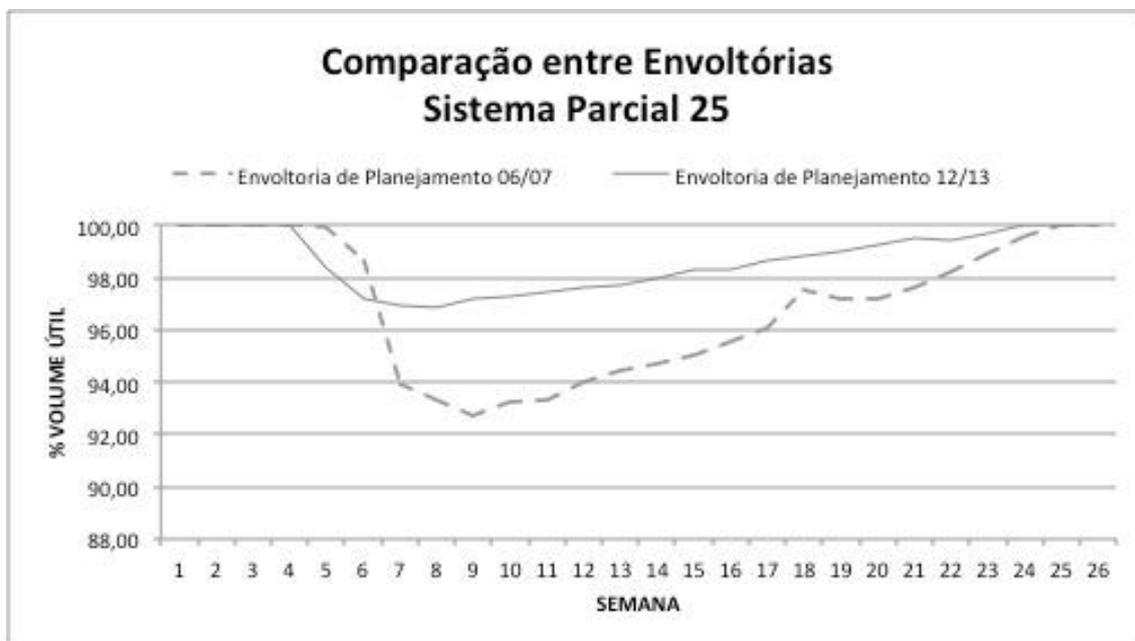


Figura I.24 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 25 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.25 mostra a comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 31, para os períodos chuvosos 2012/2013, classificado como seco, e 2006/2007, classificado como úmido.

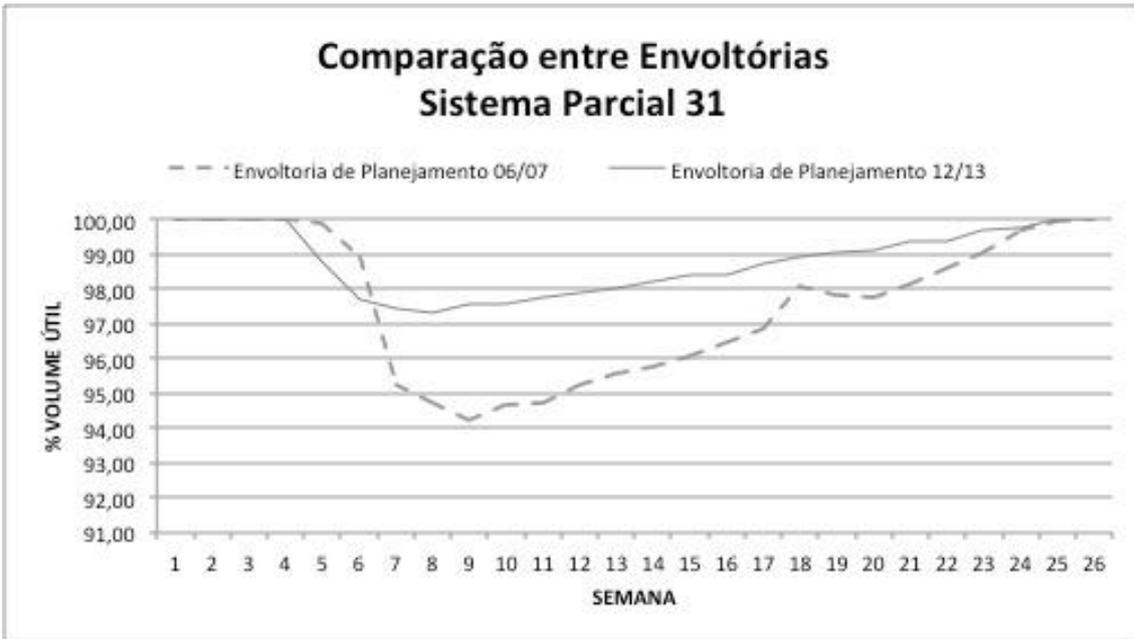


Figura I.25 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 31 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.26 mostra a comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 8, para os períodos chuvosos 2012/2013, classificado como seco, e 2006/2007, classificado como úmido.

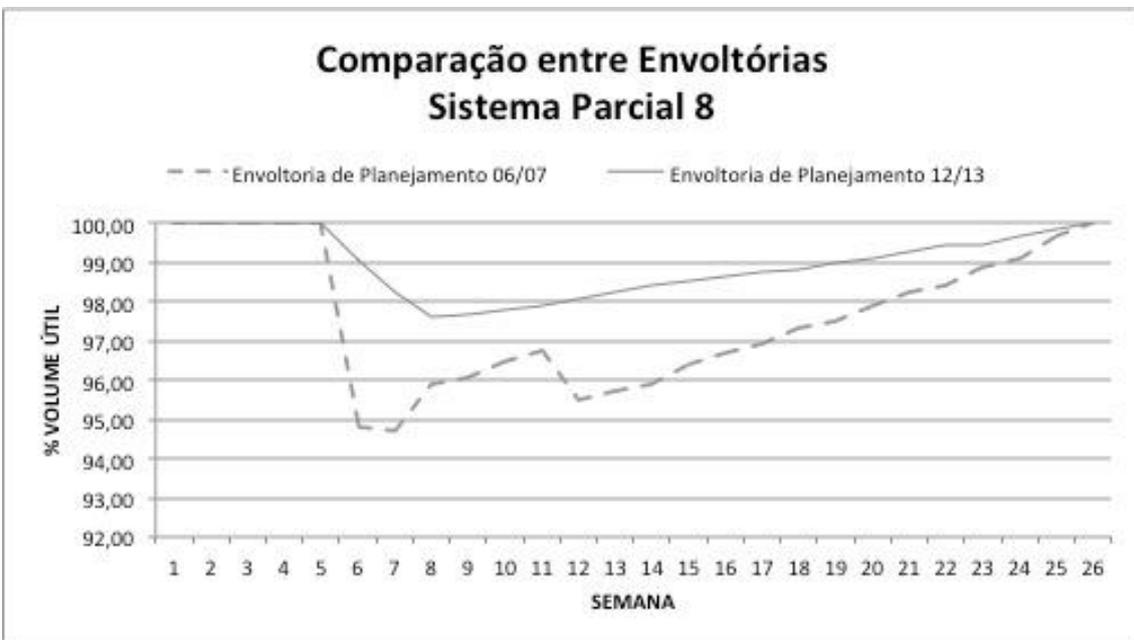


Figura I.26 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 8 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.27 mostra a comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 16, para os períodos chuvosos 2012/2013, classificado como seco, e 2006/2007, classificado como úmido.

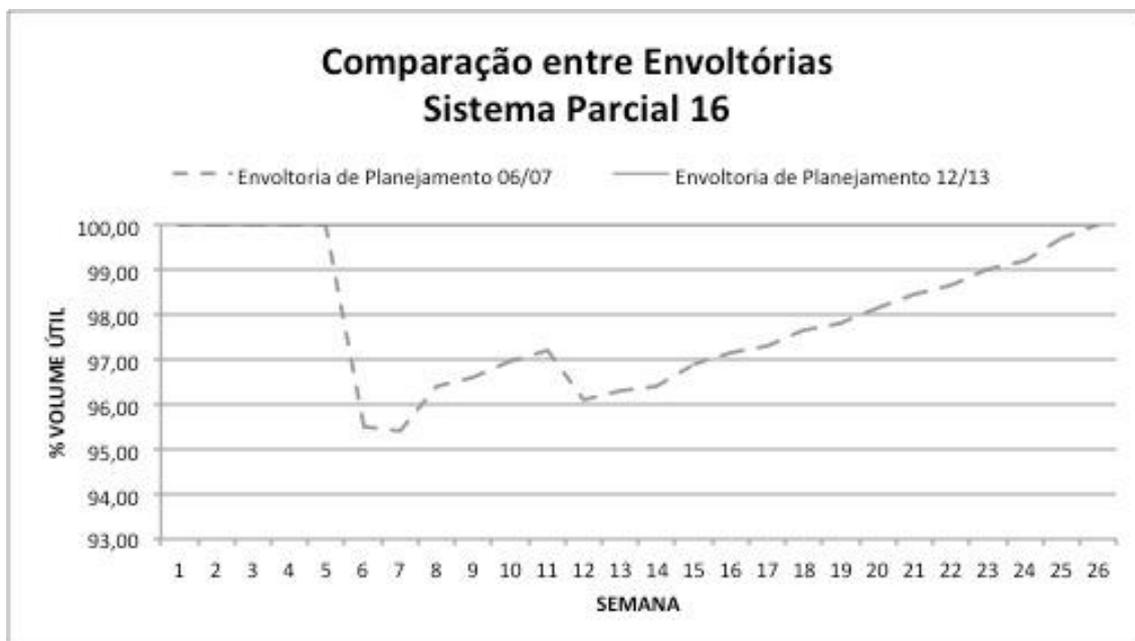


Figura I.27 – Comparação Entre Envoltórias de Planejamento do SP 16 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A comparação entre as envoltórias de planejamento do sistema parcial 2 não foi feita, pois nas estações os valores dos volumes de espera foram nulos.

A seguir, serão apresentados os resultados das comparações entre os níveis de armazenamento dos períodos chuvosos 2012/2013 e 2006/2007.

A Figura I.28 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 1, nos dois períodos chuvosos estudados.

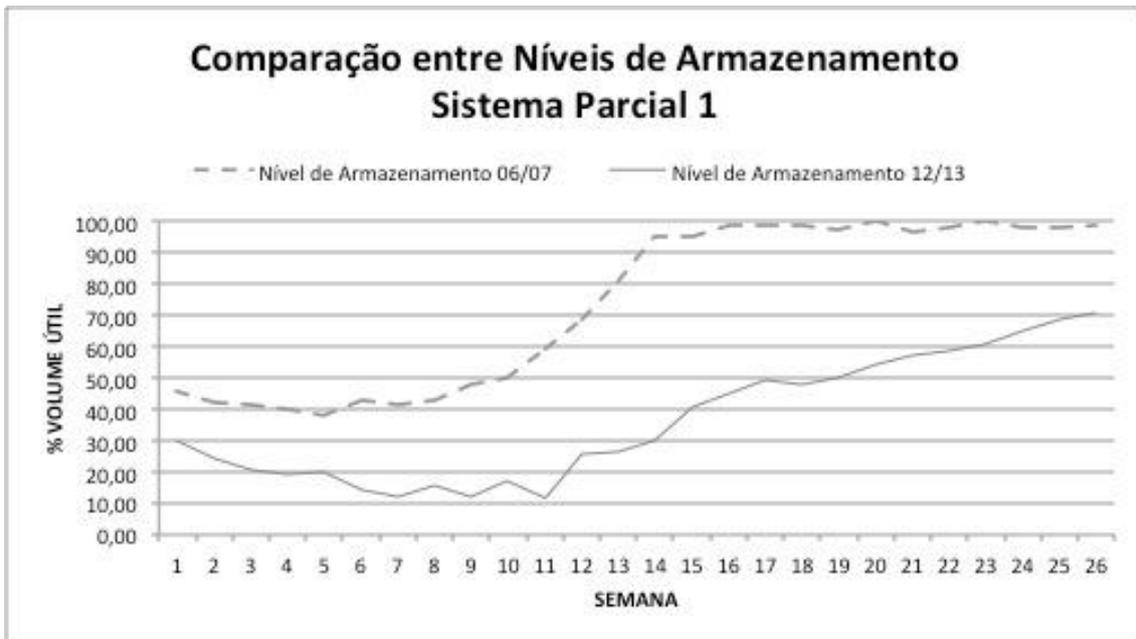


Figura I.28 – Comparação Entre os Níveis do SP 1 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.29 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 4, nos dois períodos chuvosos estudados.

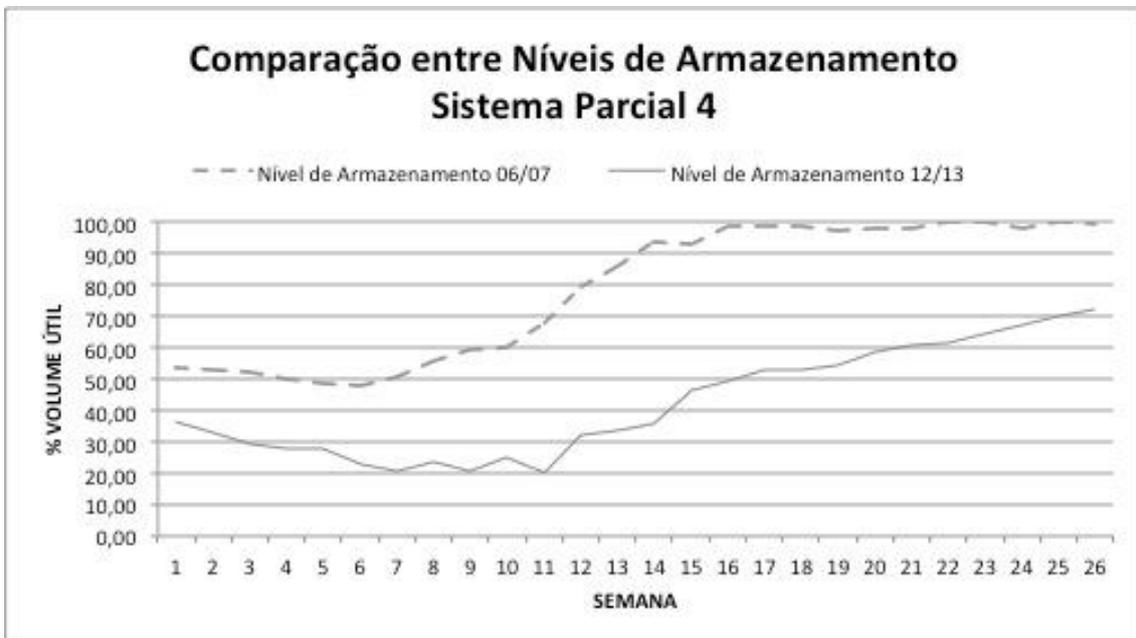


Figura I.29 – Comparação Entre os Níveis do SP 4 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.30 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 11, nos dois períodos chuvosos estudados.

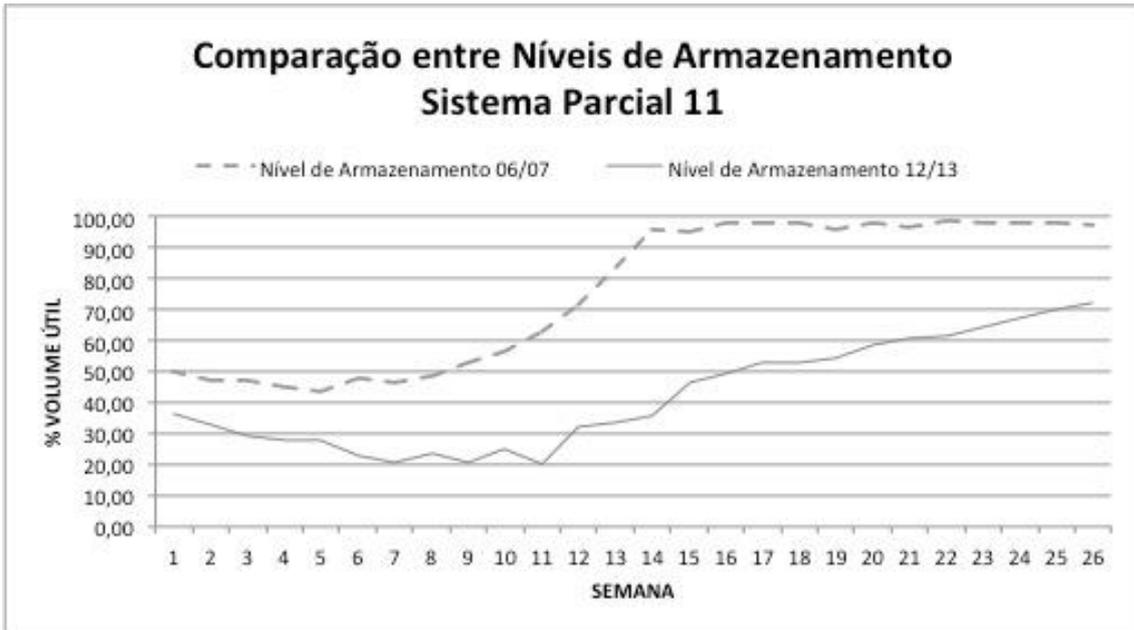


Figura I.30 – Comparação Entre os Níveis do SP 11 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.31 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 20, nos dois períodos chuvosos estudados.

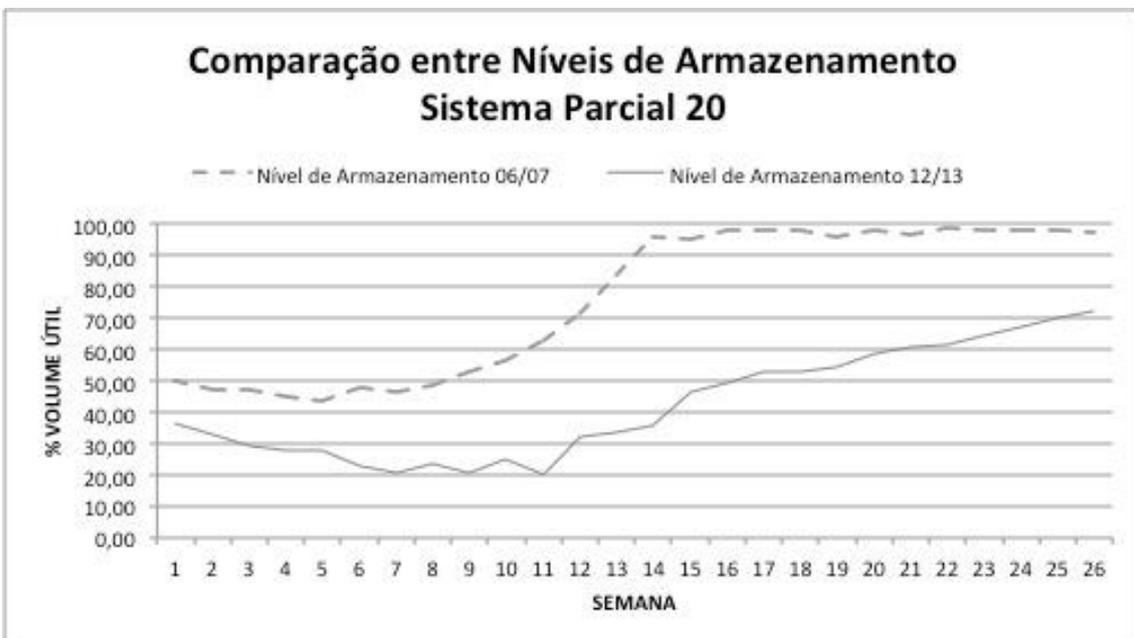


Figura I.31 – Comparação Entre os Níveis do SP 20 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.32 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 25, nos dois períodos chuvosos estudados.

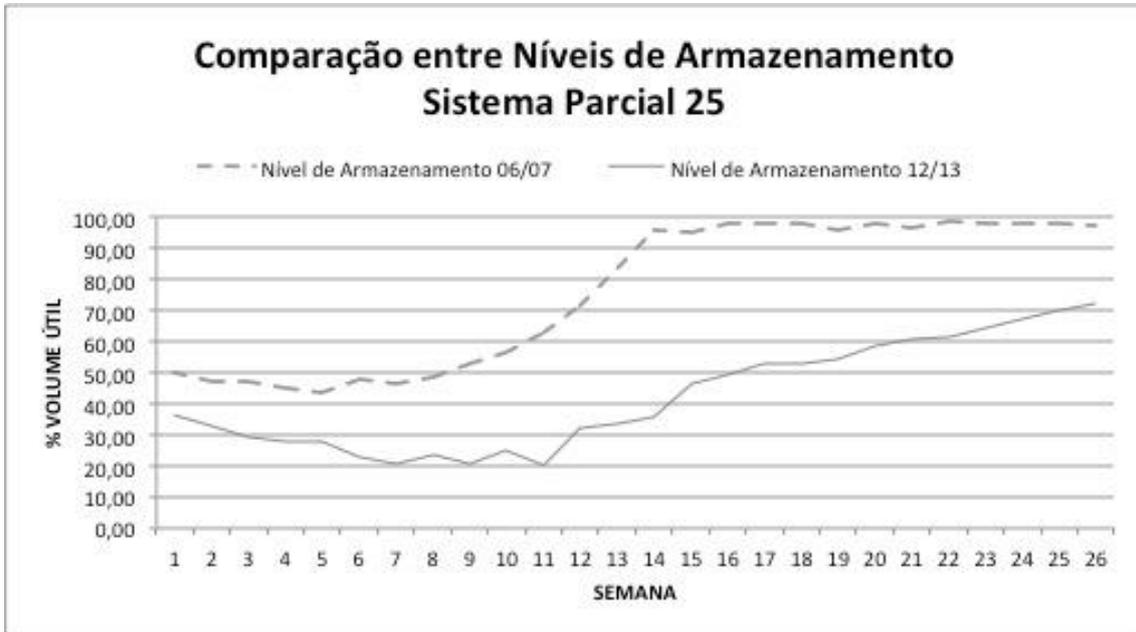


Figura I.32 – Comparação Entre os Níveis do SP 25 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.33 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 31, nos dois períodos chuvosos estudados.

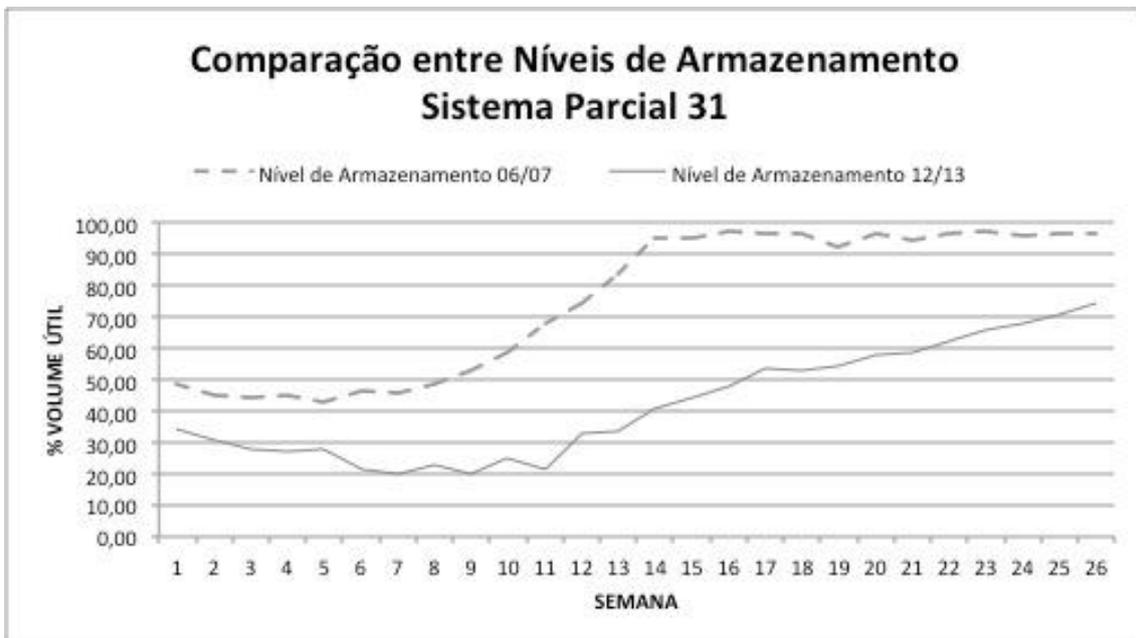


Figura I.33 – Comparação Entre os Níveis do SP 31 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.34 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 2, nos dois períodos chuvosos estudados.

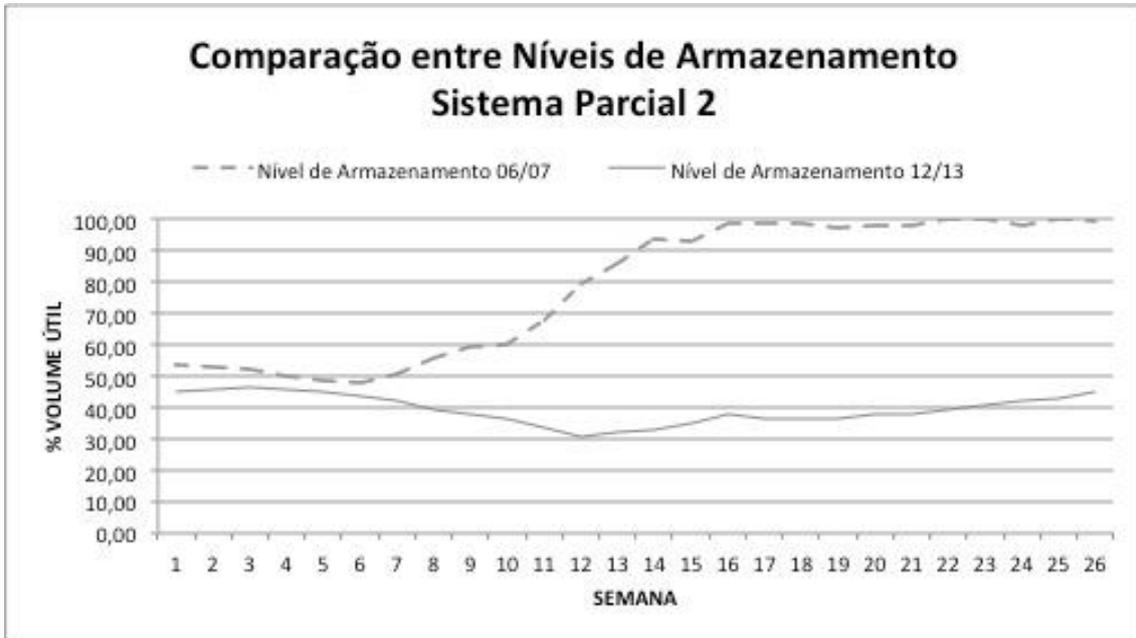


Figura I.34 – Comparação Entre os Níveis do SP 2 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.35 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 8, nos dois períodos chuvosos estudados.

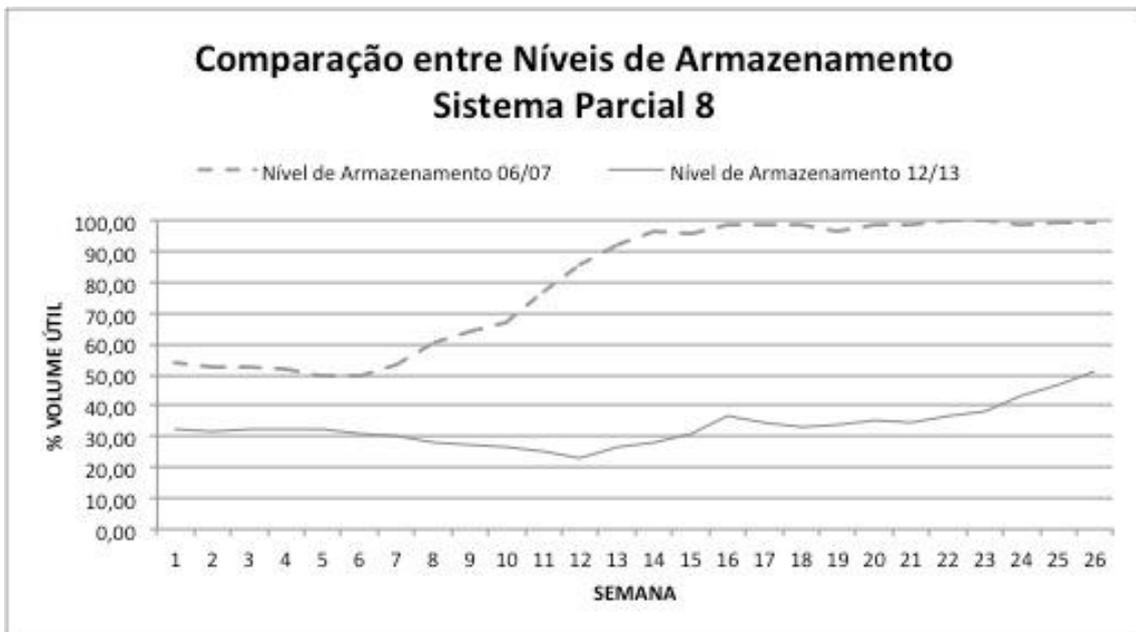


Figura I.35 – Comparação Entre os Níveis do SP 8 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013

A Figura I.36 mostra a comparação dos níveis de armazenamento do sistema parcial 16, nos dois períodos chuvosos estudados.

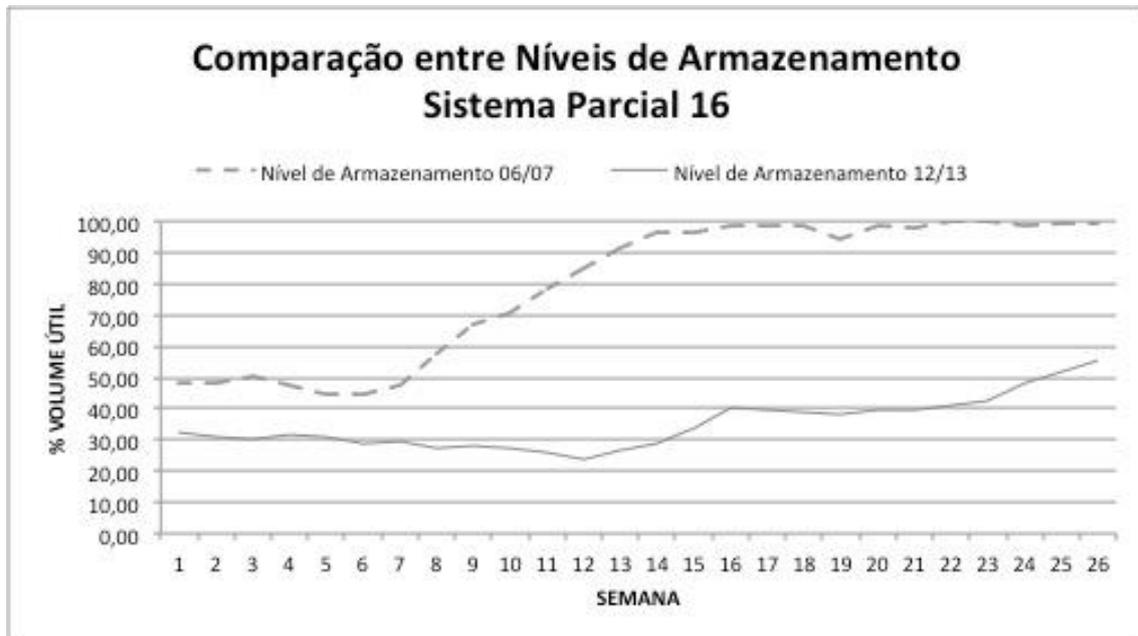


Figura I.36 – Comparação Entre os Níveis do SP 16 nos Períodos Chuvosos de 2006/2007 e 2012/2013