

**República Federativa do Brasil
Governo do Estado de Santa Catarina**

**ESTUDO PREPARATÓRIO
PARA O
PROJETO DE PREVENÇÃO E
MITIGAÇÃO
DE DESASTRES NA BACIA DO RIO ITAJAÍ**

**RELATÓRIO FINAL
VOLUME III - RELATÓRIO SUPLEMENTAR**

NOVEMBRO/2011

AGÊNCIA DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL DO JAPÃO

NIPPON KOEI CO., LTD.

GED
JR(先)
11-180

**República Federativa do Brasil
Governo do Estado de Santa Catarina**

**ESTUDO PREPARATÓRIO
PARA O
PROJETO DE PREVENÇÃO E
MITIGAÇÃO
DE DESASTRES NA BACIA DO RIO ITAJAÍ**

**RELATÓRIO FINAL
VOLUME III - RELATÓRIO SUPLEMENTAR**

NOVEMBRO/2011

AGÊNCIA DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL DO JAPÃO

NIPPON KOEI CO., LTD.

RELATÓRIO FINAL

Composição dos Relatórios

VOLUME I SUMÁRIO EXECUTIVO

VOLUME II RELATÓRIO PRINCIPAL

Parte I : Plano Diretor

Parte II : Estudo de Viabilidade

VOLUME III RELATÓRIO SUPLEMENTAR

(A) Hidrologia

(B) Plano de Mitigação de Enchentes

(C) Condição Natural e Plano de Gestão de
Deslizamentos de Terra

(D) Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes

(E) Contenção de Água nas Arrozeiras

(F) Considerações Ambientais e Sociais

(G) Projeto Estrutural e Estimativa de Custos

(H) Avaliação Econômica

VOLUME IV DATA BOOK CD

TAXA DE CÂMBIO

A taxa de câmbio utilizada neste estudo:

Plano Diretor (2010/10)	Brazilian Real (R\$1.0)=US Dollar (US\$0.58) = Japanese Yen(Y47.87)
Estudo de Viabilidade (2011/06)	Brazilian Real (R\$1.0)=US Dollar (US\$0.63) = Japanese Yen(Y50.71)

Anexos

- (A) Hidrologia***
- (B) Plano de Mitigação de Enchentes***
- (C) Condição Nacional e Plano de Gestão de Deslizamentos de Terra***
- (D) Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes***
- (E) Contenção de Águas Arrozeiras***
- (F) Considerações Ambientais e Sociais***
- (G) Projeto Estrutural e Estimativa de Custos***

Anexo
(A) *Hidrologia*

ESTUDO PREPARATÓRIO
PARA O
PROJETO DE PREVENÇÃO E
MITIGAÇÃO
DE DESASTRES NA BACIA DO RIO ITAJAÍ

RELATÓRIO FINAL PRELIMINAR

VOLUME III : ANEXOS
ANEXO A: HIDROLOGIA

Índice

	<u>Page</u>
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	A-1
CAPÍTULO 2 RIO ITAJAÍ.....	A-2
CAPÍTULO 3 METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA.....	A-6
3.1 Temperaturas	A-6
3.2 Precipitações Mensais	A-7
3.3 Números Médios Mensais de Dias Chuvosos	A-8
3.4 Precipitações Máximas em 24 Horas	A-9
3.5 Umidade Relativa.....	A-10
3.6 Evaporação Tanque A.....	A-11
3.7 Insolação	A-12
3.8 Precipitações Médias Anuais.....	A-13
CAPÍTULO 4 HYDROLOGIA	A-15
4.1 Vazões Médias Mensais	A-15
4.2 Sedimentos	A-18
4.3 Precipitações de Enchentes	A-22
4.4 Vazões Máximas Anuais	A-24
4.5 Estudos de Cheias para o Redimensionamento Hidráulico da Barragem Sul	A-28
4.6 Estudos de Cheias para o Redimensionamento Hidráulico da Barragem Oeste.....	A-30
4.7 Tempo de Recorrência das Cheias de Julho/1983 e Agosto/1984 em Blumenau	A-32
CAPÍTULO 5 NÍVEIS DA MARÉ	A-35
CAPÍTULO 6 CARATERÍSTICAS DA INUNDAÇÃO E TRANSBORDAMENTO DO RIO ITAJAÍ.....	A-36
6.1 Registros das principais enchentes.....	A-36
6.2 Escala das principais enchentes	A-39
6.2.1 Tempos de retorno das chuvas causadoras das principais enchentes	A-39
6.2.2 Tempo de retorno da enchente de 2008.....	A-40
6.3 Características das principais enchentes	A-42
6.3.1 Enchente de 1983	A-42

6.3.2	Enchente de 1984	A-43
6.3.3	Enchente de 2008	A-45
6.3.4	Enchente de 2010	A-50
CAPÍTULO 7	ANÁLISE DE ESCOAMENTO DE ENCHENTES.....	A-54
7.1	Síntese	A-54
7.2	Análise da precipitação e da chuva de projeto	A-54
7.2.1	Tempo de duração	A-54
7.2.2	Cálculo de precipitação média da bacia	A-55
7.2.3	Determinação da chuva de projeto.....	A-56
7.3	Escolha da enchente de projeto.....	A-59
7.4	Modelo de análise e calibração	A-60
7.4.1	Divisão da Bacia	A-60
7.4.2	Metodologia de Análise.....	A-62
7.4.3	Resultado da calibração da constante do modelo.....	A-69
7.5	Determinação da vazão de projeto	A-78
7.5.1	Extensão (extrapolação) da chuva.....	A-78
7.5.2	Metodologia de cálculo	A-78
7.5.3	Resultado do cálculo	A-78
7.5.4	Resultado das Estimativas das vazões projetadas para cada Tempo de Retorno.....	A-80
7.5.5	Ajuste da vazão da barragem de contenção de cheias.....	A-83
7.5.6	Comporta da Barragem Oeste	A-88

Tabelas

	<u>Page</u>
Tabela 2.1.1	Áreas de Drenagem A-2
Tabela 2.1.2	Comprimento da Drenagem dos Principais Rios da Bacia do Itajaí A-3
Tabela 3.1.1	Temperaturas (°C) Médias Mensais e Anual A-6
Tabela 3.2.1	Precipitações (mm) Médias Mensais e Anual A-7
Tabela 3.3.1	Números Médios Mensais e Anual de Dias Chuvosos A-8
Tabela 3.4.1	Precipitações (mm) Máximas em 24 Horas e Data de Ocorrência A-9
Tabela 3.5.1	Umidades Relativas Médias Mensais e Anual A-10
Tabela 3.6.1	Evaporações Médias Mensais e Anual de Tanque A A-11
Tabela 3.7.1	Insolações (horas) Médias Mensais e Anual A-12
Tabela 3.8.1	Precipitações médias anuais (mm) – Período 1980-2009 A-13
Tabela 4.2.1	Descargas Sólidas em Suspensão e Totais A-22
Tabela 4.3.1	Precipitações de Enchentes A-23
Tabela 4.4.1	Vazões Médias Diárias Máximas Anuais (m ³ /s) A-24
Tabela 4.5.1	Vazões Máximas na Barragem Sul – Rio Itajaí do Sul A-30
Tabela 4.6.1	Vazões Máximas na Barragem Oeste – Rio Itajaí do Oeste A-31
Tabela 4.7.1	Vazões Máximas (m ³ /s) do Rio Itajaí-Açu em Indaial (83690000) A-33
Tabela 4.7.2	Vazões Máximas (m ³ /s) do Rio Itajaí-Açu em Blumenau A-34
Tabela 6.1.1	Lista de principais enchentes nos últimos anos A-37
Tabela 6.1.2	Principais ocorrências de danos causadas pelas enchentes A-38
Tabela 6.2.1	Tempo de retorno das principais enchentes A-39
Tabela 6.2.2	Tempos de Retorno de Chuvas Intensas de 4 Dias de Duração e Chuvas Observadas (21 a 24 de novembro) em cada Sub-Bacia na Enchente de 2008 A-40
Tabela 6.2.3	Tempos de Retorno das Chuvas Intensas de 1, 2 e 4 Dias de Duração e Chuvas Observadas em Blumenau na Enchente de 2008 A-41
Tabela 6.3.1	Registros de precipitações diárias na enchente de julho 1983 A-42
Tabela 6.3.2	Precipitação diária na enchente de Nov. 2008 A-45
Tabela 6.3.3	Fonte de dados e a forma de organização A-50
Tabela 7.2.1	Resultado do cálculo da chuva de projeto para toda a Bacia do Rio Itajaí A-57
Tabela 7.2.2	Precipitação média em cada sub-bacia dos afluentes (1950 – 2009) A-58
Tabela 7.2.3	Chuva de projeto do Rio Itajaí e seus afluentes A-59
Tabela 7.3.1	Enchentes para efeito do estudo A-59
Tabela 7.4.1	Principais afluentes e seção de cálculo da vazão considerados na divisão da bacia A-60
Tabela 7.4.2	Perda inicial <i>I_a</i> A-62
Tabela 7.4.3	Grupo de solos SCS e taxa de infiltração (perda) (SCS, 1986; Skaggs and Khaleel, 1982) A-63
Tabela 7.4.4	Valor proposto para a constante k de regressão A-65
Tabela 7.4.5	Dados de entradas no método Muskingum Cunge A-66

Tabela 7.4.6	Equação das curvas H-Q e H-V	A-67
Tabela 7.4.7	Valor inicial da constante do modelo da bacia (antes da calibragem)	A-70
Tabela 7.4.8	Resultado da calibragem da constante do modelo da bacia (enchente de 1984).....	A-71
Tabela 7.4.9	Resultado da calibragem da constante do modelo da bacia (enchente de 21 a 24 de 04/2010)	A-71
Tabela 7.4.10	Resultado da calibragem da constante do modelo da bacia (enchente de 23 a 26 de 04/2010)	A-71
Tabela 5.5.1	Tempo de pico de maior vazão de cada cidade, por tempo de retorno	A-81
Tabela 7.5.2	Tempo de pico de maior vazão de cada cidade, por tempo de retorno	A-83

Figuras

	<u>Page</u>
Figura 2.1.1	Mapa do Rio Itajaí Incluindo as Áreas de Drenagem..... A-4
Figura 2.1.2	Perfil Longitudinal da Bacia do Rio Itajaí e as Distâncias entre os Principais Rios..... A-4
Figura 3.1.1	Temperaturas (°C) médias Mensais A-7
Figura 3.2.1	Precipitações Médias Mensais A-8
Figura 3.3.1	Números Médios Mensais de dias Chuvosos A-9
Figura 3.4.1	Precipitações Máximas em 24 Horas..... A-10
Figura 3.5.1	Umidades Relativas (°C) Médias Mensais A-11
Figura 3.6.1	Evaporações médias Mensais de Tanque Classe A..... A-12
Figura 3.7.1	Insolações (horas) Médias Mensais e Anual..... A-13
Figura 3.8.1	Média Anual de Precipitação na Bacia do Rio Itajaí A-14
Figura 4.1.1	Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí do Sul em Ituporanga (83250000) A-15
Figura 4.1.2	Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí do Oeste em Taió (83050000) A-15
Figura 4.1.3	Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí do Norte em Ibirama (83440000).... A-16
Figura 4.1.4	Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí-Açu em Rio do Sul (83690000) A-16
Figura 4.1.5	Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí-Açu em Indaial (83690000) A-16
Figura 4.1.6	Vazões Médias Mensais do Rio Benedito em Timbó Novo (83677000).... A-17
Figura 4.1.7	Vazões Médias Mensais do Rio Benedito em Timbó (83680000)..... A-17
Figura 4.1.8	Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí-Mirim em Brusque (83900000)..... A-17
Figura 4.2.1	Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Itajaí do Sul em Ituporanga (83250000) A-18
Figura 4.2.2	Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio do Oeste em Taió (83050000) A-19
Figura 4.2.3	Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Itajaí-Açu em Rio do Sul (83300200)..... A-19
Figura 4.2.4	Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio do Oeste em Ibirama (83440000) A-20
Figura 4.2.5	Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Itajaí em Indaial (83690000) A-20
Figura 4.2.6	Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Benedito em Timbó (83677000) A-21
Figura 4.2.7	Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Itajaí-Mirim em Brusque (83900000) A-21
Figura 4.3.1	Chuva ocorrida em Julho de 1983 para 1, 4 e 7 dias de duração na Bacia do Rio Itajaí A-22
Figura 4.3.2	Chuva ocorrida em Agosto de 1984 para 1 e 3 dias de duração na Bacia do Rio Itajaí A-23
Figura 4.3.3	Chuva ocorrida em Agosto de 1984 para 1 e 3 dias de duração na Bacia do Rio Itajaí A-23
Figura 4.4.1	Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí do Sul em Ituporanga..... A-26
Figura 4.4.2	Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí do Oeste em

	Taió	A-26
Figura 4.4.3	Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí do Norte em Ibirama.....	A-27
Figura 4.4.4	Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí-Açu em Indaial	A-27
Figura 4.4.5	Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí-Mirim em Brusque.....	A-28
Figura 4.5.1	Cheia Máximas em Ituporanga (83250000) no Rio do Sul	A-29
Figura 4.6.1	Cheia Máximas em Taió (83050000) no Rio do Oeste.....	A-31
Figura 4.7.1	Cheias Máximas em Indaial (83690000) no Rio Itajaí.....	A-33
Figura 5.1.1	Níveis da Maré no Porto de Itajaí / SC.....	A-35
Figura 6.3.1	Curva de precipitações e vazões na enchente de julho de 1983	A-43
Figura 6.3.2	Distribuição de chuva total na enchente 1984	A-44
Figura 6.3.3	Distribuição da precipitação horária na enchente de 1984	A-44
Figura 6.3.4	Registro das vazões em cada estação na enchente de 1984.....	A-45
Figura 6.3.5	Distribuição pluviométrica horária por estação, na inundação de 2008	A-47
Figura 6.3.6	Registros de níveis fluviométricos na inundação de 2008.....	A-48
Figura 6.3.7	Resultado dos cálculos do escoamento na enchente de 2008	A-49
Figura 6.3.8	Precipitação horária média na enchente de 2010 (Média na Bacia)	A-51
Figura 6.3.9	Registros de níveis fluviométricos na inundação de 2010.....	A-51
Figura 6.3.10	Vazões na inundação de 2010.....	A-52
Figura 6.3.11	Situações operacionais das Barragens Oeste e Sul na inundação de 2010	A-53
Figura 7.1.1	Fluxograma de cálculo da vazão de enchente.....	A-54
Figura 7.2.1	Distribuição de freqüência de duração de precipitação total maior do que 100 mm	A-55
Figura 7.2.2	Distribuição de freqüência de duração de precipitação total maior do que 100 mm	A-55
Figura 7.2.3	Chuva diária máxima de cada ano de toda a Bacia do Rio Itajaí (1950 - 2009).....	A-56
Figura 7.2.4	Precipitação média na bacia nos principais rios tributários (1950 – 2009).....	A-57
Figura 7.4.1	Divisão da Bacia do Rio Itajaí (modelo de análise de escoamentos)	A-61
Figura 7.4.2	Vazão comparada da enchente de 1984 (Ibirama e Timbó)	A-63
Figura 7.4.3	Modelagem da forma do canal	A-66
Figura 7.4.4	Operação da barragem durante a enchente de 1984 (a descarga foi estimada com base na curva H-Q elaborada)	A-68
Figura 7.4.5	Resultado de calibragem da enchente de 1984 (1/3)	A-72
Figura 7.4.6	Resultado da calibragem de enchente de 1984 (2/3)	A-73
Figura 7.4.7	Resultado da calibragem de enchente de 1984 (3/3)	A-74
Figura 7.4.8	Resultado de calibragem da enchente de 2010 (1/3)	A-75
Figura 7.4.9	Resultado de calibragem da enchente de 2010 (2/3)	A-76
Figura 7.4.10	Resultado de calibragem da enchente de 2010 (3/3)	A-77
Figura 7.5.1	Extensão dos padrões de chuva	A-78
Figura 7.5.2	Vazão de enchente provável em cada cidade principal, para respectivas	

	enchentes	A-79
Figura 7.5.3	Vazão de enchente de cada lugar de referência.....	A-80
Figura 7.5.4	Hidrograma da enchente de projeto para cada lugar de referência (1/3)	A-81
Figura 7.5.4	Hidrograma da enchente de projeto para cada lugar de referência (2/3)	A-82
Figura 7.5.5	Afluência, descarga e pico de enchente, por tempo de retorno, das três barragens e nível de água do reservatório.....	A-84
Figura 7.5.6	Barragem Norte: hidrograma de afluência e descarga, para cada tempo de retorno, e hidrograma do nível da água e capacidade do reservatório	A-85
Figura 7.5.7	Barragem Oeste: hidrograma de afluência e descarga, para cada tempo de retorno, e hidrograma do nível da água e capacidade do reservatório	A-86
Figura 7.5.8	Barragem Sul: hidrograma de afluência e descarga, para cada tempo de retorno, e hidrograma do nível da água e capacidade do reservatório.....	A-87
Figura 7.5.9	Variação do nível máximo de contenção com operação das comportas da barragem Oeste e relação da vazão de enchente na cidade de Taió	A-88

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

O principal objetivo dos estudos hidrológicos para o “Estudo Preparatório para o Projeto de Medidas de Prevenção e Mitigação de Desastres na Bacia do Rio Itajaí” são as chuvas de altas intensidades e vazões de cheias. Entretanto, para se compreender melhor esses fenômenos na bacia hidrográfica torna-se necessário a sua caracterização fisiográfica, meteorológica, climatológica e hidrológica.

CAPÍTULO 2 RIO ITAJAÍ

O rio Itajaí-Açu, ou simplesmente rio Itajaí, como é comumente chamado, é um rio brasileiro situado na Região Sul, Estado de Santa Catarina, e a sua bacia hidrográfica, de porte médio, está situada no domínio da Mata Atlântica, correndo no sentido oeste-leste, até desaguar no Oceano Atlântico, com uma área de drenagem total da ordem de 14.933 km².

O rio Itajaí-Açu toma este nome a partir do município de Rio do Sul, pela confluência do rio Itajaí do Sul com o rio Itajaí do Oeste. Seus maiores afluentes pela margem esquerda são o rio Itajaí do Norte ou Hercílio (na divisa de Lontras e Ibirama), o rio Benedito (em Indaial) e seu afluente, o rio dos Cedros, e o rio Luís Alves (em Ilhota). No município de Itajaí, pouco antes da foz no Oceano Atlântico - mais precisamente 8 km - o rio Itajaí-Açu recebe as águas do principal afluente pela margem direita: o rio Itajaí-Mirim. O rio Itajaí, portanto, é composto por seis grandes sub-bacias de rios afluentes, além da área incremental entre essas sub-bacias, conforme mostrado na Figura 2.1. (vide desenho 2.3.1).

O território da bacia divide-se em três grandes compartimentos naturais - o alto, o médio e o baixo vale - em função das suas características geológicas e geomorfológicas. O alto vale compreende toda a área de drenagem a montante da confluência do rio Itajaí do Norte ou Hercílio com o rio Itajaí-Açu, incluindo-se nessa região as cabeceiras do rio Itajaí-Mirim. O médio vale compreende a área entre a confluência mencionada e a cidade de Blumenau e, a partir daí desenvolve-se o baixo vale com declividade pouco acentuada e sofrendo a influência da maré.

As áreas de drenagem desses principais rios, em conjunto com as áreas de drenagem das principais estações fluviométricas, são apresentadas na Tabela 2.1.1:

Tabela 2.1.1 – Áreas de Drenagem

Área de Drenagem das Subbacias			
Área (km ²)			
SUBBACIA	Área (km ²)	Estação Fluviométrica	Área (km ²)
RIO ITAJAÍ DO NORTE OU HERCÍLIO	3.353,98	Barragem Norte	2.330,5
		Ibirama	3.335,4
RIO ITAJAÍ DO OESTE	3.014,37	Barragem Oeste	851,2
		Rio Trombudo	590,9
		Taio	1.569,9
RIO ITAJAÍ DO SUL	2.026,87	Barragem Sul	1.165,4
		Ituporanga	1.645,3
RIO BENEDITO	1.500,30	Rio Benedito	830,9
		Rio dos Cedros	600,3
		Barragem Pinhal	179,9
		Barragem Rio Bonito	119,8
		Timbo Novo	1.431,3
LUIS ALVES	580,01	Luis Alves	157,3
RIO ITAJAÍ-MIRIM	1.678,86	Brusque	1.206,6
		Canal Junction	1.540,3
RIO ITAJAÍ AÇU (Entre confluências)		Rio do Sul Novo	5.041,6
		Apiuna Nova	9.288,8
		Indaial	11.276,4
		Ribeirão da Velha	56,6
		Blumenau	11.922,7
		Rio Garcia	158,3
		Gaspar	12.271,9
		Ilhota	12.498,6
		Após a confluência com o Rio de Luis Alves	13.093,8
		Após a confluência com o Rio Itajaí-Mirim	14.914,8
		Desembocadura	14.933,2
Total área de captação da Bacia Itajaí	14.933,23		

Fonte: Equipe de Estudos JICA

A maior parte da área da bacia do rio Itajaí-Açu é composta de floresta e grande extensão de campo de pastagem. A população se concentra às margens do rio e há grandes cidades com população entre 100 mil a 300 mil habitantes, tais como Itajaí (na foz do rio), Blumenau (70 km da foz) e Rio do Sul (190 km da foz).

Em relação às características do canal fluvial, o rio Itajaí tem a declividade do leito entre 1/15.000 e 1/20.000, a partir da foz até a cidade de Blumenau, portanto um trecho bem plano. A altitude do leito de rio em Blumenau é mais baixa do que o nível médio do mar. O trecho intermediário do rio, a montante de Blumenau até a cidade de Lontras (em torno de 170 km), tem a declividade bem íngreme entre 1/100 e 1/1.500 e a declividade do trecho entre Lontras e Rio do Sul é razoavelmente plana, com inclinação de 1/3.000.

A largura do rio situa-se entre 200 a 300 metros no trecho do baixo vale, entre 150 a 200 metros nas proximidades de Blumenau, entre 100 a 150 metros em Rio do Sul e, à medida que segue para montante, vai se tornando cada vez mais estreito.

Atualmente no Rio Itajaí não existem diques ou canal retificado notável, com exceção de intervenções parciais, tais como berços de concreto do complexo portuário e canal retificado do rio Itajaí Mirim. O canal do rio Itajaí-Açu em quase toda sua extensão mantém a sua forma natural.

Os comprimentos dos principais talwegues são mostrados na Tabela 2.1.2:

Tabela 2.1.2 - Comprimento da Drenagem dos Principais Rios da Bacia do Itajaí

Comprimento de Drenagem dos Rios				
Distancia (km)				
RIO	Comprimento principal (km)	Ponto de coleta de dados	Distancia (km)	
RIO ITAJAÍ DO NORTE OU HERCÍLIO	150,28	Barragem Norte	46,22	
		Ibirama	4,04	
RIO ITAJAÍ DO OESTE	136,96	Barragem Oeste	77,68	
		Talo	69,16	
RIO ITAJAÍ DO SUL	110,63	Barragem Sul	43,81	
		Ituporanga	25,46	
RIO BENEDITO	84,21	Timbo Novo	10,25	
LUIS ALVES	Com Canal	61,12	Luis Alves	40,30
	Rio	73,96	Luis Alves	53,14
RIO ITAJAÍ-MIRIM	Com Canal	169,49	Brusque	37,72
			Até a confluência com o canal Junction	8,44
	Rio	181,33	Brusque	49,57
			Até a confluência com o canal Junction	20,28
RIO ITAJAÍ AÇU	190,51	Até a confluência com o Rio Itajaí do Oeste	190,51	
		Rio do Sul Novo	189,94	
		Até a confluência com o Rio Itajaí do Norte	151,07	
		Apiuna Nova	130,96	
		Warnow	106,55	
		Até a confluência com o Rio Benedito	97,59	
		Indaial	97,50	
		Ribeirão da Velha	20,18	
		Blumenau	69,04	
		Rio Garcia	42,10	
		Até Gaspar	52,07	
		Até Ithota	36,63	
		Até a confluência com o Rio de Luis Alves	31,31	
Até a confluência com o Rio Itajaí-Mirim	7,21			
Total comprimento do Rio Itajaí	301,14			

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Na Figura 2.1.1 apresenta-se o mapa da Bacia do Rio Itajaí-Açu. Na Figura 2.1.2 apresenta-se o perfil longitudinal dos principais rios da bacia.

Em relação às enchentes ocorridas as cidades situadas às margens do Rio Itajaí, começando por Blumenau, têm sofrido com os desastres de enchentes com certa frequência, mais do que antigamente. As enchentes mais representativas que ocorreram mais recentemente foram: 07/1983, 08/1984 e 11/2008. Os maiores desastres de enchentes ocorreram no baixo vale (Itajaí, Gaspar e Blumenau) e no alto vale (Rio do Sul) e em algumas cidades pequeno e médio porte às margens dos rios tributários. Na cidade de Indaial e no médio vale, onde a declividade é bem íngreme, os desastres foram menores.

O Estado de Santa Catarina tem implementado algumas medidas de proteção contra enchentes através da construção de barragens exclusivas de contenção de cheias, tais como as barragens Oeste e Sul, na década de 1970 e a barragem Norte, na década de 1990. Fora essas barragens não existe infra-estrutura de contenção de enchentes significativa e não há medidas estruturais de porte. Entretanto, as Defesas Civas das principais cidades, como Blumenau, têm firmado acordo de cooperação com a FURB e o CIRAM e implementado o sistema de prevenção e alarme com o intuito de atenuar os desastres.

CAPÍTULO 3 METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

O clima da bacia do rio Itajaí, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo "Cfa": temperado úmido com verão quente.

Para a classificação climática e caracterização das variáveis climatológicas foram utilizados os dados fornecidos pela EPAGRI-CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A – Centro Integrado de Informações de Recursos Ambientais) de estações situadas ao longo da bacia do rio Itajaí-Açu: Estação Agrometeorológica Rio do Campo-639 (período 01/06/1994 a 31/07/2010), Estação Agrometeorológica Ituporanga-191 (período 01/10/1985 a 31/07/2010), Estação Agrometeorológica Indaial-167 (período 01/12/1970 a 31/07/2010) e Estação Agrometeorológica Itajaí183 (período 04/08/1980 a 31/07/2010). A análise das sazonalidades das variáveis observadas nessas estações fica um pouco prejudicada em função da pouca disponibilidade de informações e dos diferentes períodos observados em cada estação. A estação Rio do Campo-639, além de ter o menor período de dados observados, é uma estação com deficiências nas observações, segundo informações da EPAGRI-CIRAM. Portanto algumas informações parecem ser inconsistentes, principalmente quando suas observações são comparadas com as das outras estações.

3.1 Temperaturas

O trimestre mais quente abrange os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com temperaturas médias neste trimestre variando em torno de 22°C no alto vale e 24°C no médio e baixo vale. As máximas absolutas variam de 28°C a 43°C ao longo da bacia, ocorrendo o menor valor no inverno, geralmente no mês de julho, e o maior ocorrendo no verão, em geral no mês de janeiro.

O trimestre mais frio ocorre de junho a agosto, com temperaturas médias em torno de 13°C no alto vale e 16°C no médio e baixo vale. As mínimas absolutas, ao longo da bacia e do ano, variam de -5,4°C a 15°C, com as temperaturas menores ocorrendo no inverno e no alto vale e os maiores valores ocorrendo no verão e no médio e baixo vale.

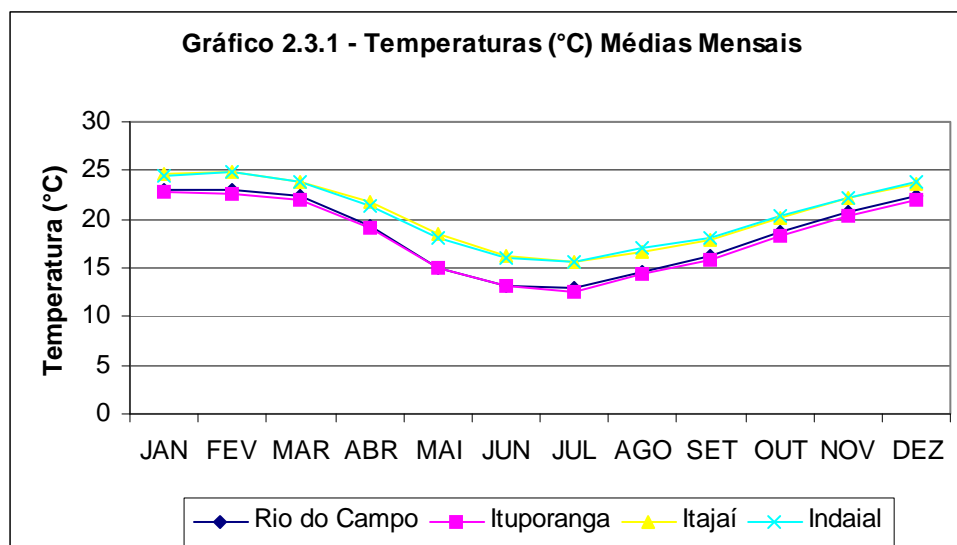
Na Tabela 3.1.1 apresenta-se as temperaturas médias mensais nas estações indicadas:

Tabela 3.1.1 - Temperaturas (°C) Médias Mensais e Anual

Mês	Rio do Campo	Ituporanga	Indaial	Itajaí
Janeiro	23,0	22,8	24,5	24,7
Fevereiro	23,0	22,7	24,8	24,8
Março	22,3	21,9	23,9	23,9
Abril	19,3	19,1	21,3	21,7
Mai	15,0	14,9	18,0	18,4
Junho	13,1	13,2	16,1	16,3
Julho	13,0	12,6	15,6	15,6
Agosto	14,6	14,4	17,0	16,6
Setembro	16,3	15,8	18,1	17,9
Outubro	18,7	18,3	20,3	20,1
Novembro	20,8	20,3	22,1	22,1
Dezembro	22,3	22,0	23,8	23,7
Anual	18,5	18,2	20,5	20,5

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Na Figura 3.1.1 a seguir apresenta-se a plotagem das temperaturas médias mensais.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 3.1.1 – Temperaturas (°C) médias Mensais

Verifica-se, de um modo geral, que quanto mais próximo ao litoral há uma menor variação da temperatura, com meses mais quentes no verão e menos frios no inverno.

3.2 Precipitações Mensais

O trimestre mais chuvoso ocorre no verão, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto o período mais seco ocorre no inverno. Isto, porém, em termos médios, pois um mesmo mês pode ser extremamente úmido num determinado ano e extremamente seco num outro. Precipitações causadoras de enchentes podem ocorrer em qualquer mês do ano.

Na Tabela 3.2.1 apresenta-se as precipitações médias mensais nas estações indicadas:

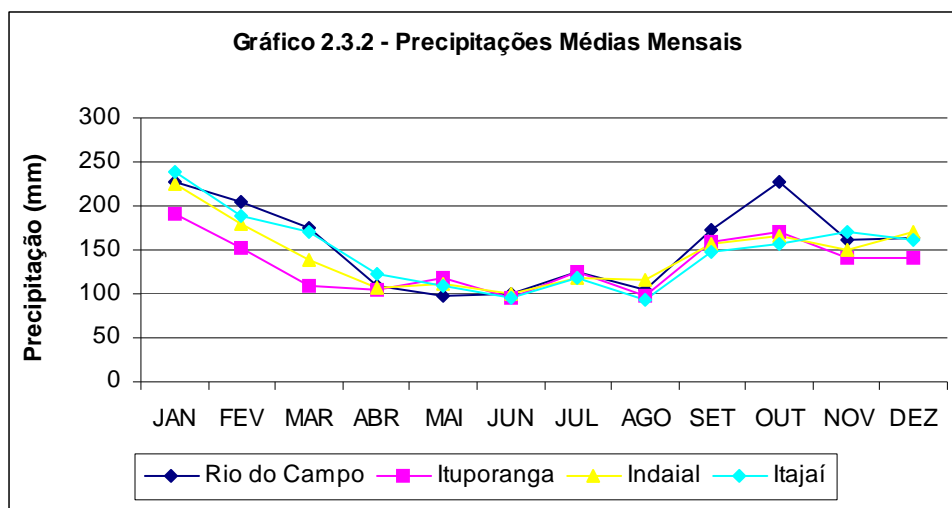
Tabela 3.2.1 - Precipitações (mm) Médias Mensais e Anual

Mês	Rio do Campo	Ituporanga	Indaial	Itajaí
Janeiro	227,0	191,4	224,6	238,2
Fevereiro	205,6	152,7	180,4	189,3
Março	174,9	108,2	138,5	169,6
Abril	108,4	103,6	107,6	121,7
Mai	97,3	118,8	111,3	110,0
Junho	99,5	96,0	100,7	95,6
Julho	126,1	125,0	118,9	117,7
Agosto	104,2	97,7	117,0	94,0
Setembro	171,9	159,9	157,6	148,8
Outubro	226,9 *	170,4	165,7	156,9
Novembro	160,5	140,5	150,3	169,7
Dezembro	163,5	141,4	169,7	160,3
Anual	1.865,8 *	1.605,6	1.742,3	1.771,8

* valor aparentemente inconsistente

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Na Figura 3.2.1 abaixo apresenta-se a plotagem das precipitações médias mensais:



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 3.2.1 – Precipitações Médias Mensais

De um modo geral as precipitações, em termos médios, são decrescentes do litoral para o interior. A estação fluviométrica Rio do Campo foge a esta regra, pelas razões já mencionadas.

3.3 Números Médios Mensais de Dias Chuvosos

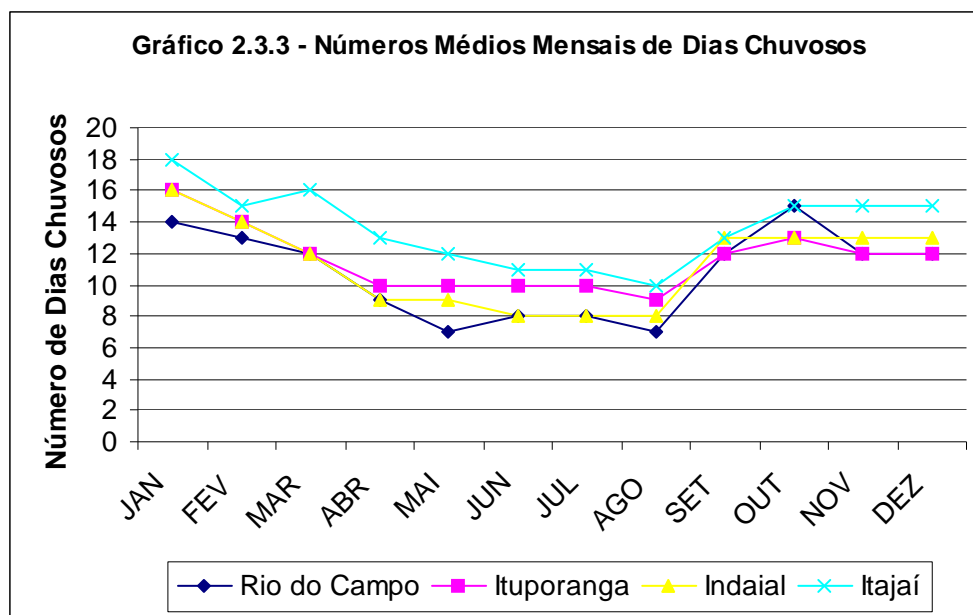
Na Tabela 3.3.1 apresenta-se os números médios mensais aproximados de dias chuvosos:

Tabela 3.3.1 - Números Médios Mensais e Anual de Dias Chuvosos

Mês	Rio do Campo	Ituporanga	Indaial	Itajaí
Janeiro	14	16	16	18
Fevereiro	13	14	14	15
Março	12	12	12	16
Abril	9	10	9	13
Mai	7	10	9	12
Junho	8	10	8	11
Julho	8	10	8	11
Agosto	7	9	8	10
Setembro	12	12	13	13
Outubro	15	13	13	15
Novembro	12	12	13	15
Dezembro	12	12	13	15
Anual	129	140	136	164

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Na Figura 3.3.1 apresenta-se a plotagem dos números médios mensais de dias chuvosos.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 3.3.1 – Números Médios Mensais de dias Chuvosos

Acompanhando as precipitações médias mensais o número médio de dias chuvosos também diminui do litoral para o interior. Eventuais valores discrepantes se devem aos diferentes períodos de observação dos dados.

3.4 Precipitações Máximas em 24 Horas

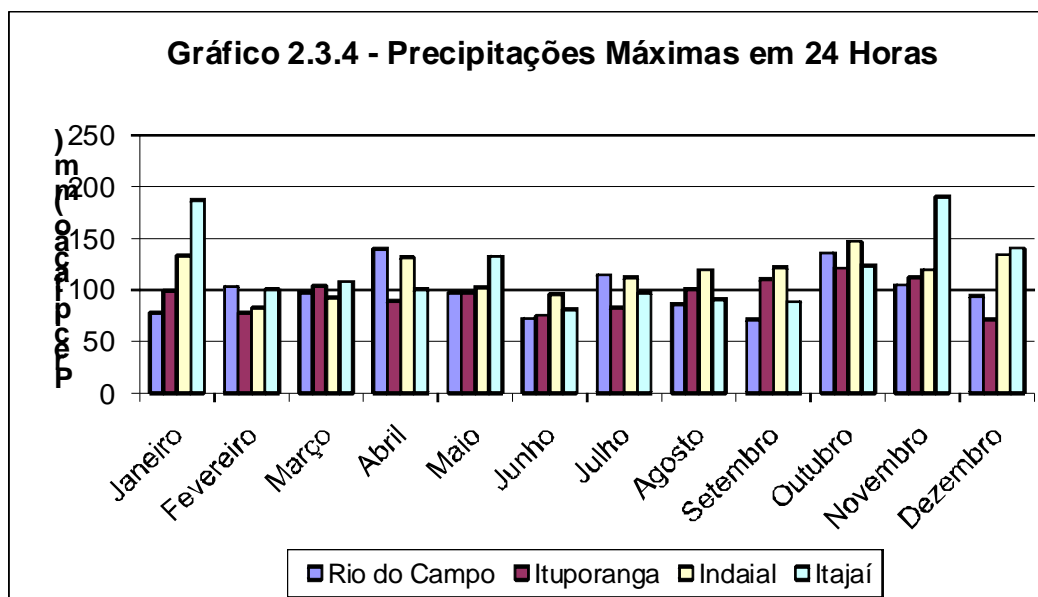
Na Tabela 3.4.1 abaixo se apresenta, para cada mês, as precipitações máximas observadas em 24 horas nas estações consideradas:

Tabela 3.4.1 - Precipitações (mm) Máximas em 24 Horas e Data de Ocorrência

Mês	Rio do Campo		Itaporanga		Indaial		Itajaí	
Janeiro	78,0	17/01/2009	99,0	15/01/2000	133,5	10/01/2002	187,5	24/01/1999
Fevereiro	103,6	01/02/1998	77,8	01/02/1997	82,6	28/02/1998	100,7	14/02/1987
Março	98,0	07/03/2003	103,8	09/03/2009	92,4	03/03/2003	108,0	25/03/1982
Abril	140,0	23/04/2010	89,7	26/04/2004	131,8	04/04/2005	100,8	21/04/2008
Mai	97,2	18/05/2007	97,8	04/05/2001	102,7	29/05/1992	133,1	29/05/1992
Junho	72,6	19/06/1998	75,5	30/06/2002	96,3	21/06/1991	81,5	27/06/1997
Julho	115,1	30/07/1999	83,0	09/07/2007	112,1	03/07/1999	97,3	03/07/1999
Agosto	86,4	01/08/2009	101,0	31/08/2005	119,3	31/08/2005	91,2	06/08/1984
Setembro	71,4	25/09/1997	110,2	14/09/2004	121,7	14/09/2004	88,8	28/09/2009
Outubro	136,2	01/10/2001	121,4	01/10/2001	147,2	01/10/2001	123,6	01/10/2001
Novembro	105,0	29/11/2002	112,6	21/11/2000	119,9	23/11/2008	190,5	23/11/2008
Dezembro	94,2	06/12/2007	71,4	16/12/2003	134,4	03/12/1972	140,8	29/12/1995

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Na Figura 3.4.1 abaixo apresenta-se a plotagem das precipitações máximas em 24 horas em cada uma das estações consideradas.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 3.4.1 – Precipitações Máximas em 24 Horas

De um modo geral verifica-se que precipitações de grandes intensidades ocorrem em todos os meses do ano.

3.5 Umidade Relativa

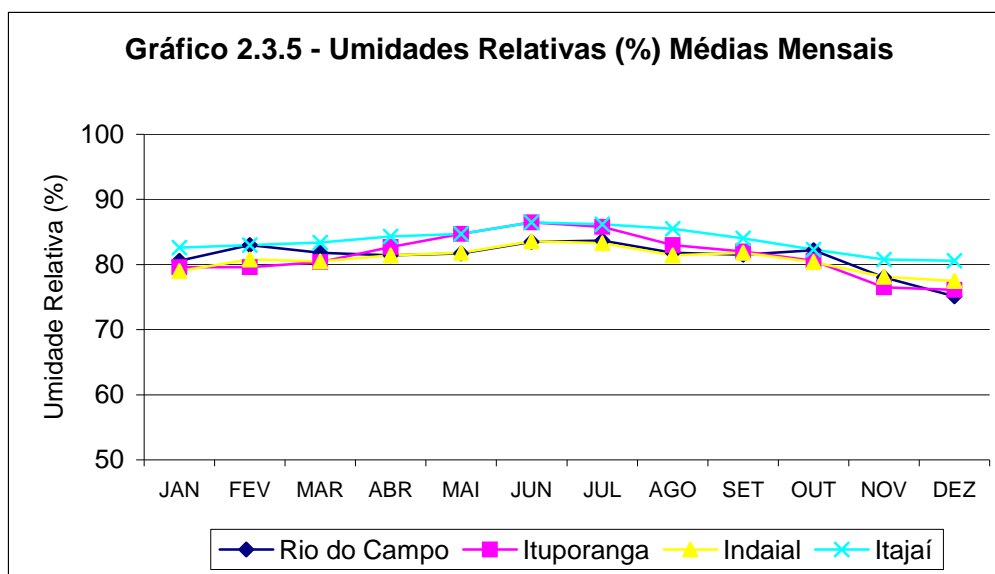
Na Tabela 3.5.1 seguinte apresenta-se as umidades relativas médias mensais nas estações consideradas:

Tabela 3.5.1- Umidades Relativas Médias Mensais e Anual

Mês	Rio do Campo	Ituporanga	Indaial	Itajaí
Janeiro	80,6	79,6	79,0	82,6
Fevereiro	83,0	79,6	80,8	83,0
Março	81,8	80,4	80,5	83,4
Abril	81,4	82,7	81,4	84,3
Mai	81,7	84,7	81,8	84,7
Junho	83,5	86,5	83,6	86,5
Julho	83,7	85,8	83,3	86,2
Agosto	81,8	83,0	81,4	85,5
Setembro	81,5	82,0	81,8	84,0
Outubro	82,2	80,6	80,4	82,3
Novembro	78,0	76,5	78,1	80,8
Dezembro	75,1	76,1	77,5	80,6
Anual	81,2	81,5	80,8	83,7

Fonte: Equipe de Estudos JICA

As umidades relativas médias mensais estão plotadas na Figura 3.5.1 abaixo, onde se pode verificar que o quadrimestre maio a agosto apresenta as maiores umidades relativas médias mensais.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 3.5.1 – Umidades Relativas (°C) Médias Mensais

3.6 Evaporação Tanque A

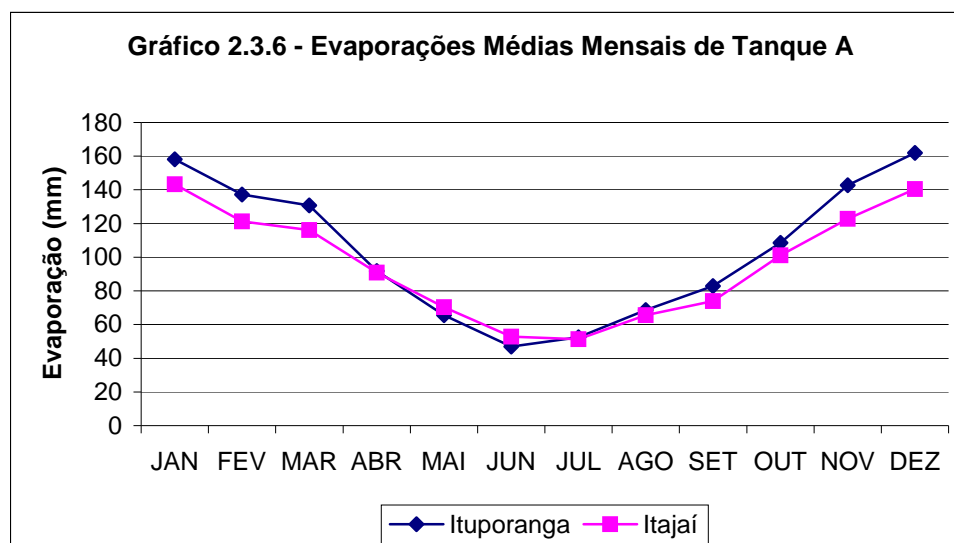
Na Tabela 3.6.1 apresenta-se as evaporações de Tanque A observadas nas estações mencionadas, com exceção da estação Rio do Campo cujas observações são insuficientes para se obter uma média representativa. Em Indaial não há observações de Tanque Classe A.

Tabela 3.6.1 - Evaporações Médias Mensais e Anual de Tanque A

Mês	Rio do Campo	Ituporanga	Indaial	Itajaí
Janeiro	-	158,1	-	143,3
Fevereiro	-	137,2	-	121,2
Março	-	130,7	-	116,2
Abril	-	91,8	-	90,9
Mai	-	65,6	-	70,4
Junho	-	47,0	-	52,9
Julho	-	52,4	-	51,3
Agosto	-	68,7	-	65,6
Setembro	-	82,9	-	73,9
Outubro	-	108,6	-	101,1
Novembro	-	142,7	-	122,7
Dezembro	-	161,9	-	140,4
Anual	-	1.247,6	-	1.149,9

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Na Figura 3.6.1 a seguir apresenta-se a plotagem das evaporações médias mensais de Tanque A. Observa-se que os meses com menores evaporações estão no quadrimestre maio a agosto, em coerência com as maiores umidades relativas do ar.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 3.6.1 – Evaporações médias Mensais de Tanque Classe A

3.7 Insolação

Na Tabela 3.7.1 apresenta-se as insolações médias mensais observadas nas estações mencionadas, com exceção da estação Rio do Campo cujas observações são insuficientes para se obter uma média representativa.

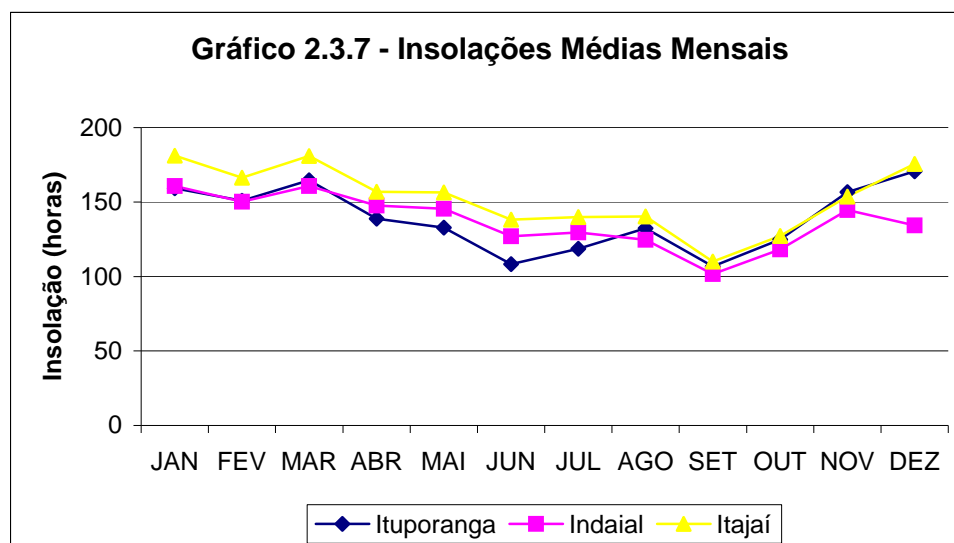
Tabela 3.7.1 - Insolações (horas) Médias Mensais e Anual

Mês	Rio do Campo	Ituporanga	Indaial	Itajaí
Janeiro	-	159,1	160,6	181,1
Fevereiro	-	150,7	150,2	166,2
Março	-	164,6	160,7	180,8
Abril	-	138,7	147,5	156,8
Mai	-	132,8	145,4	156,4
Junho	-	108,2	126,9	138,1
Julho	-	118,6	129,5	139,8
Agosto	-	132,4	124,6	140,3
Setembro	-	106,7	101,6	109,9
Outubro	-	124,9	118,2	127,1
Novembro	-	156,7	144,5	153,6
Dezembro	-	170,6	134,3 *	175,5
Anual	-	1.664,0	1.644,0	1.825,6

* valor aparentemente inconsistente

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Na Figura 3.7.1 abaixo apresenta-se a plotagem das insolações médias mensais. O valor obtido em Indaial no mês de dezembro aparenta ser inconsistente. Os meses do verão, como esperado, apresentam maior número de horas de sol. A insolação na bacia do rio Itajaí diminui do litoral para o interior. Eventuais discrepâncias são devidas aos diferentes períodos de observação.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 3.7.1 - Insolações (horas) Médias Mensais e Anual

3.8 Precipitações Médias Anuais

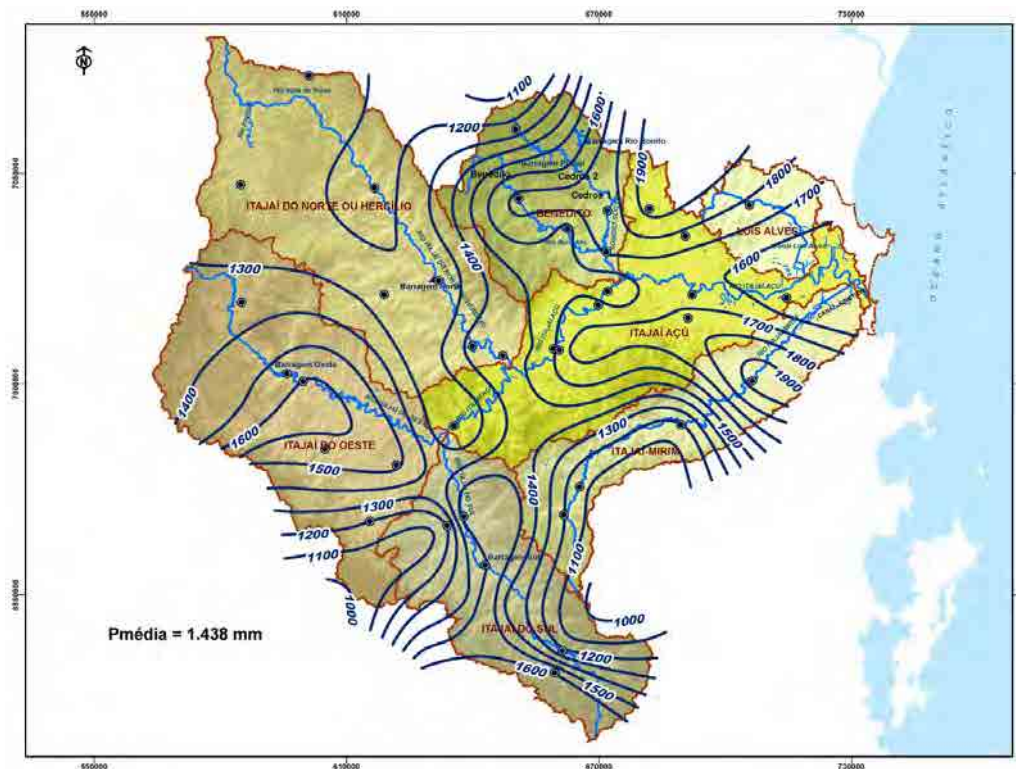
Com base nas precipitações médias anuais observadas em 39 estações pluviométricas situadas na bacia do rio Itajaí, cobrindo o período 1980-2009 (30 anos), traçou-se o mapa de isoietas mostrado na Figura 3.8.1. Na Tabela 3.8.1 relaciona-se as estações e as respectivas médias pluviométricas anuais.

Tabela 3.8.1 – Precipitações médias anuais (mm) – Período 1980-2009

Estação Pluviométrica	Código	Latitude	Longitude	Média
ILHOTA	02648001	-26:55:18	-48:50:21	1519
LUIZ	02648002	-26:43:27	-48:55:54	1777
WARNOW	02649001	-26:56:37	-49:17:22	1629
POMERODE	02649002	-26:44:8	-49:10:13	1926
BENEDITO NOVO	02649003	-26:46:52	-49:21:54	1593
TIMBÓ NOVO	02649004	-26:49:47	-49:16:19	1705
INDAIAL	02649005	-26:54:49	-49:16:3	1536
BLUMENAU	02649007	-26:55:5	-49:3:55	1618
ARROZEIRA	02649008	-26:44:27	-49:16:14	1726
GARCIA DE BLUMENAU	02649009	-26:58:6	-49:4:27	1754
ITUUPAVA CENTRAL	02649010	-26:47:35	-49:5:0	1766
DOUTOR PEDRINHO	02649017	-26:43:2	-49:28:59	1721
WITMARSUM	02649053	-26:55:34	-49:48:9	1260
BARRA DO PRATA	02649058	-26:41:51	-49:49:41	1177
BARRAGEM NORTE	02649061	-26:53:42	-49:40:20	1224
BARRA DO AVENCAL	02649065	-26:34:8	-49:29:30	1252
RIO DO CAMPO	02650014	-26:56:42	-50:8:36	1349
IRACEMA	02650022	-26:27:31	-49:59:11	1255
NOVA CULTURA	02650023	-26:41:35	-50:8:52	1243
BRUSQUE	02748000	-27:6:2	-48:55:4	1926
APIUNA - RÉGUA NOVA	02749000	-27:2:17	-49:23:42	1578
IBIRAMA	02749001	-27:3:14	-49:31:0	1485
ITUPORANGA	02749002	-27:23:55	-49:36:21	1535
TAIÓ	02749003	-27:6:47	-49:59:40	1601
NOVA BREMEN	02749005	-27:2:3	-49:35:23	1423
POUSO REDONDO	02749006	-27:15:26	-49:56:27	1564
LOMBA ALTA	02749007	-27:43:50	-49:22:58	1590
TROMBUDO CENTRAL	02749013	-27:17:25	-49:46:8	1514
NEISSE CENTRAL	02749016	-27:2:25	-49:22:53	1643
BARRAGEM SUL	02749017	-27:30:7	-49:33:11	1489
VIDAL RAMOS	02749033	-27:23:33	-49:21:56	1205
SALTINHO	02749037	-27:41:0	-49:21:55	1225

RIO DO SUL	02749039	-27:12:20	-49:37:54	1205
AGROLÂNDIA	02749041	-27:24:41	-49:49:53	1201
ITUPORANGA	02749043	-27:25:7	-49:38:46	1206
BOTUVERA	02749045	-27:11:48	-49:5:14	1193
SALSEIRO	02749046	-27:19:55	-49:19:42	1134
BARRAGEM	02750014	-27:5:50	-50:2:2	1548
CABECEIRA RIBEIRÃO CAETANO	02750021	-27:8:28	-50:15:52	1401

Fonte: Equipe de Estudos JICA



Fonte: JICA / EPAGRI / CIRAM

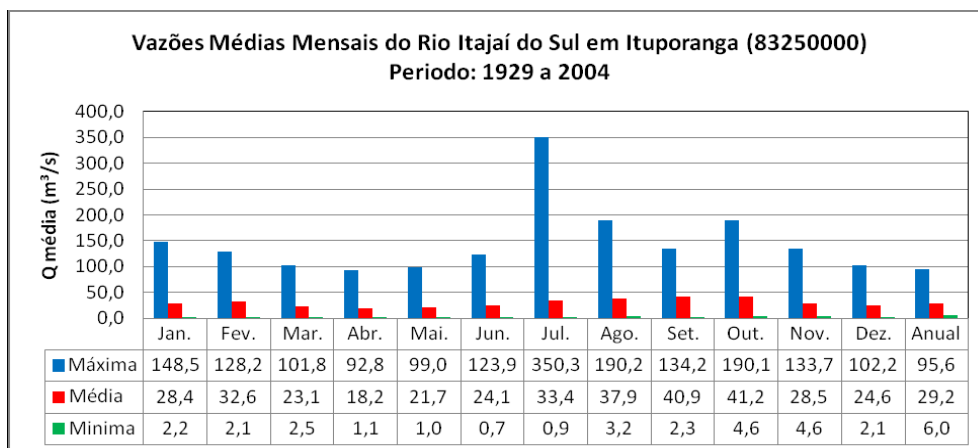
Figura 3.8.1 Média Anual de Precipitação na Bacia do Rio Itajaí

CAPÍTULO 4 HIDROLOGIA

4.1 Vazões Médias Mensais

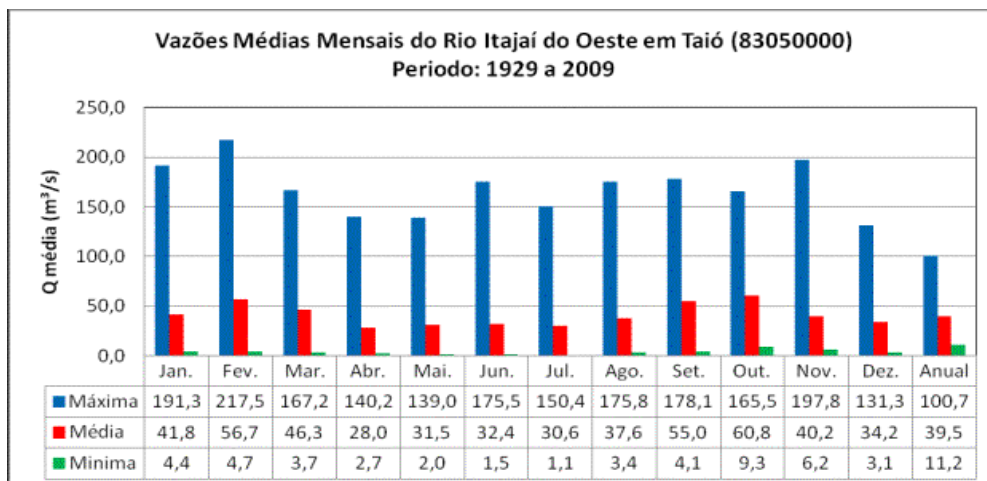
Nas Figuras 4.1.1 a 4.1.8 abaixo apresenta-se um resumo das vazões médias mensais e a sazonalidade dessas vazões em várias estações fluviométricas distribuídas pela bacia e situadas nos seus principais rios.

Em termos médios não se verifica uma estação seca, visto que as chuvas ocorrem em todos os meses do ano. Verifica-se também que qualquer um dos meses do ano pode ser extremamente úmido num ano qualquer e extremamente seco num outro ano, sendo julho o mês em que este contraste é mais acentuado.



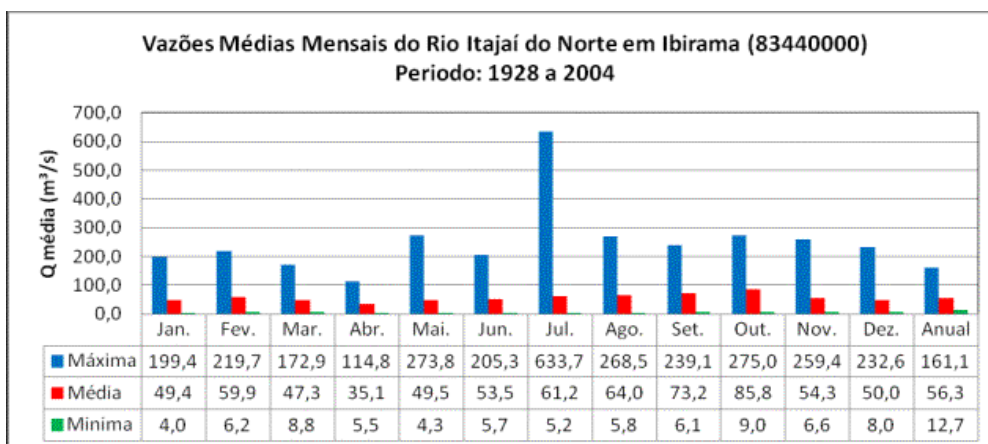
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.1.1 – Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí do Sul em Ituporanga (83250000)



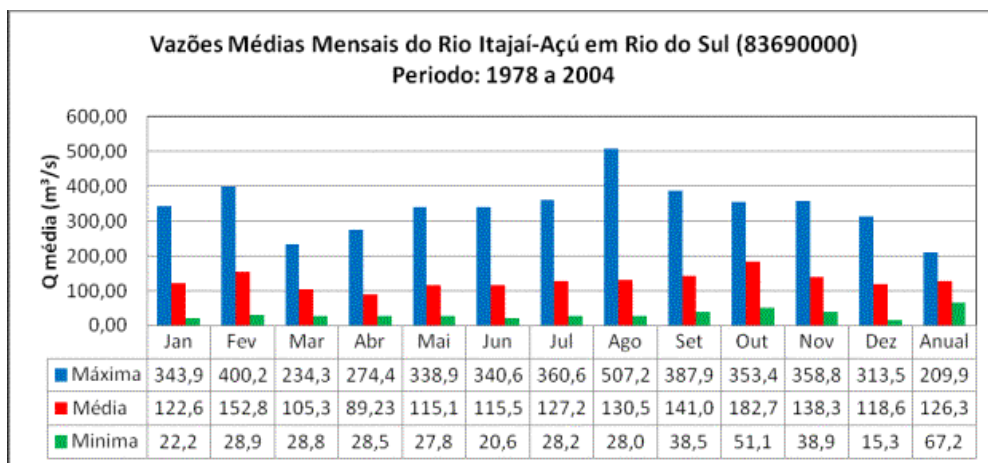
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.1.2 – Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí do Oeste em Taió (83050000)



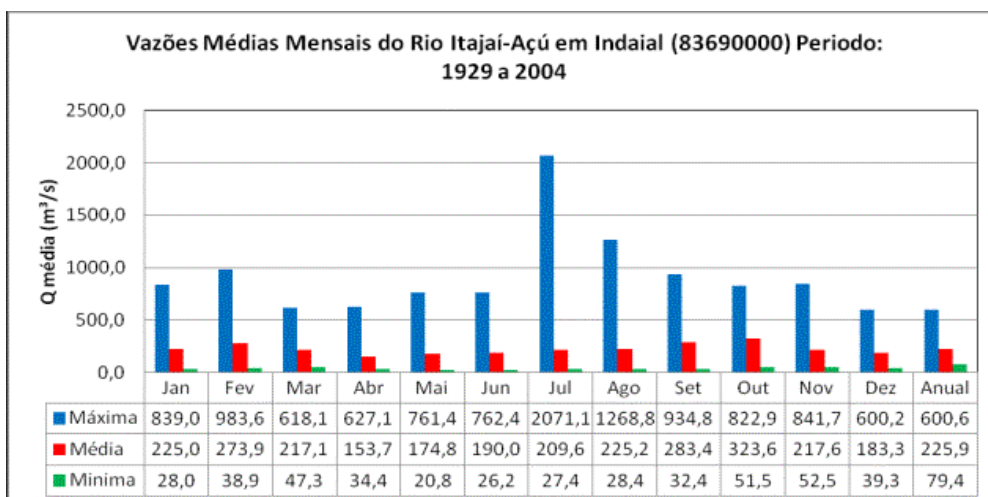
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.1.3 – Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí do Norte em Ibirama (83440000)



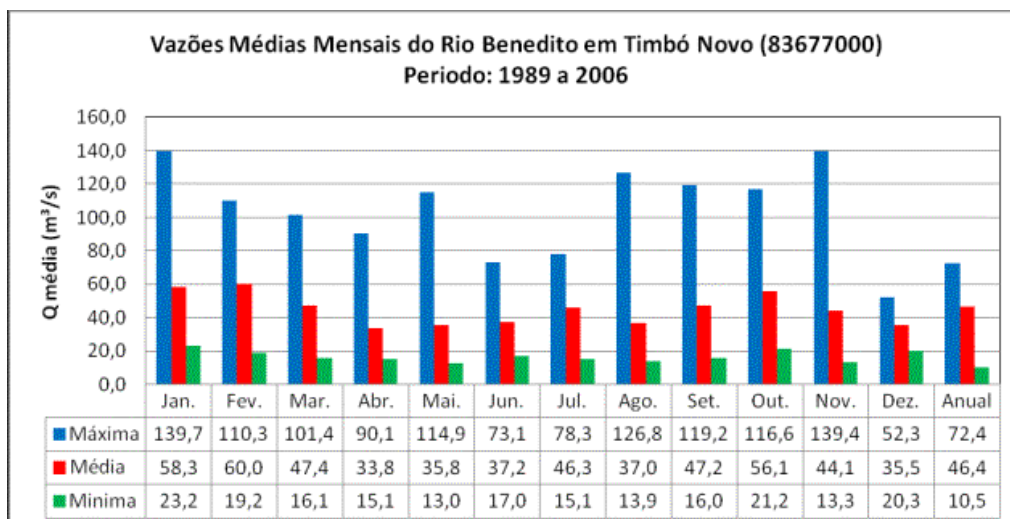
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.1.4 – Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí-Açú em Rio do Sul (83690000)



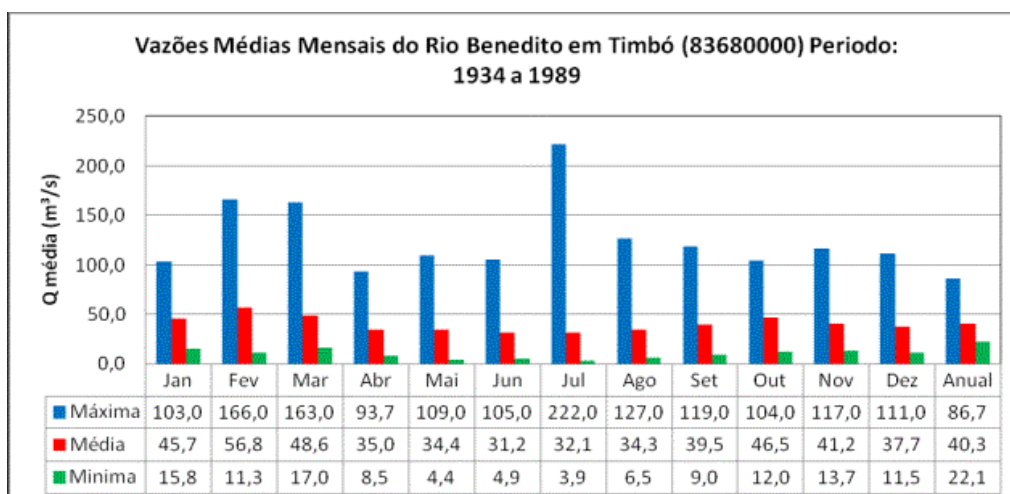
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.1.5 – Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí-Açú em Indaial (83690000)



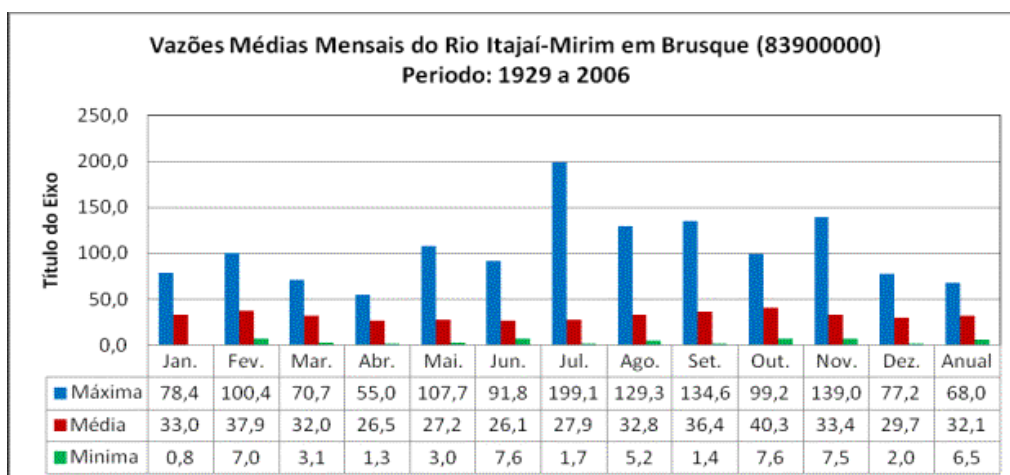
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.1.6 – Vazões Médias Mensais do Rio Benedito em Timbó Novo (83677000)



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.1.7 – Vazões Médias Mensais do Rio Benedito em Timbó (83680000)



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.1.8 – Vazões Médias Mensais do Rio Itajaí-Mirim em Brusque (83900000)

4.2 Sedimentos

Na bacia do rio Itajaí somente existem medições de concentração de sedimento em suspensão, não há medições de sedimentos do leito. As medições da concentração de sedimentos são efetuadas nos principais rios da bacia. Essas medições foram efetuadas pela Agência Nacional de Águas-ANA e estão publicadas na sua página na INTERNET (HidroWeb).

A partir das concentrações (mg/l ou ppm), determinadas em laboratório, calculou-se as descargas sólidas de sedimentos em suspensão através da seguinte expressão:

$$QSS = 0,0864 \times QL \times C$$

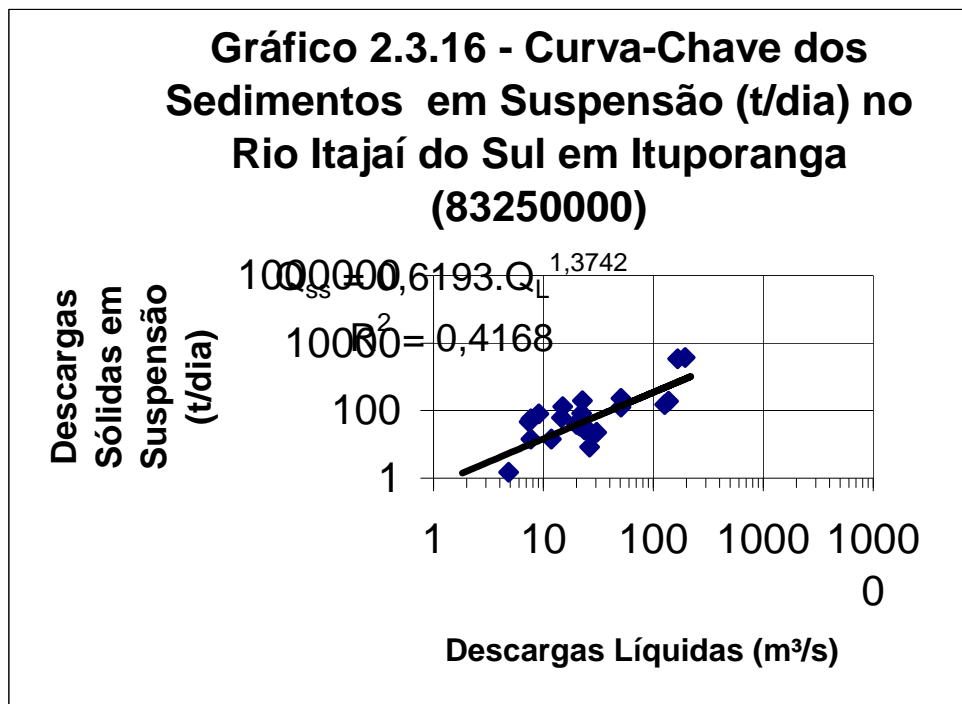
onde:

C = concentração de sedimentos em suspensão em mg/l ou ppm

QL = descarga líquida (m³/s)

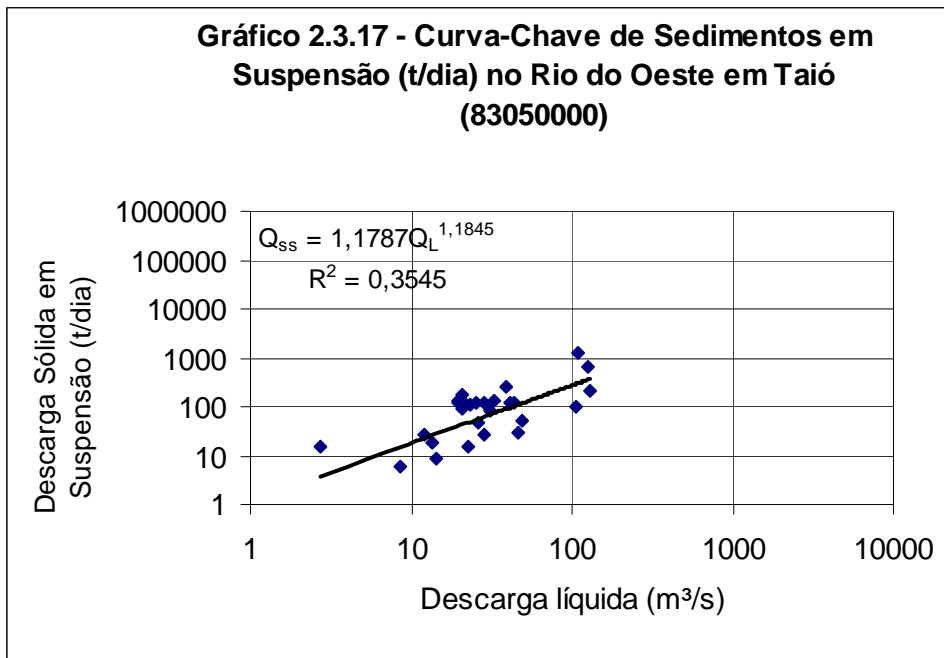
QSS = descarga sólida em suspensão (ton/dia)

Obtidas as descargas sólidas em suspensão em cada uma das estações consideradas determinou-se, para cada uma delas, a curva-chave de sedimentos, a qual relaciona as descargas sólidas em suspensão com as descargas líquidas medidas em campo por ocasião da coleta dos sedimentos em suspensão. Nas Figuras 4.2.1 a 4.2.7 apresenta-se essas curvas:



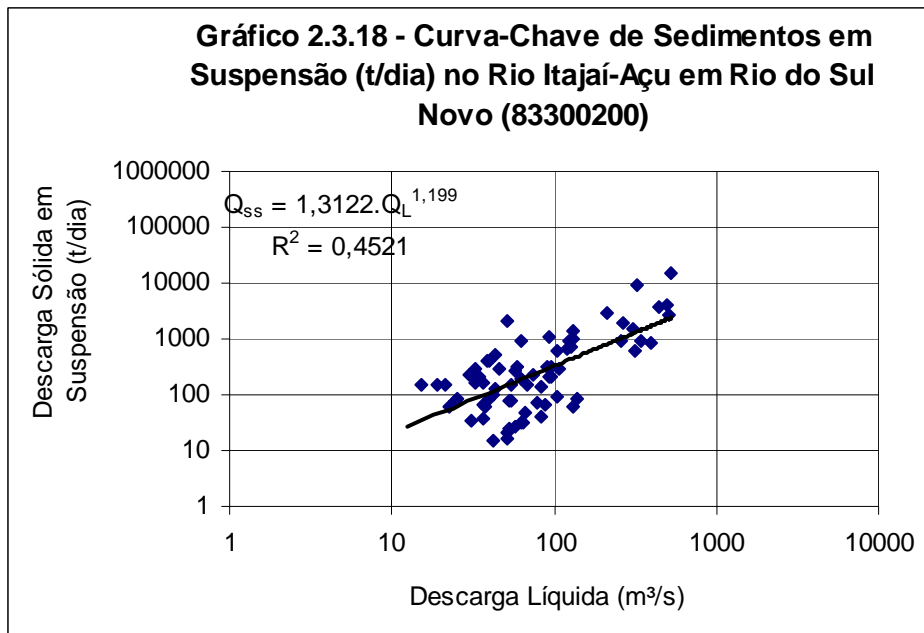
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.2.1 – Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Itajaí do Sul em Ituporanga (83250000)



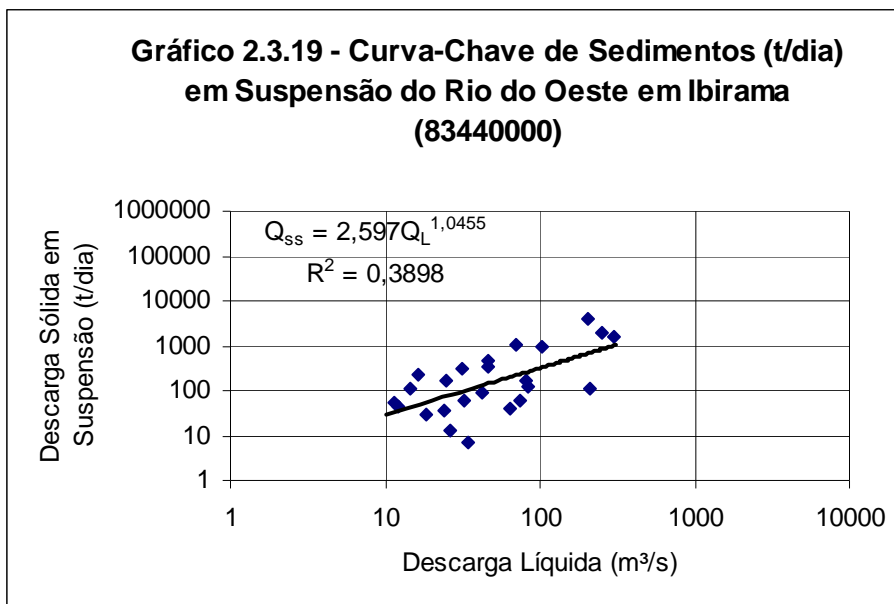
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.2.2 - Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio do Oeste em Taió (83050000)



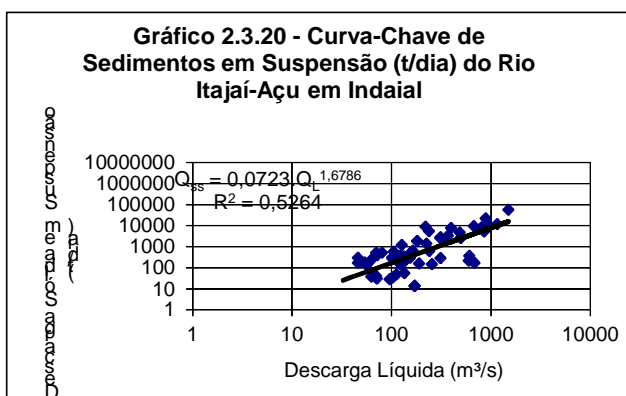
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.2.3 - Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Itajaí-Açu em Rio do Sul (83300200)



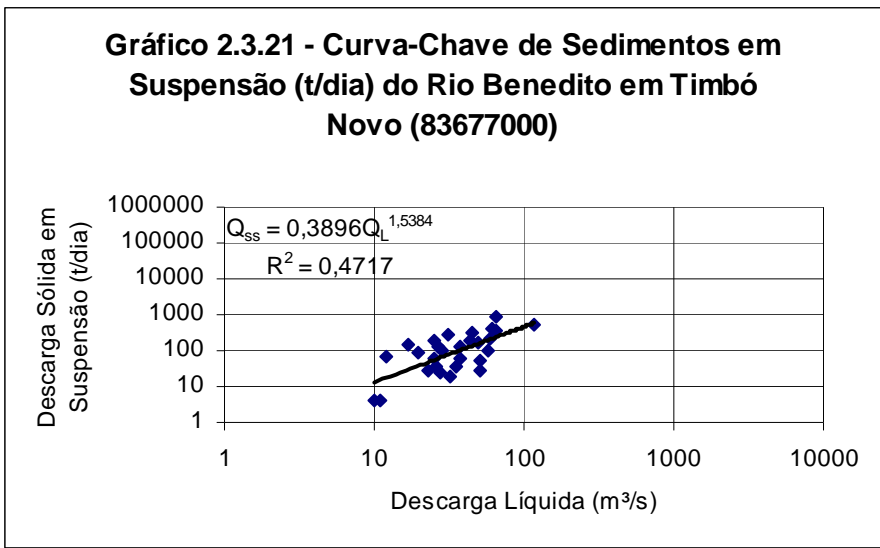
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.2.4 - Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio do Oeste em Ibirama (83440000)



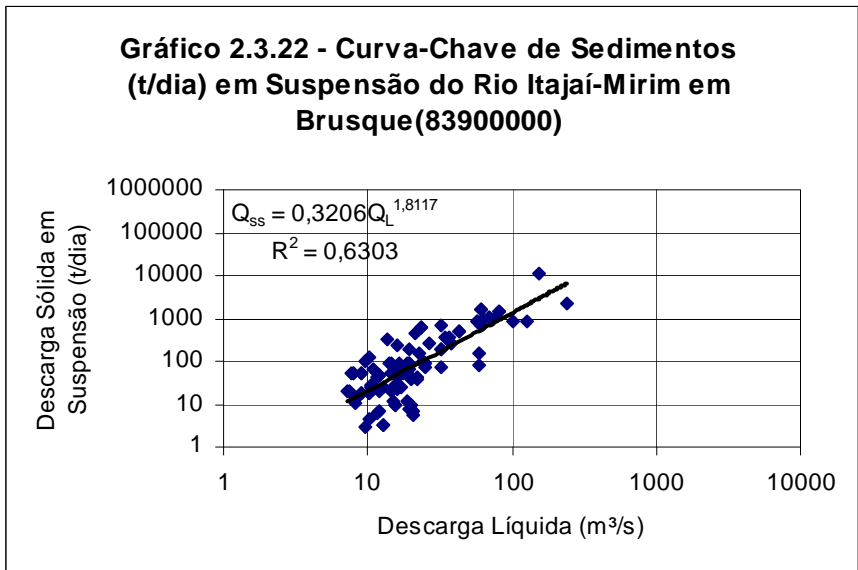
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.2.5 - Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Itajaí-Açu em Indaial (83690000)



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.2.6 - Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Benedito em Timbó (83677000)



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.2.7 - Curva-Chave de Sedimentos em Suspensão (t/dia) no Rio Itajaí-Mirim em Brusque (83900000)

Na Tabela 4.2.1 abaixo apresenta-se em cada estação o resumo das descargas sólidas em suspensão, obtidas a partir das curvas-chave de sedimentos em suspensão, mostradas acima, e das descargas médias mensais observadas. Em vista de não haver medições da descarga sólida do leito, esta parcela foi estimada como 20% da descarga sólida em suspensão, de modo a se obter a descarga sólida total. Deve-se considerar, nas análises, que as medições das concentrações foram efetuadas em diferentes datas em cada estação. Outrossim o período de observações de vazões também é diferente em cada estação hidrossedimentométrica.

Tabela 4.2.1 – Descargas Sólidas em Suspensão e Totais

Estação	Código	Rio	Área (km ²)	QSS Descarga Sólida em Suspensão Média Anual (t/dia)	Descarga Sólida média Anual do Leito QBL=0,20.QSS (t/dia)	Descar-ga Sólida Total Média Anual (t/dia)	Descarga Sólida Específica (t/dia/km ²)	Descar-ga Sólida Específica Anual (t/ano/km ²)
Ituporanga	83250000	Itajaí do Sul	1.669,49	90,40	18,08	108,48	0,065	23,717
Taió	83050000	Itajaí do Oeste	1.575,00	105,11	21,022	126,132	0,080	29,231
Rio do Sul	83300200	Itajaí -Açú	5.100,00	463,65	92,73	556,38	0,109	39,819
Ibirama	83440000	Itajaí do Norte	3.314,00	183,04	36,608	219,648	0,066	24,192
Indaial	83690000	Itajaí-Açu	11.151,00	1044,17	208,834	1.253,004	0,112	41,014
Timbó Novo	83677000	Benedito	1.342,00	174,62	34,924	209,544	0,156	56,992
Brusque	83900000	Itajaí-Mirim	1.240,00	260,43	52,086	312,516	0,252	91,991

Obs: A descarga do leito foi considerada como sendo 20% da descarga sólida em suspensão

Fonte: Equipe de Estudos JICA

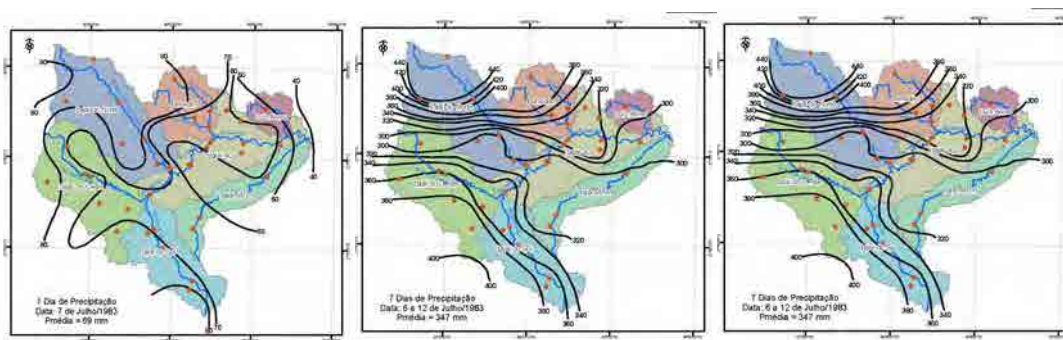
4.3 Precipitações de Enchentes

Após a construção das barragens Sul e Norte, nos rios Itajaí do Sul e do Norte, as maiores enchentes verificadas ocorreram em julho de 1983 e agosto de 1984, com inundações generalizadas em toda a bacia do rio Itajaí.

Em novembro de 2008, após um período antecedente bastante chuvoso, ocorreram precipitações intensas na parte baixa da bacia, cujas cidades, principalmente Itajaí, sofreram inundações severas. Em Blumenau e em outras cidades do médio e alto vale, os níveis da enchente não atingiram os verificados em 1983 e 1984. Entretanto ocorreram vários deslizamentos de terra, sendo o mais grave o do Morro do Baú, em Ilhota, com grandes perdas materiais e de vidas.

Em abril de 2010, logo após o início do presente estudo, ocorreram também chuvas intensas na bacia do rio Itajaí.

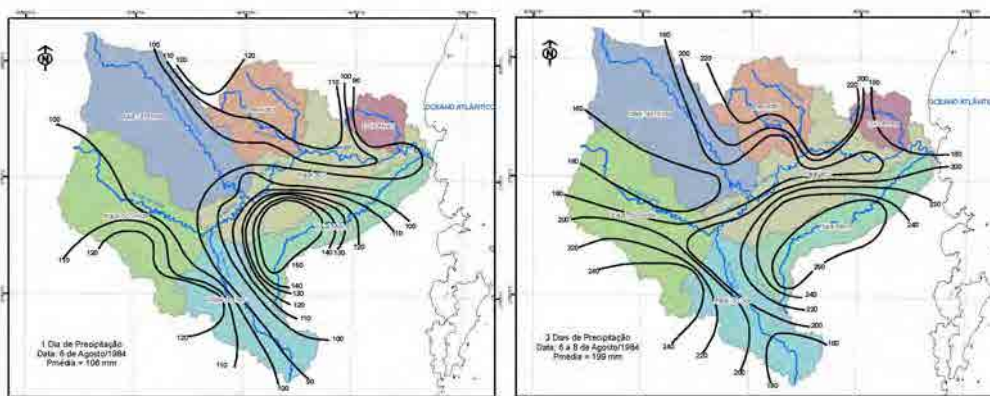
Na Figura 4.3.1 apresenta-se as isoietas das precipitações na bacia do rio Itajaí para um dia, quatro dias e sete dias de duração ocorridas em julho de 1983 e a chuva média na bacia para cada uma dessas durações.



Source: JICA Survey Team (Based on data from EPAGRI, CIRAM)

Figura 4.3.1 Chuva ocorrida em Julho de 1983 para 1, 4 e 7 dias de duração na Bacia do Rio Itajaí

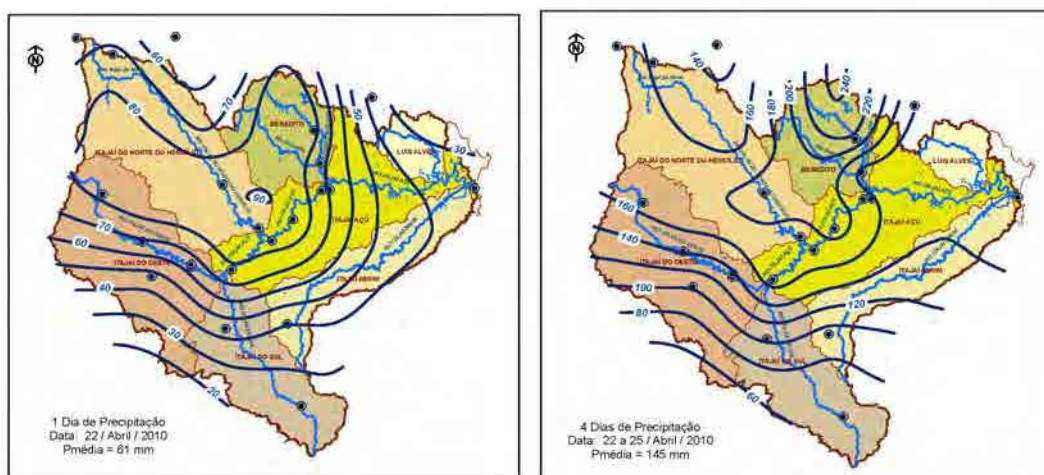
Na Figura 4.3.2 apresenta-se as isoietas das precipitações na bacia do rio Itajaí para um dia e três dias de duração ocorridas em agosto de 1984 e a chuva média na bacia para cada uma dessas durações.



Source: JICA Survey Team (Based on data from EPAGRI, CIRAM)

Figura 4.3.2 Chuva ocorrida em Agosto de 1984 para 1 e 3 dias de duração na Bacia do Rio Itajaí

Na Figura 4.3.3 apresenta-se as isoietas das precipitações na bacia do rio Itajaí para um dia e quatro dias de duração ocorridas em abril de 2010 e a chuva média na bacia para cada uma dessas durações.



Source: JICA Survey Team (Based on data from EPAGRI, CIRAM)

Figura 4.3.3 Chuva ocorrida em Agosto de 1984 para 1 e 3 dias de duração na Bacia do Rio Itajaí

Na Tabela 4.3.1 apresenta-se as precipitações médias na bacia do rio Itajaí ocorridas para vários dias de duração durante as enchentes mencionadas acima.

Tabela 4.3.1 – Precipitações de Enchentes

Duração	Precipitações Médias na Bacia (mm)		
	Julho/1983	Agosto/1984	Abril/2010
1 dia	69	106	61
3 dias	-	199	-
4 dias	228	-	145
7 dias	347	-	-

Fonte: Equipe de Estudos JICA

As isoietas das precipitações que originaram as enchentes de julho de 1983 e agosto de 1984 foram obtidas do relatório da JICA de janeiro de 1988: “Final Report on the Itajaí River Basin Flood Control Project – Part 1 – Master Plan Study – Supporting Report”. Essas isoietas, apresentadas no relatório citado, foram digitalizadas na presente fase dos estudos. Os valores das chuvas máximas na bacia, para as várias durações apresentadas no quadro acima, também foram calculadas na presente fase dos estudos.

As precipitações observadas em intervalos horários, para quatro dias de duração, ocorridas na bacia do rio Itajaí em agosto de 1984 e abril de 2010 foram utilizadas para a calibragem do modelo chuva-vazão HEC-HMS desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (US Army – Corps of Engineers) e disponível gratuitamente na INTERNET para ‘download’.

4.4 Vazões Máximas Anuais

Na Tabela 4.4.1 apresenta-se as vazões médias diárias máximas anuais ocorridas em diversas estações fluviométricas da bacia do rio Itajaí. Essas vazões, por ocasião do desenvolvimento do presente estudo, estavam atualizadas até o ano de 2004 na página da Agência Nacional de Águas –ANA na INTERNET(HidroWeb).

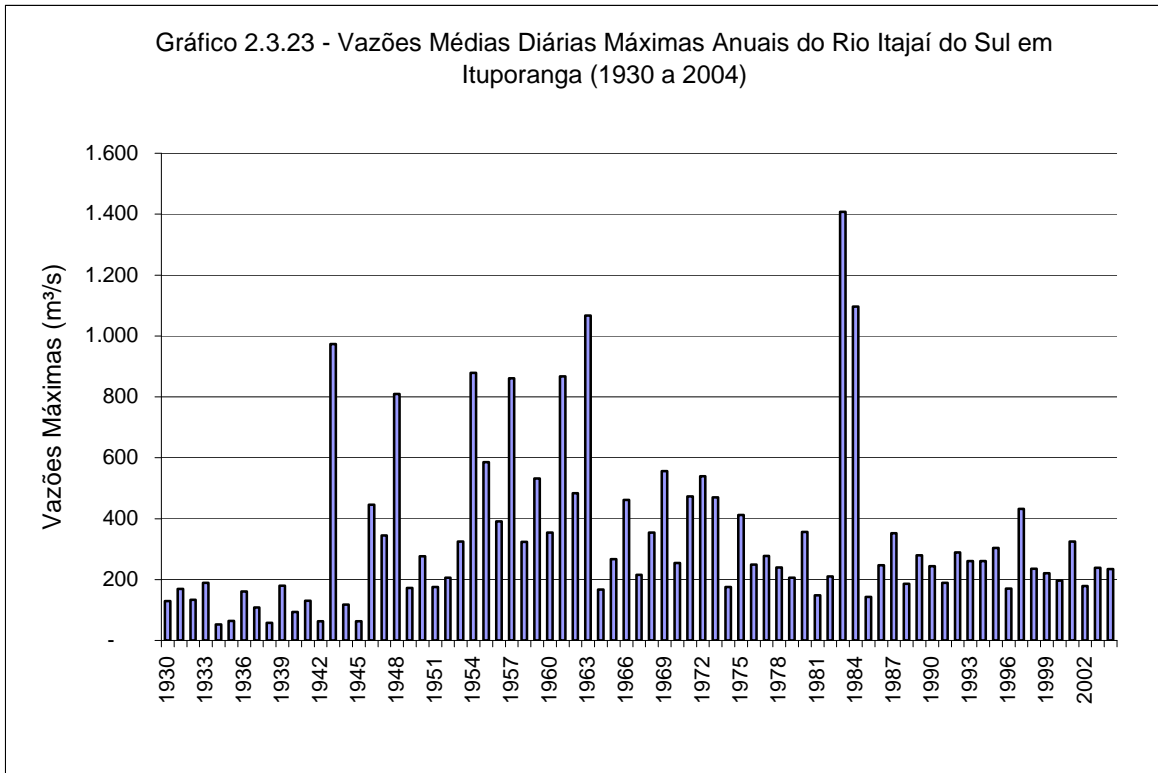
Tabela 4.4.1- Vazões Médias Diárias Máximas Anuais (m³/s)

Rio	Itajaí Sul		Itajaí Oeste		Itajaí Norte		Itajaí-Açu		Itajaí Mirim	
Estação	Ituporanga		Taió		Ibirama		Indaial		Brusque	
Código ANA	83250000		83050000		83440000		83690000		83900000	
ANO	MÊS	Q	MÊS	Q	MÊS	Q	MÊS	Q	MÊS	Q
1929	---	---	out	437	out	426	out	1.736	---	---
1930	fev	129	ago	247	fev	339	ago	1.362	jan	181
1931	set	169	mai	518	mai	800	set	2.636	set	340
1932	mai	133	mai	482	abr	628	mai	1.887	mai	356
1933	out	189	out	725	out	638	out	2.580	out	285
1934	fev	53	fev	388	fev	532	abr	1.439	fev	247
1935	ago	64	set	470	set	1.282	set	2.807	out	260
1936	ago	161	jun	270	ago	528	ago	1.935	ago	352
1937	out	108	nov	277	nov	575	out	1.129	mai	242
1938	fev	58	jun	308	jun	729	jun	1.713	jun	182
1939	nov	180	jun	368	nov	1.156	nov	2.229	nov	420
1940	ago	94	mar	261	ago	240	ago	1.226	out	269
1941	nov	130	mar	314	out	247	nov	893	nov	178
1942	mar	63	fev	201	fev	545	fev	1.376	fev	198
1943	ago	973	ago	427	ago	575	ago	2.273	ago	400
1944	mar	118	mar	280	jan	206	mar	574	jan	168
1945	abr	63	fev	153	jul	255	fev	787	fev	148
1946	ago	446	fev	397	fev	659	fev	1.667	fev	229
1947	out	345	set	249	set	548	set	1.369	out	333
1948	ago	809	mai	501	mai	894	mai	2.673	mai	398
1949	abr	172	jun	187	abr	396	abr	781	mar	206
1950	out	276	out	428	out	551	out	2.282	out	253
1951	out	176	out	391	out	515	out	1.526	nov	182
1952	out	206	set	321	out	354	set	1.206	out	214
1953	out	325	nov	388	out	525	out	2.711	nov	255
1954	out	879	out	592	out	770	out	3.990	out	555
1955	jul	586	mai	356	mai	890	mai	2.654	mai	184
1956	set	391	jan	249	jan	235	set	1.017	set	181
1957	ago	861	ago	564	ago	1.242	ago	5.767	ago	364
1958	nov	324	mar	430	mar	502	mar	1.504	mar	283
1959	abr	532	set	155	set	444	set	1.047	abr	153
1960	ago	354	out	365	nov	444	ago	1.266	fev	321
1961	nov	867	set	463	set	796	nov	2.515	nov	560
1962	mai	484	set	328	set	545	set	1.592	mar	195
1963	set	1.067	fev	634	nov	482	set	1.951	set	275
1964	out	167	mai	189	mai	334	mai	771	out	102
1965	ago	267	ago	297	ago	571	ago	1.984	dez	190
1966	fev	461	fev	480	fev	785	fev	2.204	fev	226
1967	set	215	fev	322	dez	360	fev	1.253	fev	236
1968	dez	354	dez	212	dez	260	set	728	dez	80
1969	abr	556	fev	481	abr	842	abr	2.433	abr	182
1970	out	254	jun	221	jul	408	jul	1.273	jul	127
1971	jul	473	jun	445	jun	774	jun	2.238	abr	143
1972	ago	539	ago	428	ago	927	ago	2.344	ago	420
1973	ago	470	ago	279	jun	1.161	ago	3.062	ago	279
1974	set	176	fev	225	jul	624	mar	1.432	mar	243
1975	set	412	out	375	out	1.186	out	2.533	out	301
1976	jan	249	dez	317	mai	722	mai	1.768	ago	247

Rio	Itajaí Sul		Itajaí Oeste		Itajaí Norte		Itajaí-Açu		Itajaí Mirim	
Estação	Ituporanga		Taió		Ibirama		Indaial		Brusque	
Código ANA	83250000		83050000		83440000		83690000		83900000	
ANO	MÊS	Q	MÊS	Q	MÊS	Q	MÊS	Q	MÊS	Q
1977	nov	278	ago	362	out	712	ago	1.870	ago	416
1978	dez	240	dez	245	dez	975	dez	2.589	dez	430
1979	out	206	jul	257	mai	886	out	2.186	out	215
1980	ago	356	dez	412	dez	2.099	dez	3.380	dez	272
1981	jan	148	jan	217	dez	447	jan	1.341	out	284
1982	nov	210	nov	265	nov	663	nov	1.903	mai	193
1983	jul	1.408	ago	483	jul	2.442	jul	5.078	jul	484
1984	ago	1.096	ago	516	ago	1.533	ago	5.256	ago	542
1985	jul	143	nov	253	abr	280	abr	819	nov	99
1986	nov	247	nov	308	nov	307	out	744	nov	188
1987	mai	352	jan	297	mai	656	mai	1.562	mai	134
1988	set	186	mai	259	mai	638	mai	1.540	set	57
1989	mai	280	set	301	set	785	nov	1.721	jan	145
1990	out	244	jun	434	jul	793	out	2.084	out	149
1991	out	189	dez	257	ago	453	out	1.141	nov	113
1992	jun	289	mai	437	mai	1.614	mai	3.811	---	---
1993	jul	261	set	375	set	548	set	1.807	---	---
1994	abr	261	mai	318	jul	472	mai	1.637	---	---
1995	jan	304	jan	363	jul	375	jan	1.783	---	---
1996	jun	170	fev	368	jul	348	jul	1.116	mar	138
1997	fev	432	nov	382	out	578	fev	2.406	fev	432
1998	abr	235	abr	407	abr	614	abr	2.264	abr	391
1999	out	221	jul	414	jul	565	jul	1.919	out	165
2000	set	197	set	316	dez	444	out	1.390	out	114
2001	out	325	set	498	out	850	out	3.133	out	378
2002	ago	179	out	254	nov	297	dez	1.145	ago	155
2003	dez	239	fev	167	out	204	dez	755	---	---
2004	set	234	set	205	out	528	out	1.683	---	---

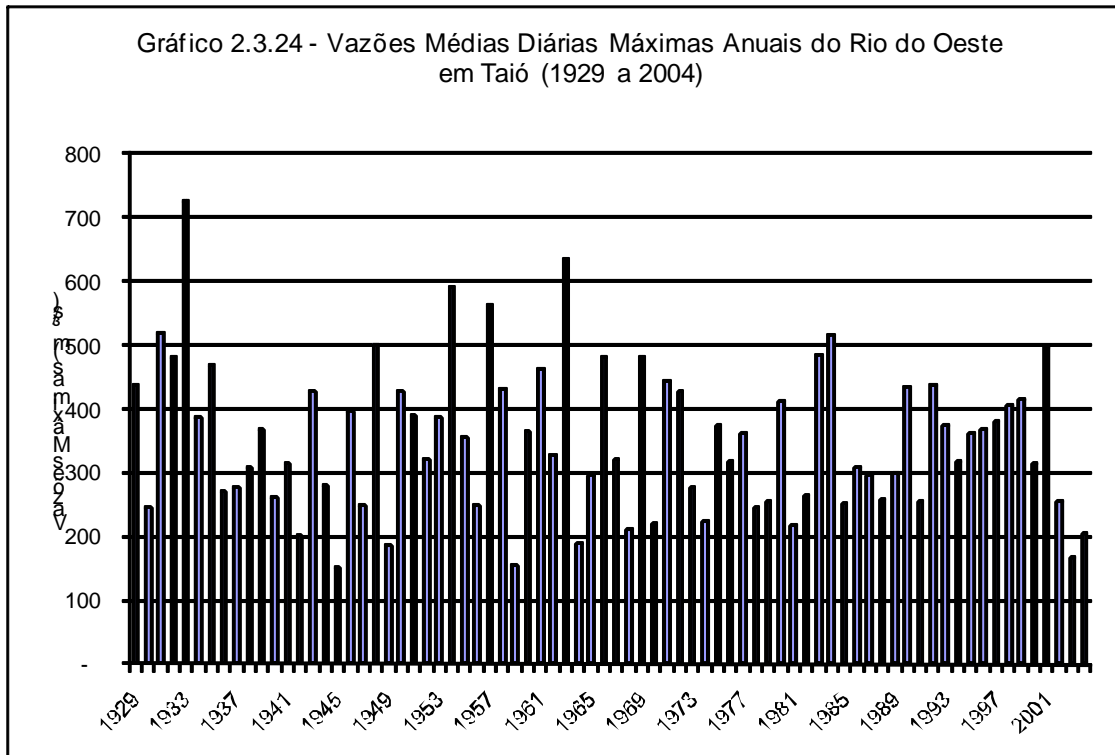
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Nas Figuras 4.4.1 a 4.4.5 apresenta-se a plotagem cronológica das vazões médias diárias máximas anuais nas estações consideradas.



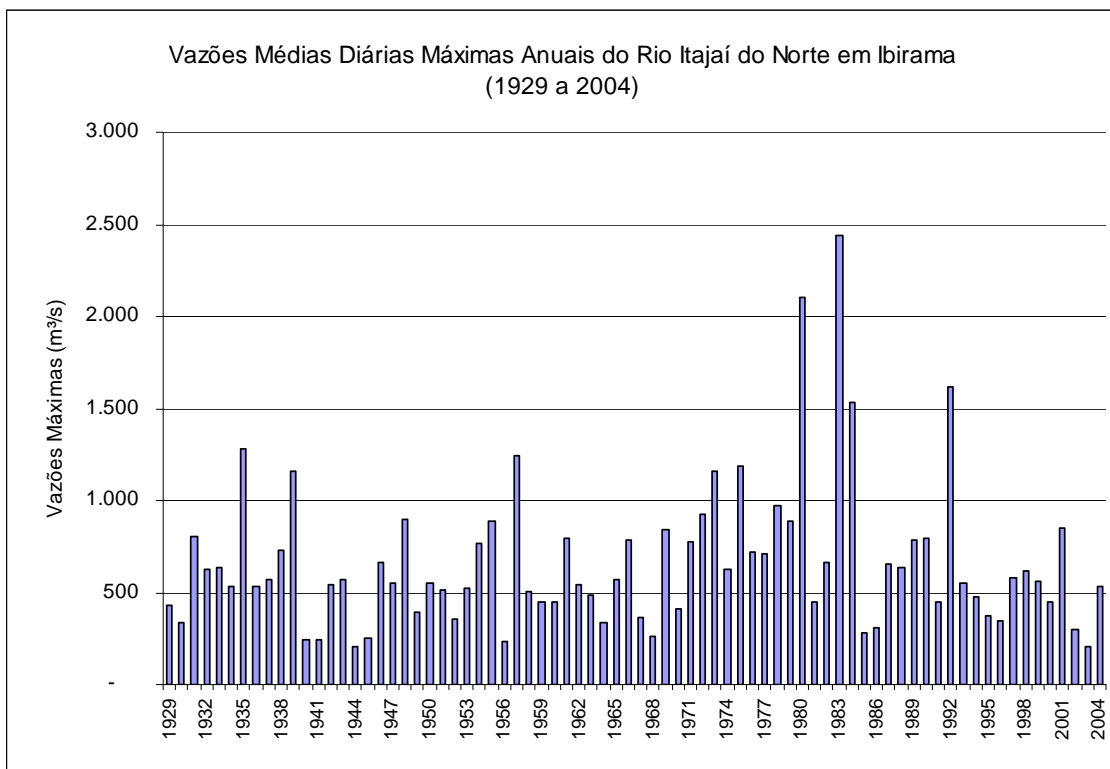
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.4.1 – Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí do Sul em Ituporanga



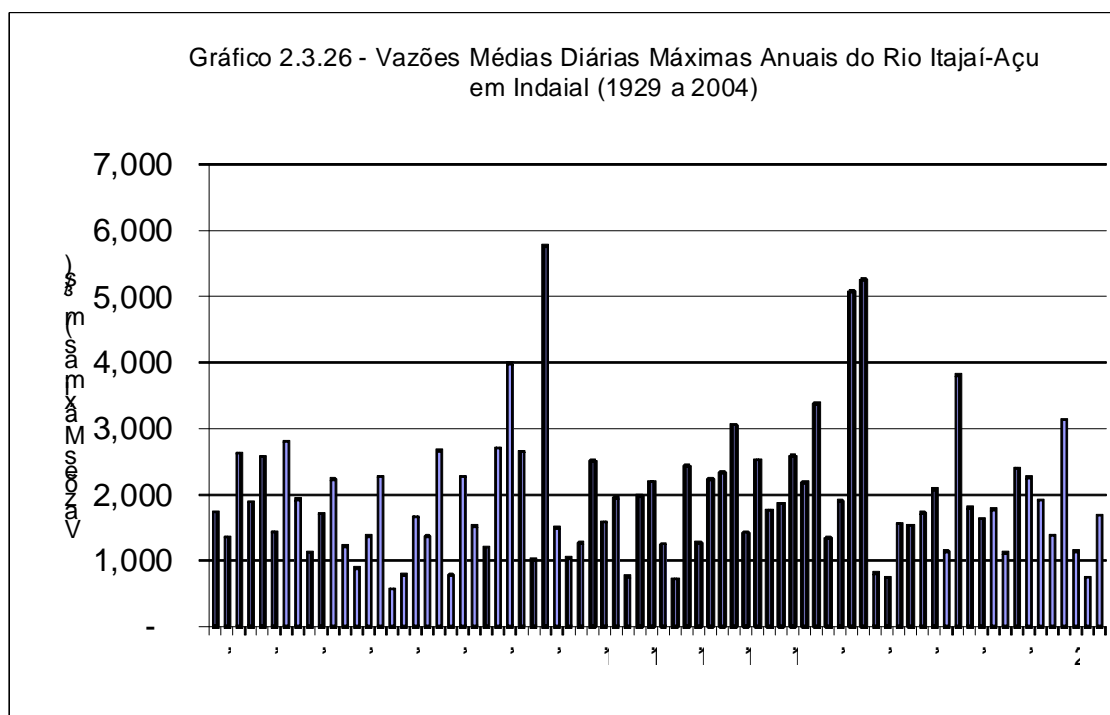
Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.4.2 – Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí do Oeste em Taió



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.4.3 – Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí do Norte em Ibirama



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.4.4 – Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí-Açu em Indaial

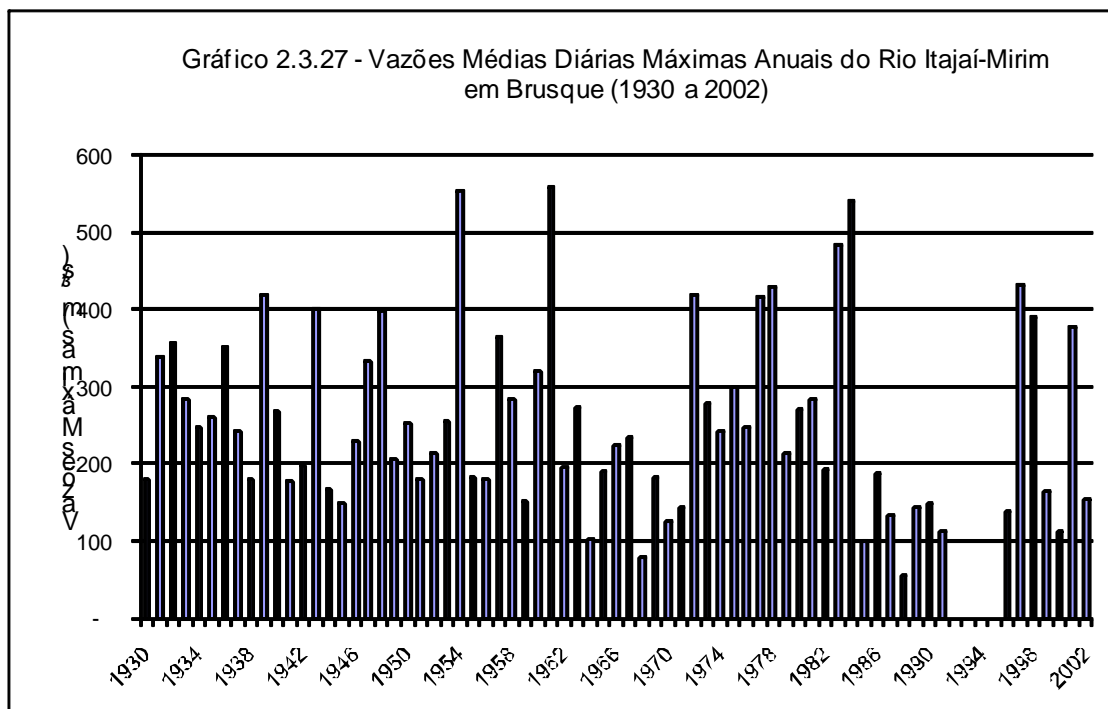


Figura 4.4.5 – Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Rio Itajaí-Mirim em Brusque

Verifica-se que as cheias na bacia em geral ocorrem em qualquer época do ano, entretanto as cheias de maior magnitude ocorreram nos meses de inverno, julho ou agosto.

4.5 Estudos de Cheias para o Redimensionamento Hidráulico da Barragem Sul

O redimensionamento hidráulico da Barragem Sul, no rio Itajaí do Sul, visa aumentar a capacidade do reservatório com o alteamento da crista do vertedouro. Para verificar a nova capacidade do vertedouro foram realizados estudos de frequência de cheias com base nas vazões médias diárias máximas anuais observadas na estação Ituporanga (83250000), situada no Rio Itajaí do Sul com área de drenagem de 1.645,41 km². Até o eixo da Barragem Sul o rio Itajaí do Sul drena uma área de 1.273 km². Tendo em vista a proximidade das áreas e considerando não haver observações fluviométricas no local da barragem, as vazões resultantes do estudo de cheias da estação fluviométrica foram transferidas para o local da barragem por relação de áreas de drenagem.

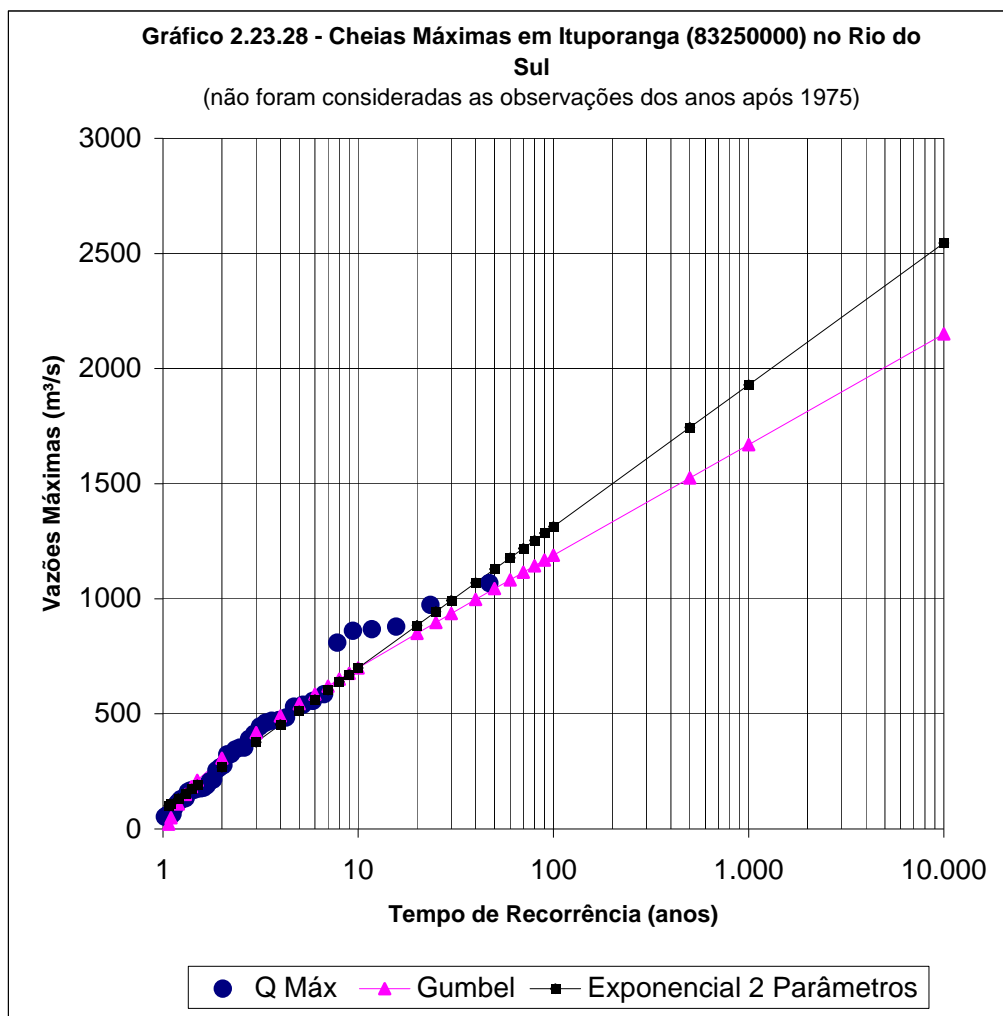
Tendo em vista que a construção da Barragem Sul foi concluída em 1976 foram consideradas duas alternativas para os estudos de cheias máximas:

- os anos da série histórica de vazões máximas após 1975 foram desconsiderados;
- foi considerada toda a série histórica de vazões médias diárias máximas anuais.

Optou-se pela alternativa “a” simplesmente pelo fato da mesma ter conduzido a maiores valores e, portanto, estar a favor da segurança.

Foram ajustadas duas distribuições de probabilidades às vazões médias diárias máximas anuais da estação fluviométrica Ituporanga (83250000): Gumbel e Exponencial 2 Parâmetros, de acordo com a metodologia do “Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores, ELETROBRÁS/CEPEL, Rio de Janeiro, 1987”. O Guia considera a distribuição Exponencial 2 Parâmetros como a mais robusta, mas diz que poderá ser usada a distribuição Gumbel se o coeficiente de assimetria da população for inferior a 1,5. No caso da amostra o coeficiente de assimetria é 1,114. Mesmo assim recomenda-se a distribuição Exponencial 2 Parâmetros, pois a mesma valoriza mais que a Gumbel as maiores cheias

registradas, conforme se pode ver na Figura 4.5.1. Além disso a exponencial conduz a maiores valores, portanto a favor da segurança, tendo em vista o pequeno tamanho da amostra.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.5.1 – Cheia Máximas em Ituporanga (83250000) no Rio do Sul

Na Tabela 4.5.1 abaixo apresenta-se as vazões máximas em Ituporanga (83250000) e no local da Barragem Sul para 1.000 e 10.000 anos de tempo de recorrência, os quais são usualmente utilizados no Brasil para dimensionamento da capacidade hidráulica dos vertedores. No caso da Barragem Sul, devido à altura da barragem e ao porte do reservatório, é recomendável utilizar o tempo de recorrência de 10.000 anos.

Como se trabalhou com vazões máximas anuais médias diárias da estação fluviométrica, calculou-se no local da Barragem Sul o pico instantâneo pela método de Fuller:

$$Q_i = Q \cdot (1 + 2,66 \cdot A^{-0,3})$$

onde:

Q_i = vazão instantânea (m³/s)

Q = vazão média diária (m³/s)

A = área de drenagem (km²)

Tabela 4.5.1 – Vazões Máximas na Barragem Sul – Rio Itajaí do Sul

T(anos)	Vazões Máximas (m ³ /s)		Exponencial 2 Parâmetros
	Ituporanga	Barragem Sul	
	Média diária	Média diária	Pico instantâneo (Füller)
1.000	1.929	1.493	1.958
10.000	2.545	1.969	2.582

Observação 1: A Barragem Sul foi construída em 1976

Observação 2: Os dados após 1975 não foram considerados

Fonte: Equipe de Estudos JICA

4.6 Estudos de Cheias para o Redimensionamento Hidráulico da Barragem Oeste

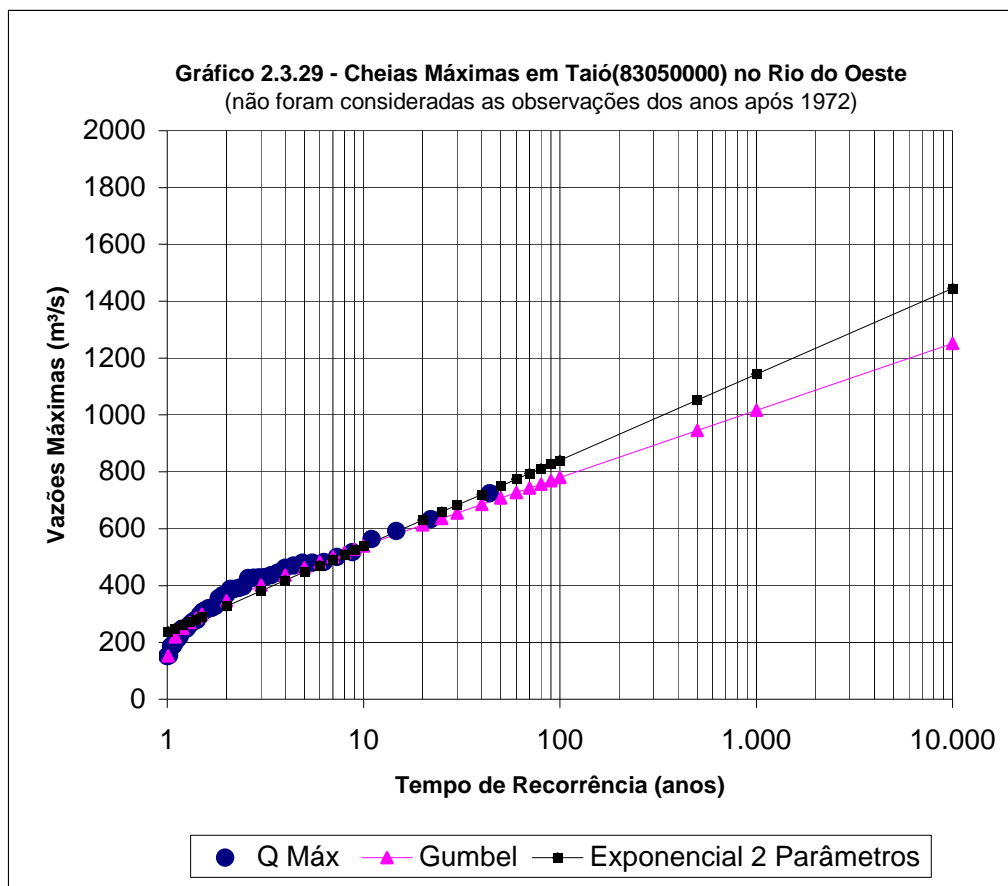
O redimensionamento hidráulico da Barragem Oeste, no rio Itajaí do Oeste, visa aumentar a capacidade do reservatório com o alteamento da barragem e da crista do vertedouro e também o aumento da capacidade dos descarregadores de fundo. Para verificar a nova capacidade do vertedouro foram realizados estudos de frequência de cheias com base nas vazões médias diárias máximas anuais observadas na estação Taió (83050000), situada no Rio Itajaí do Oeste com área de drenagem de 1.570,13 km². Até o eixo da Barragem Oeste o rio Itajaí do Oeste drena uma área de 1.042 km². Tendo em vista a proximidade das áreas e considerando não haver observações fluviométricas no local da barragem, as vazões resultantes do estudo de cheias da estação fluviométrica foram transferidas para o local da barragem por relação de áreas de drenagem.

Tendo em vista que a construção da Barragem Oeste foi concluída em 1973 foram consideradas duas alternativas para os estudos de cheias máximas:

- os anos da série histórica de vazões máximas após 1972 foram desconsiderados;
- foi considerada toda a série histórica de vazões médias diárias máximas anuais.

Optou-se pela alternativa “a” simplesmente pelo fato da mesma ter conduzido a maiores valores e, portanto, estar a favor da segurança.

Foram ajustadas duas distribuições de probabilidades às vazões médias diárias máximas anuais da estação fluviométrica Taió (83050000): Gumbel e Exponencial 2 Parâmetros, de acordo com a metodologia do “Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores, ELETROBRÁS/CEPEL, Rio de Janeiro, 1987”. O Guia considera a distribuição Exponencial 2 Parâmetros como a mais robusta, mas diz que poderá ser usada a distribuição Gumbel se o coeficiente de assimetria da população for inferior a 1,5. No caso da amostra o coeficiente de assimetria é 0,469. Mesmo assim recomenda-se a distribuição Exponencial 2 Parâmetros, pois a mesma valoriza mais que a Gumbel as maiores cheias registradas, conforme se pode ver na Figura 4.6.1. Além disso a exponencial conduz a maiores valores, portanto a favor da segurança, tendo em vista o pequeno tamanho da amostra.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.6.1 – Cheia Máximas em Taió (83050000) no Rio do Oeste

Na Tabela 4.6.1 abaixo se apresenta as vazões máximas em Taió (83050000) e no local da Barragem Oeste para 1.000 e 10.000 anos de tempo de recorrência, os quais são usualmente utilizados no Brasil para dimensionamento da capacidade hidráulica dos vertedores. No caso da Barragem Oeste, devido à altura da barragem e ao porte do reservatório, pode ser utilizado o tempo de recorrência de 1.000 anos.

Como se trabalhou com as vazões máximas anuais médias diárias da estação fluviométrica, calculou-se no local da Barragem Oeste o pico instantâneo pela método de Füller:

$$Q_i = Q \times (1 + 2,66 \times A^{-0,3})$$

onde:

Q_i = vazão instantânea (m³/s)

Q = vazão média diária (m³/s)

A = área de drenagem (km²)

Tabela 4.6.1 – Vazões Máximas na Barragem Oeste – Rio Itajaí do Oeste

T(anos)	Vazões Máximas (m³/s)		Exponencial 2 Parâmetros
	Taió	Barragem Oeste	
	Média diária	Média diária	Pico instantâneo (Füller)
1.000	1.143	759	1.010
10.000	1.445	959	1.276

Observação 1: A Barragem Oeste foi construída em 1973

Observação 2: Os dados após 1972 não foram considerados

Fonte: Equipe de Estudos JICA

4.7 Tempo de Recorrência das Cheias de Julho/1983 e Agosto/1984 em Blumenau

Os planos de contenção de enchentes no vale do rio Itajaí-Açu serão formulados para enchentes de 5, 10, 25 e 50 anos de tempo de recorrência. O cálculo dessas enchentes foi efetuado através da transformação em vazão das chuvas intensas na bacia avaliadas para esses tempos de recorrência, admitindo-se que os picos das vazões tenham a mesma recorrência das chuvas. As transformações chuvas-vazões foram efetuados através do modelo HEC-HMS (US Army – Corps of Engineers) disponível gratuitamente na INTERNET.

A avaliação das vazões máximas para diversos tempos de recorrência efetuadas com as próprias vazões observadas, além de ser um referencial, tem o objetivo de verificar a probabilidade das cheias de julho de 1983 e agosto de 1984.

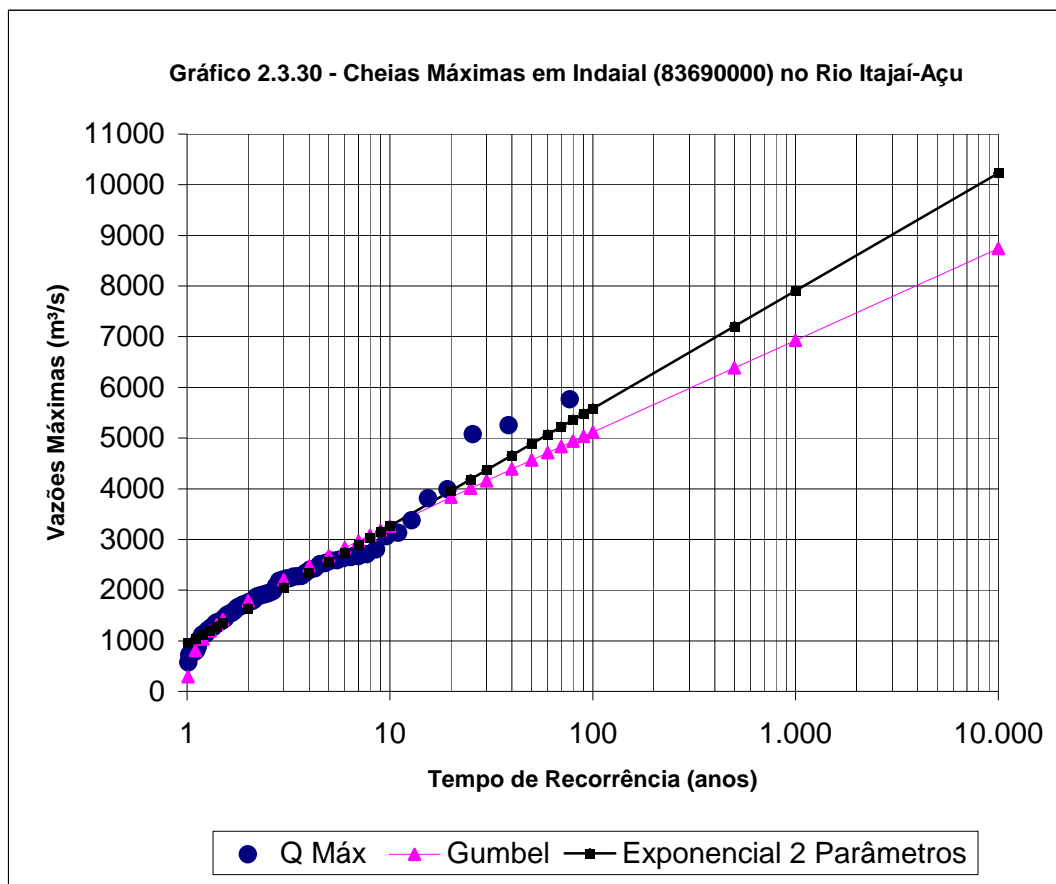
Para avaliar o tempo de recorrência das cheias máximas em Blumenau utilizou-se a série de vazões médias diárias máximas anuais observadas na estação fluviométrica Indaial (83690000) no rio Itajaí-Açu. Nesta seção o rio Itajaí-Açu drena uma área aproximada de 11.276 km².

Existe uma estação fluviométrica em Blumenau, entretanto os dados desta estação, além de terem um menor período de observações, não têm a mesma confiabilidade dos dados fluviométricos de Indaial (83690000).

Em Blumenau a área de drenagem do rio Itajaí-Açu é de aproximadamente 11.923 km². Portanto, tendo em vista a pequena diferença das áreas de drenagem, é razoável supor que as cheias de julho de 1983 e agosto de 1984 têm o mesmo tempo de recorrência em Indaial (83690000) e Blumenau.

Foi seguida a metodologia descrita no “Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores, ELETROBRÁS/CEPEL, Rio de Janeiro, 1987”. Foram ajustadas à série de vazões máximas de Indaial as distribuições de probabilidades Gumbel e Exponencial 2 Parâmetros. O Guia considera a distribuição Exponencial 2 Parâmetros como a mais robusta, mas diz que poderá ser usada a distribuição Gumbel se o coeficiente de assimetria da população for inferior a 1,5. No caso da amostra obtida em Indaial (83690000) o coeficiente de assimetria é da ordem de 1,659 e, pela recomendações do Guia, a distribuição que deve ser utilizada é a Exponencial 2 Parâmetros.

Na Figura 4.7.1 apresenta-se a plotagem das vazões amostrais e o ajuste das distribuições Gumbel e Exponencial 2 Parâmetros.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 4.7.1 – Cheias Máximas em Indaial (83690000) no Rio Itajaí

Na Tabela 4.7.1 apresenta-se, para alguns tempos de recorrência, as vazões máximas em Indaial (83690000). Chama-se a atenção que são vazões máximas médias diárias e não vazões instantâneas, portanto, os picos instantâneos são superiores aos valores apresentados.

Tabela 4.7.1- Vazões Máximas (m³/s) do Rio Itajaí-Açu em Indaial (83690000)

Vazões Máximas (m³/s) do Rio Itajaí-Açu em Indaial (83690000)		
T(anos)	Gumbel	Exponencial 2 Parâmetros
2	1.784	1.640
5	2.676	2.564
10	3.266	3.263
20	3.832	3.962
25	4.012	4.187
50	4.565	4.886
100	5.114	5.585
500	6.383	7.208
1.000	6.928	7.906
10.000	8.739	10.228

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Em julho de 1983 e agosto de 1984 as cheias máximas médias diárias em Indaial (83690000) foram da ordem de 5.078 m³/s e 5.256 m³/s. Considerando a distribuição Exponencial 2 Parâmetros essas cheias são da ordem de 100 anos de tempo de recorrência. Portanto, em Blumenau, pode-se inferir que essas cheias também têm 100 anos de recorrência. Na Tabela 4.7.2 apresenta-se as vazões máximas em Blumenau para diversas recorrências, sendo estas transferidas de Indaial (83690000) por relação de áreas de drenagem:

$$Q(\text{Blumenau}) = [A(\text{Blumenau})/A(\text{Indaial})] * Q(\text{Indaial})$$

$$Q(\text{Blumenau}) = (11.923/11.276) * Q(\text{Indaial})$$

Tabela 4.7.2- Vazões Máximas (m³/s) do Rio Itajaí-Açu em Blumenau

Vazões Máximas (m³/s) do Rio Itajaí-Açu em Indaial (83690000)		
T(anos)	Gumbel	Exponencial 2 Parâmetros
2	1.886	1.734
5	2.830	2.711
10	3.453	3.450
20	4.052	4.189
25	4.242	4.427
50	4.827	5.166
100	5.407	5.905
500	6.749	7.622
1.000	7.326	8.360
10.000	9.240	10.815

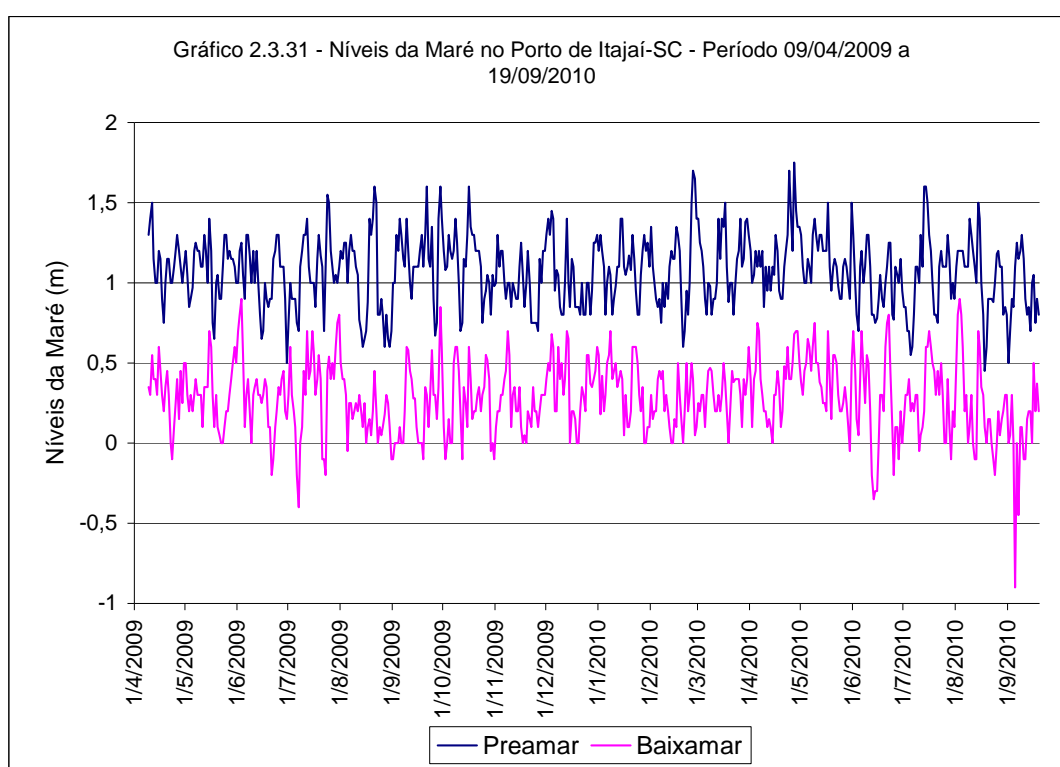
Fonte: Equipe de Estudos JICA

CAPÍTULO 5 NÍVEIS DE MARÉ

Foram obtidos junto à Associação dos Práticos do Porto de Itajaí os níveis da maré no período 09/04/2009 a 19/09/2010 no Porto de Itajaí. A maior preamar observada neste período foi 1,75 metros em 27/04/2010 e este valor, por ser o mais crítico, será utilizado no cálculo dos perfis de níveis d'água para várias situações de enchente, de modo a definir a planície de inundação.

Salienta-se que os valores não são lidos em horários padronizados, variando o número de leituras do nível da maré em cada dia. É possível, portanto, que, em muitos dias, não se tenha lido os valores máximos e mínimos absolutos, embora muitas leituras diárias sejam feitas, geralmente acima de 30 leituras diárias.

Na Figura 5.1 apresenta-se os níveis diários da preamar e baixamar no período mencionado.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 5.1.1– Níveis da Maré no Porto de Itajaí / SC

CAPÍTULO 6 CARACTERÍSTICAS DA INUNDAÇÃO E TRANSBORDAMENTO DO RIO ITAJAÍ

6.1 Registros das principais enchentes

A Tabela 6.1.1 indica as enchentes ocorridas nos últimos anos na bacia do Rio Itajaí e os danos causados em cada município. A Tabela 6.1.2 indica o número de vítimas e os prejuízos em cada inundação. A seguir resume-se, por região, as medidas necessárias a realizar para a proteção contra inundações, levando-se em conta as frequências e as escalas dos danos.

- Nos últimos anos foram registradas cinco enchentes causadoras de danos relativamente significativos: julho de 1983, agosto de 1984, maio de 1992, outubro de 2001 e novembro de 2008.
- Os danos mais significativos causados pelas inundações aconteceram no município de Blumenau, e também foram relativamente grandes nos municípios de Itajaí, Gaspar e Rio do Sul. Estes quatro municípios possuem grande número de habitantes e indústrias, e podem ser considerados como cidades prioritárias para a implantação das medidas contra as enchentes.
- Em relação aos demais municípios, são maiores as queixas sobre danos causados por enchentes em Timbó e Taió, levando a crer que sejam também municípios que requerem medidas juntamente com os quatro municípios citados acima. No município de Timbó é preciso averiguar as interferências causadas pelas barragens das usinas hidroelétricas (barragens Rio Bonito e Pinhal), existentes a montante do rio dos Cedros. No município de Taió os prejuízos são causados pelo transbordamento da Barragem Oeste.
- Os municípios de Navegantes e Ilhota também sofrem danos razoáveis, mas o grau de segurança nestas cidades aumentará automaticamente com as medidas a serem adotadas nas principais cidades, como Itajaí, Blumenau e Gaspar.
- Por outro lado, os municípios de Brusque e Ituporanga sofrem danos nas grandes enchentes com tempos de retorno iguais ou superiores a 50 anos, como as de 1983, 1984 e 2008 (vide Tabela 6.2.1), mas em relação aos demais municípios, o leito atual do rio apresenta alta taxa de segurança, diminuindo a ordem de prioridade de medidas.
- A região a montante do município de Blumenau até junção com o Rio Itajaí do Norte apresenta elevada capacidade de vazão. As cidades situadas nesta região, como Indaial e outras, apresentam baixa prioridade de medidas por serem menores os danos causados pelas inundações.

Tabela – 6.1.1 - Lista de principais enchentes nos últimos anos

Year	Month	Itajaí Acu								Itajaí Mirim		L.A.	Benedito			Itajaí Do Norte				Itajaí Do Oeste			Trombudo			Itajaí Do Sul		
		Itajaí	Navegantes	Ilhota	Gaspar	Blumenau	Pomerode	Indaial	Rodeio	Lontras	Rio Do Sul	Brusque	Guabiruma	Luiz Alves	Timbo	Benedito Novo	Rio Dos Cedros	Ibirama	Presidente Getulio	Taio	Lauren-tino	Rio Do Oeste	Rio Do Campo	Trombudo Central	Braco do Trombudo	Pouso Redondo	Itupoa-ranga	Alfredo Wagner
1980	10					□																						
1981	10											□																
1983	5					●																						
	7	●	○		○	●			○	●			○						⊙		○		○			○		
	12					⊙																						
1984	8	○			●	●					●									○			○			○		
1989	1				○																							
1990	1					△																						
	10					○																						
1991	11					⊙						○																
1992	1					△																						
	5	●	○	⊙	○	●				△				○														
1993	2	△																										○
1995	1					△						△																
1996	2																					△						
1997	1				⊙	△																						
	2																											
	10																											
1999	7																											
2000	2													△														
2001	10	△				△	△	△	△	○				△				○		△			△			△		
2002	11																											
2005	9																											
2008	11	○	□	○	○	⊙	△	□	△		○	△	△	△	△	△												
2009	10																											
2010	4	□												□														

Fonte: 1980 a 2004 ATLAS DE DESASTRES NATURAIS DO ESTADO DE SANTA CATARINA
 2005 a 2009 Dados fornecidos pelo GTC (Relatório 1 do Plano de Prevenção de Desastres Naturais para a Bacia do Rio Itajaí)
 2008 AVADANs enviados pelos municípios à Defesa Civil de Santa Catarina, nos dias 24 e 25 de novembro de 2008 (Relatório 1 do Plano de Prevenção de Desastres Naturais para a Bacia do Rio Itajaí)
 MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES – NOVENBRO 2008
 DESASTRE DE 2008 NO VALE DO ITAJAÍ
 2010 Audiência pública (Municípios, cidades e vilas locais e suas populações)

Legendas

- Mais de 10.000 pessoas perderam suas casas
- ⊙ 5.000 a 10.000 pessoas perderam suas casas
- 1.000 a 5.000 pessoas perderam suas casas
- △ Menos de 1.000 pessoas perderam suas casas
- Sem dados
- Cidade com alta prioridade da medida
- Cidade que necessita de medida
- Cidade com baixa necessidade da medida

Tabela – 6.1.2 - Principais ocorrências de danos causadas pelas enchentes

Ano	Mês	N. de água	Município	Vítimas	Morto	Pop	(%) de Vítimas	Danos (R\$)
1980	10		Blumenau	S/R	1	157.258	-	
1981	10		Guabiruba		2	7.362		
1983	5	12.46	Blumenau	10.000	2	170.491	5,86	
	7	15.34	Blumenau	50.000	8		29,3	
	12		Blumenau	5.000	1		2,93	
	7		Gaspar	3.981	2	28.012	14,2	
	7		Itajaí	40.000	5	94.449	42,3	
	7		Ituporanga	1.820		18.149	10	
	7		Lontra	4.000		7.390	54,1	
	7		Navegantes	3.070		15.747	19,49	
	7		Rio do Oeste	2.820		7.280	38,7	
	7		Rio do Sul	25.000	5	38.616	64,74	
	7		Taio	5.079	1	18.809	27	
	7		Timbo	1.610		19.368	8,31	
	7		Trombudo Central	2.980		7.404		
1984	8	15.46	Blumenau	70.000		175.145	39,96	
	8		Brusque	20.000		46.558	42,95	
	8		Gaspar	10.000		28.863	34,64	
	8		Itajaí	1.000	2	97.273	1,02	
	8		Ituporanga	1.000		18.499	5,4	
	8		Taio	1.500		18.878	7,94	
			Trombudo Central	1.000		7.511		
1989	1		Gaspar	167		33.523	0,49	
1990	1		Blumenau	594			0,26	
	10		Blumenau	1.310	20	220.741	0,59	
1991	11	12.8	Blumenau	8.528	10	212.025	4,02	
	11		Guabiruba	1.038		9.905	10,47	
1992	1	10.62	Blumenau	21			0,01	
	5		Blumenau	35.000	2	216.422	16,17	
	5		Rio do Sul	800		46.827	1,7	
	5		Gaspar	2.830		36.516	7,75	
	5		Ilhota	5.580		9.548	58,44	
	5		Indaial	817		30.853	2,64	
	5		Itajaí	11.938		122.401	9,75	
	5		Navegante	4.780		24.204	19,74	
	5		Timbo	1.544		24.434	6,31	
1993	2		Itajaí	750		125.266	0,59	
	7		Alfredo Wagner	3.244		9.856		
1995	1		Blumenau	600		225.556	0,26	
	1		Brusque	520		62.328	0,83	
1996	2		Rio do Campo	196		6.576		
1997	1	9.44	Blumenau	353		231.401	0,15	
	2		Lontra	300		7.936	3,78	
	10		Rio do Sul	336		47.822	0,7	
	1		Gaspar	6.000		40.584	14,78	
1999	7		Rio do Sul	201		47.822	0,42	
2000	2		Timbo	150		26.497	0,56	1.473.000
2001	10		Rio do Sul	2.885	1	47.822	6,03	2.071.076
	10		Presidente Getulio	2.100		11.523	18,22	4.648.600
	10		Gaspar	469		40.584	1,15	549.000
	10	11.02	Blumenau	400		231.401	0,12	2.999.300
	10		Itajaí	383		134.942	0,28	2.385.381
	10		Timbo	350		26.497	1,32	57.000
	10		Rodeio	175		9.623	1,81	1.252.200
	10		Indaial	144		35.400	0,4	524.083
	10		Lontras	144		7.936	1,81	786.300
	10		Laurentino	120		4.532		732.490
	10		Trombudo Central	120		5.895		244.500
2002	11		Taio	257		15.997	1,6	1.730.302
	11		Pouso Redondo	450		11.778	3,82	1.233.946
	12		Braco do Trombudo	120		3.531	3,39	1.325.000

Fonte: Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina

6.2 Escala das principais enchentes

6.2.1 Tempos de retorno das chuvas causadoras das principais enchentes

Os tempos de retorno das chuvas causadoras das principais enchentes foram calculados a partir das intensidades médias ponderadas de chuvas consecutivas de 4 dias de duração na bacia, e os resultados estão indicados na Tabela 6.2.1 (vide detalhes no item 7). As chuvas causadoras das enchentes de 1983 e 1984, que provocaram grandes danos, têm tempos de retorno de 76 e 66 anos, respectivamente, seguida pela precipitação ocorrida na inundação de 1992, cujo tempo de retorno é equivalente a 33 anos. As chuvas causadoras das demais enchentes têm tempos de retorno em torno de 5 a 10 anos.

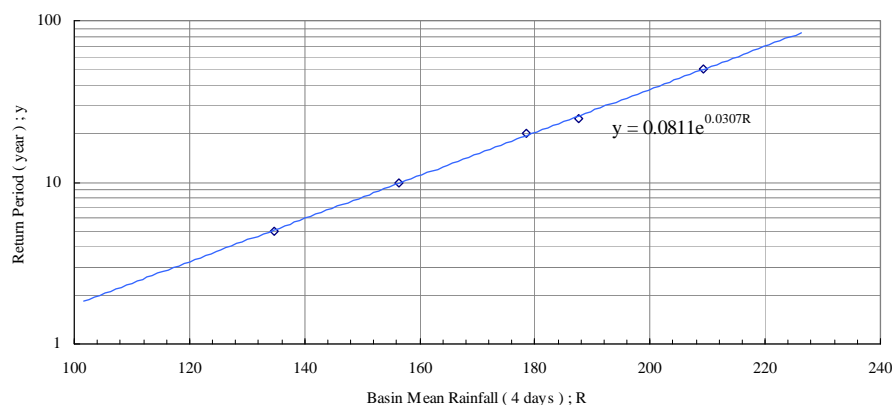
As precipitações causadoras da enchente de 2008, considerando a média de 4 dias de duração na bacia, tem tempo de retorno aproximado de cinco anos, pois, devido à distribuição espacial, as chuvas torrenciais se localizaram no baixo vale, diminuindo consideravelmente do litoral para o interior.

Tabela - 6.2.1 - Tempo de retorno das principais enchentes

DATA DE OCORRÊNCIA DA INUNDAÇÃO	VOLUME PLUVIOMÉTRICO DE 4 DIAS (MÉDIA DE TODA A BACIA)	TEMPO DE RETORNO (ANO)	SITUAÇÃO DE DANOS
31.10.1961	139,3 mm	6	—
26.09.1963	149,0 mm	8	—
25.08.1972	165,7 mm	13	—
19.12.1980	147,3 mm	7	—
06.07.1983	222,8 mm	76	Grandes danos entre as cidades de Itajaí e Blumenau. Grandes danos entre as cidades de Lontras e Rio do Sul. Danos de média e grande proporção nas cidades de Timbó, Taió, Rio do Oeste e Ituporanga.
05.08.1984	218,4 mm	66	Grandes danos nas cidades de Itajaí, Gaspar e Blumenau. Grandes danos em Brusque. Danos de média proporção nas cidades de Taió e Ituporanga.
28.05.1992	195,7 mm	33	Grandes danos entre as cidades de Itajaí e Blumenau. Danos relativamente pequenos na cidade de Rio do Sul. Danos de porte médio na cidade de Timbó.
31.01.1997	133,7 mm	5	Danos relativamente grandes na cidade de Gaspar. Pequenos danos na cidade de Blumenau.
02.07.1999	150,3 mm	8	Pequenos danos na cidade de Rio do Sul.
29.09.2001	146,8 m	7	Pequenos danos nas cidades de Itajaí, Gaspar, Blumenau, Indaial e Lontras. Danos de média proporção na cidade de Rio do Sul. Pequenos danos nas cidades de Timbó e Taió.
18.05.2005	144,3 mm	7	Sem danos significativos.
21.11.2008	135,1 mm	5	Ocorreram chuvas torrenciais sem precedentes na região a jusante, provocando grandes danos. Contudo, por se tratar de chuvas torrenciais localizadas, na media da bacia são computadas com tempo de retorno menor.
23.04.2010	130,3 mm	4	Não há dados oficiais. Na pesquisa de campo houve relatos sobre pequenos danos nas cidades de Rio do Sul, Timbó e Taió.

Fonte: Equipe de Estudos JICA

*O cálculo do período de retorno das precipitações causadoras das enchentes baseou-se na fórmula de correlação da figura abaixo.



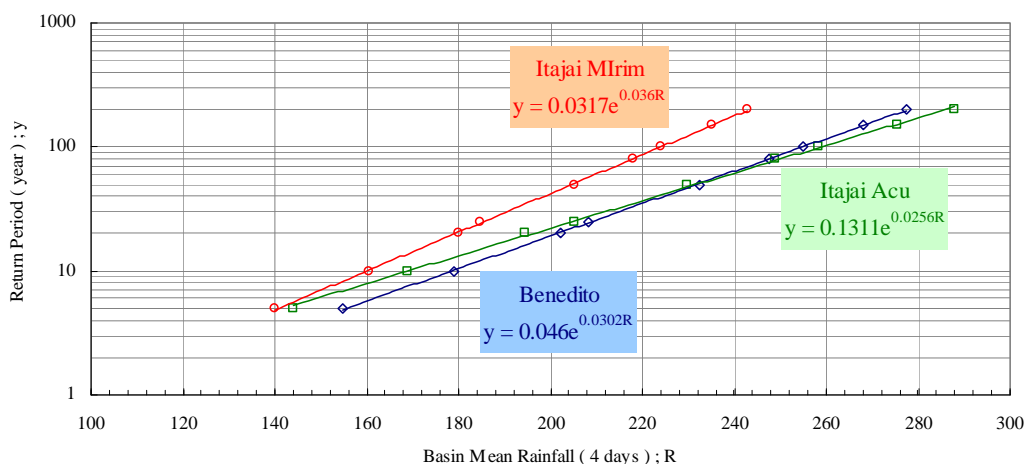
6.2.2 Tempo de retorno da enchente de 2008

Assim como indicado na Tabela 6.2.2, as intensidades das chuvas em 4 dias consecutivos nas bacias do Itajaí Oeste, do sul e do Norte são pequenas. Mas, as chuvas nas bacias do Rio Benedito e do Rio Itajaí Açú são equivalentes às de 30 anos e 60 anos de tempos de retorno, respectivamente. A intensidade da chuva na Bacia do Itajaí-Mirim é equivalente a 10 anos de tempo de retorno.

Tabela – 6.2.2 - Tempos de Retorno de Chuvas Intensas de 4 Dias de Duração e Chuvas Observadas (21 a 24 de novembro) em cada Sub-Bacia na Enchente de 2008

Sub-bacia	Itajaí Do Oeste	Itajaí Do Sul	Itajaí Do Norte	Benedito	Itajaí Acu	Itajaí do Mirim
Chuva de 4 dias consecutivos na Enchente Nov-2008	49	36	31	214	236	160
Intensidade da Chuva	5 anos	153	141	140	155	144
	10 anos	175	161	160	179	169
	20 anos	196	181	179	202	194
	25 anos	202	186	184	208	205
	50 anos	224	207	204	232	230
	80 anos	238	220	217	248	249
	100 anos	244	226	223	255	258
	150 anos	256	237	233	268	276
200 anos	265	245	241	277	288	
Tempo de Retorno (ano)	-	-	-	30	60	10

Fonte: Comissão JICA, *O cálculo do ano de retorno de cada enchente baseou-se na fórmula de correlação do Figura abaixo.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Em termos de enxurradas, os resultados das análises de chuvas torrenciais são os seguintes;

- Houve concentração de chuva torrencial na bacia do Itajaí-Açu (rio principal), principalmente a jusante da cidade de Indaial, e o maior volume de precipitação ocorreu na cidade de Blumenau, atingindo em 4 dias, de 21 até 24 de novembro, a marca de 576mm.
- As precipitações se concentraram principalmente nos dias 23 e 24 de novembro, alcançando a marca de 494,4mm em 2 dias, e 251mm no dia 25, sendo este o maior índice pluviométrico em 1 dia.

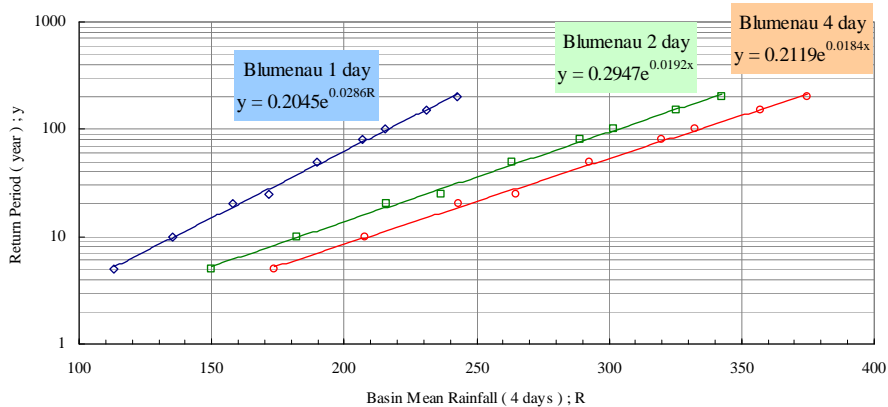
Na avaliação do tempo de retorno desta intensidade de chuva na cidade de Blumenau, a intensidade de chuva de 1 dia foi equivalente à de 270 anos de tempo de retorno. A Tabela 6.2.3 seguinte indica a intensidade de precipitações prováveis;

Tabela – 6.2.3 - Tempos de Retorno das Chuvas Intensas de 1, 2 e 4 Dias de Duração e Chuvas Observadas em Blumenau na Enchente de 2008

	Blumenau Precipitação Diária	Blumenau Precipitação em 2 dias	Blumenau Precipitação em 4 dias
Precipitação de Enchente Nov-2008	251	494	575
Intensidade de Precipitação Provável	5 anos	113	150
	10 anos	135	182
	20 anos	158	216
	25 anos	171	236
	50 anos	189	263
	80 anos	207	289
	100 anos	215	301
	150 anos	231	325
200 anos	242	342	375
Tempo de Retorno (anos)	270	-	-

Fonte: Equipe de Estudos JICA

* O cálculo do tempo de retorno de cada enchente baseou-se na fórmula de correlação da figura abaixo.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

6.3 Características das principais enchentes

Dentre as principais enchentes citadas anteriormente foram avaliadas neste capítulo as características das enchentes dos anos de 1983, 1984, 2008 e 2010, que possuem dados suficientes de precipitação ou de vazão.

6.3.1 Enchente de 1983

A enchente de 1983 teve chuvas torrenciais durante 8 dias, do dia 5 até o dia 12 de julho, sendo com maior intensidade durante 4 dias, entre os dias 6 e 9. A intensidade de chuva média de 4 dias consecutivas em toda a bacia foi de aproximadamente 210mm, e estava distribuída em todas as sub-bacias em torno de 200mm.

Tabela – 6.3.1 - Registros de precipitações diárias na enchente de julho 1983

Sub-bacia	Estação	Data								Total (4dias)	Total (8 dias)
		7/5	7/6	7/7	7/8	7/9	7/10	7/11	7/12		
Itajaí-Açú	Luiz	0,0	39,2	50,4	48,4	62,2	38,4	20,2	20,2	200,2	279,0
	Planalsucar	0,0	58,0	47,0	46,0	53,0	39,0	12,0	12,0	204,0	267,0
	Pomerode	0,1	41,0	60,2	67,0	70,0	49,2	7,5	7,5	238,2	302,5
	Blumenau	0,0	54,4	62,8	43,8	54,4	38,2	30,4	30,4	215,4	314,4
	Garcia De Blumenau	0,0	54,0	63,6	43,8	54,4	38,2	30,4	30,4	215,8	314,8
	Apiuna Regua Nova	0,0	62,0	58,8	49,0	31,4	29,9	25,2	25,2	201,2	281,5
	Neisse Central	0,0	60,0	56,0	53,0	25,0	30,0	25,0	25,0	194,0	274,0
	Rio Do Sul	0,0	59,5	70,2	52,5	54,0	50,0	33,0	33,0	236,2	352,2
	Médio da Sub-bacia	0,0	53,5	58,6	50,4	50,6	39,1	23,0	23,0	213,1	298,2
Benedito	Benedito Novo	0,0	68,9	63,6	36,2	32,2	35,5	16,2	16,2	200,9	268,8
	Timbo Novo	0,0	58,2	65,1	39,0	40,0	12,5	18,5	18,5	202,3	251,8
	Arrozeira	0,0	68,0	62,6	52,0	75,4	38,2	0,0	0,0	258,0	296,2
	Doutor Pedrinho	0,0	57,2	78,2	68,2	75,6	44,0	20,0	20,0	279,2	363,2
		Médio da Sub-bacia	0,0	63,1	67,4	48,9	55,8	32,6	13,7	13,7	235,1
Itajaí Do Norte	Witmarsum	0,0	47,0	86,8	53,2	40,2	26,4	21,8	21,8	227,2	297,2
	Barra Do Prata	0,0	52,4	83,6	69,2	73,4	45,6	32,2	32,2	278,6	388,6
	Barragem Norte	0,0	57,6	65,4	59,2	44,4	24,8	24,2	24,2	226,6	299,8
	Ibirama	0,0	52,2	58,3	47,0	31,5	34,0	16,5	16,5	189,0	256,0
	Iracema	0,0	44,1	93,2	84,0	103,6	64,5	16,4	16,4	324,9	422,2
	Nova Bremen	0,0	58,1	58,9	47,1	38,2	38,3	23,4	23,4	202,3	287,4
		Médio da Sub-bacia	0,0	51,9	74,4	60,0	55,2	38,9	22,4	22,4	241,4
Itajaí Do Oeste	Taio	0,0	63,4	71,4	67,8	34,0	63,8	28,0	28,0	236,6	356,4
	Rio Do Campo	52,0	80,8	68,6	41,4	33,8	21,4	33,4	33,4	224,6	364,8
	Pouso Redondo	0,0	50,4	66,3	49,4	73,0	60,4	39,4	39,4	239,1	378,3
	Trombudo Central	0,4	43,0	62,2	58,5	60,8	61,8	40,6	40,6	224,5	367,9
	Agrolandia	0,0	52,8	73,0	54,2	49,0	50,6	45,0	45,0	229,0	369,6
	Barragem Oeste	0,0	63,0	74,0	66,6	34,0	63,8	28,0	28,0	237,6	357,4
		Médio da Sub-bacia	8,7	58,9	69,3	56,3	47,4	53,6	35,7	35,7	231,9
Itajaí Do Sul	Lomba Alta	0,0	41,2	63,8	42,8	32,6	44,4	74,0	74,0	180,4	372,8
	Saltinho	0,0	46,7	61,6	45,0	26,3	45,3	73,4	73,4	179,6	371,7
	Ituporanga	0,0	47,9	61,8	42,6	36,8	56,4	59,6	59,6	189,1	364,7
	Barragem Sul	0,0	40,8	76,3	51,6	42,4	47,6	43,2	43,2	211,1	345,1
	Ituporanga	35,0	45,0	43,0	49,0	41,0	65,0	46,0	46,0	178,0	370,0
		Médio da Sub-bacia	7,0	44,3	61,3	46,2	35,8	51,7	59,2	59,2	187,6
Itajaí Mirim	Vidal Ramos	27,4	36,5	34,6	31,7	42,3	38,5	27,4	27,4	145,1	265,8
		Médio da Sub-bacia	27,4	36,5	34,6	31,7	42,3	38,5	27,4	27,4	145,1
Média Total da Bacia		7,2	51,4	60,9	48,9	47,9	42,4	30,2	30,2	209,0	319,1

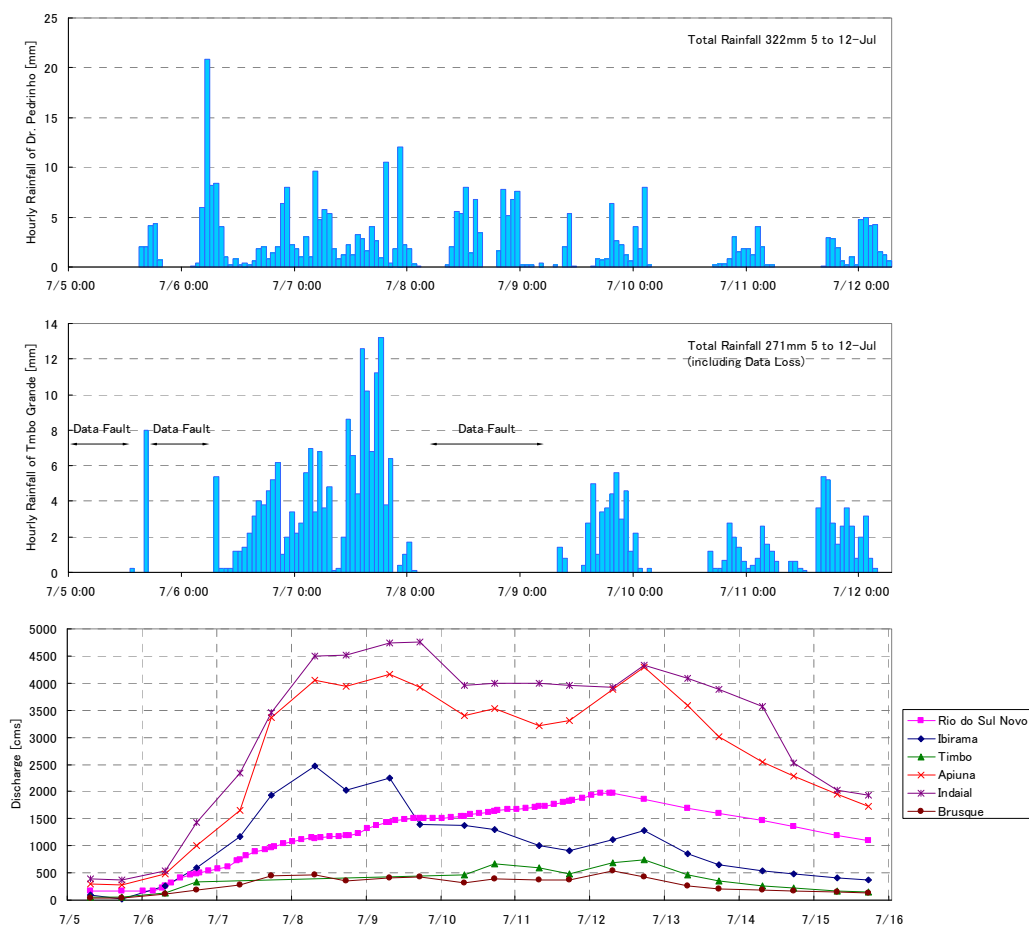
Fonte: medições da ANA, reformuladas pela Comissão JICA

Na enchente de 1983 somente existem os dados de precipitação horária (contudo, em Timbó Novo existem intervalos não registrados nos dias 8 e 9 de julho) em 2 locais: Doutor Pedrinho e Timbó Grande (ambos na bacia do rio Benedito). Os registros de vazões (valores convertidos a partir de níveis fluviométricos) existem em 6 locais. Cabe ressaltar que esses dados são basicamente registrados 2 vezes ao dia (7h, 17h), mas no caso do Rio do Sul, os mesmos são a cada 1 a 3 horas.

A Figura 6.3.1 indica os dados de precipitações horárias e vazões horárias de ambos os pontos.

- As chuvas tiveram maior intensidade na primeira metade da enchente (dias 6 e 7), quando a intensidade de chuva horária máxima alcançou 21mm/h em Doutor Pedrinho, seguindo em torno de 15mm/h nas demais horas.
- O pico da vazão ocorreu entre os dias 8 e 9 de julho, defasado em mais de 1 dia do pico da chuva. Houve retardo no pico somente em Rio do Sul e a sua causa é desconhecida, devido à inexistência de dados horários, mas tudo leva a crer que houve retenção nas barragens Sul e Oeste.

A vazão máxima foi de 4.760 m³/s em Indaial. Em Rio do Sul e Ibirama as vazões ficaram em torno de 2000 a 2500 m³/s, e da ordem de 500 a 1000 m³/s em Brusque.



Fonte: Final Report on The Itajaí River Basin Flood Control Project Part II Data Book, JICA, 1988

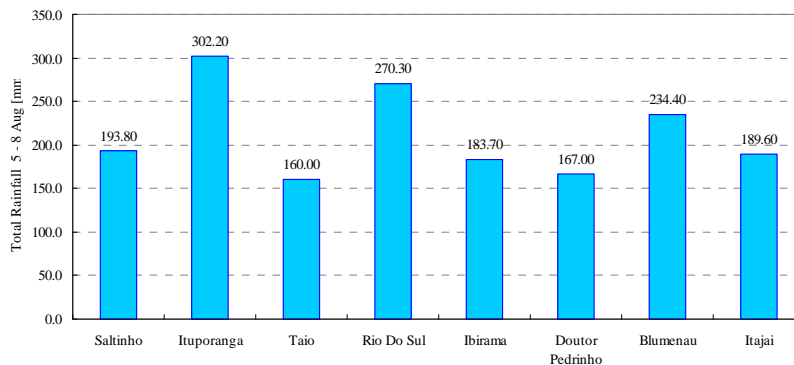
Figura – 6.3.1 - Curva de precipitações e vazões na enchente de julho de 1983

6.3.2 Enchente de 1984

Na enchente de agosto de 1984 existem registros de chuvas horárias em 8 estações. A Figura 6.3.2

indica a chuva consecutiva registrada em 4 dias.

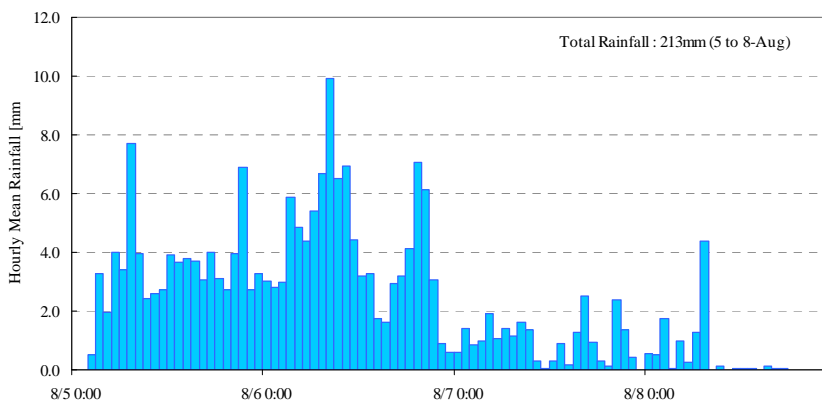
Na enchente de 1984 choveu durante 4 dias consecutivos, do dia 5 até o dia 8 de agosto, e a chuva registrada nos 4 dias, foi aproximadamente de 160mm a 300mm. O maior valor de chuva foi em torno de 300mm em Ituporanga, e a chuva foi relativamente alta também em Rio do Sul e Blumenau. De forma geral, houve mais precipitação nas regiões central e sudoeste, e tendência à menor precipitação nas regiões noroeste, norte e leste.



Fonte: Final Report on The Itajaí River Basin Flood Control Project Part II Data Book, JICA, 1988, reformulado pela Comissão JICA (as medições faltantes foram complementadas conforme a tabela 6.1.7).

Figura – 6.3.2 - Distribuição de chuva total na enchente 1984

A Figura 6.3.3 indica a distribuição horária das precipitações em 4 dias (média na bacia de 213mm). A chuva concentrou-se nos dias 5 e 6 de agosto e o pico registrado foi de 10mm/h ao meio-dia no dia 6 (máximo por estação, foi de 18mm). A partir do dia 7 de agosto a chuva foi decrescendo à razão de 1 a 2mm por hora.



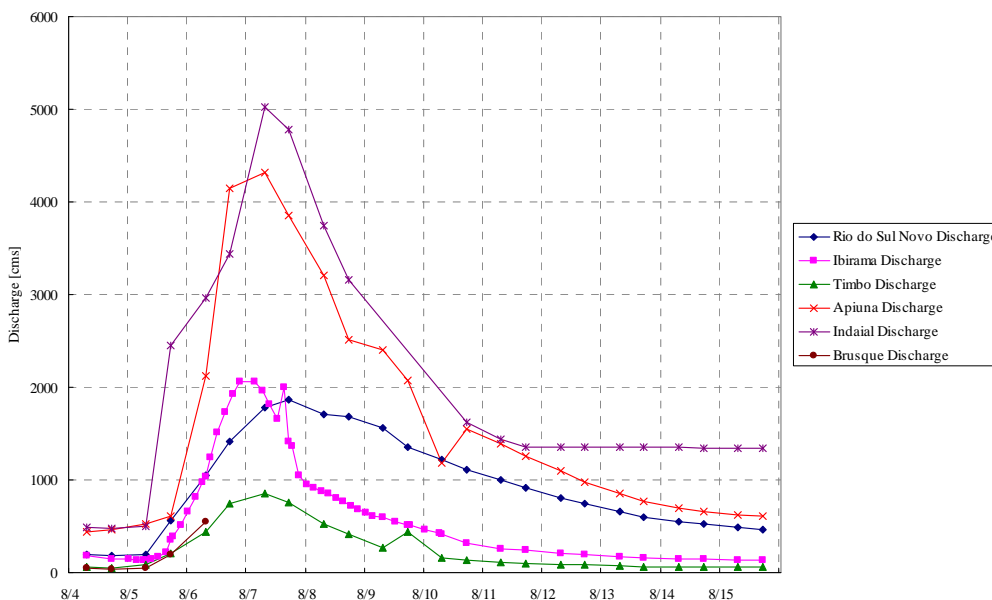
Fonte: Final Report on The Itajaí River Basin Flood Control Project Part II Data Book, JICA, 1988, reformulado pela Comissão JICA

Figura – 6.3.3 - Distribuição da precipitação horária na enchente de 1984

Na Figura 6.3.4 indica-se as vazões dos rios (valores convertidos a partir de dados fluviométricos). Existem dados fluviométricos nos 6 pontos, sendo basicamente realizadas 2 leituras limnimétricas diárias, mas em Ibirama há registros a cada 1 a 3 horas.

- Os picos de vazões das cheias na enchente de 1984 (valores de pico dentre os dados de 2 vezes/dia) foram: $5.000\text{m}^3/\text{s}$ em Indaial e $4.300\text{m}^3/\text{s}$ em Apiúna, atingindo os picos às 7h do dia 7 de agosto. Assim, há defasagem de tempo aproximado de 20 horas em relação ao pico de precipitação.

- Na enchente de 1984 houve atraso na ocorrência do pico em Rio do Sul em relação às demais estações, evidenciando a interferência da barragem.
- A vazão de pico em cada estação foi em torno de: 4.000m³/s em Apiúna, 2000m³/s em Rio do Sul e Ibirama, e 1.000m³/s em Timbó.



Fonte: Final Report on The Itajaí River Basin Flood Control Project Part II Data Book, JICA, 1988

Figura 6.3.4 - Registro das vazões em cada estação na enchente de 1984

6.3.3 Enchente de 2008

A chuva na enchente de novembro de 2008 começou em torno do dia 18 de novembro, estendendo-se até o dia 27 do mesmo mês. As maiores precipitações ocorreram durante 4 dias, entre os dias 21 a 24 de novembro, atingindo em 4 dias a marca de 120,9 mm, média na bacia. Contudo, conforme já citado, esta enchente concentrou-se na parte de jusante da bacia, chegando a 236mm na bacia do Itajaí-Açu (Baixo Vale), 214mm na bacia do rio Benedito e 160mm na bacia do rio Itajaí-Mirim.

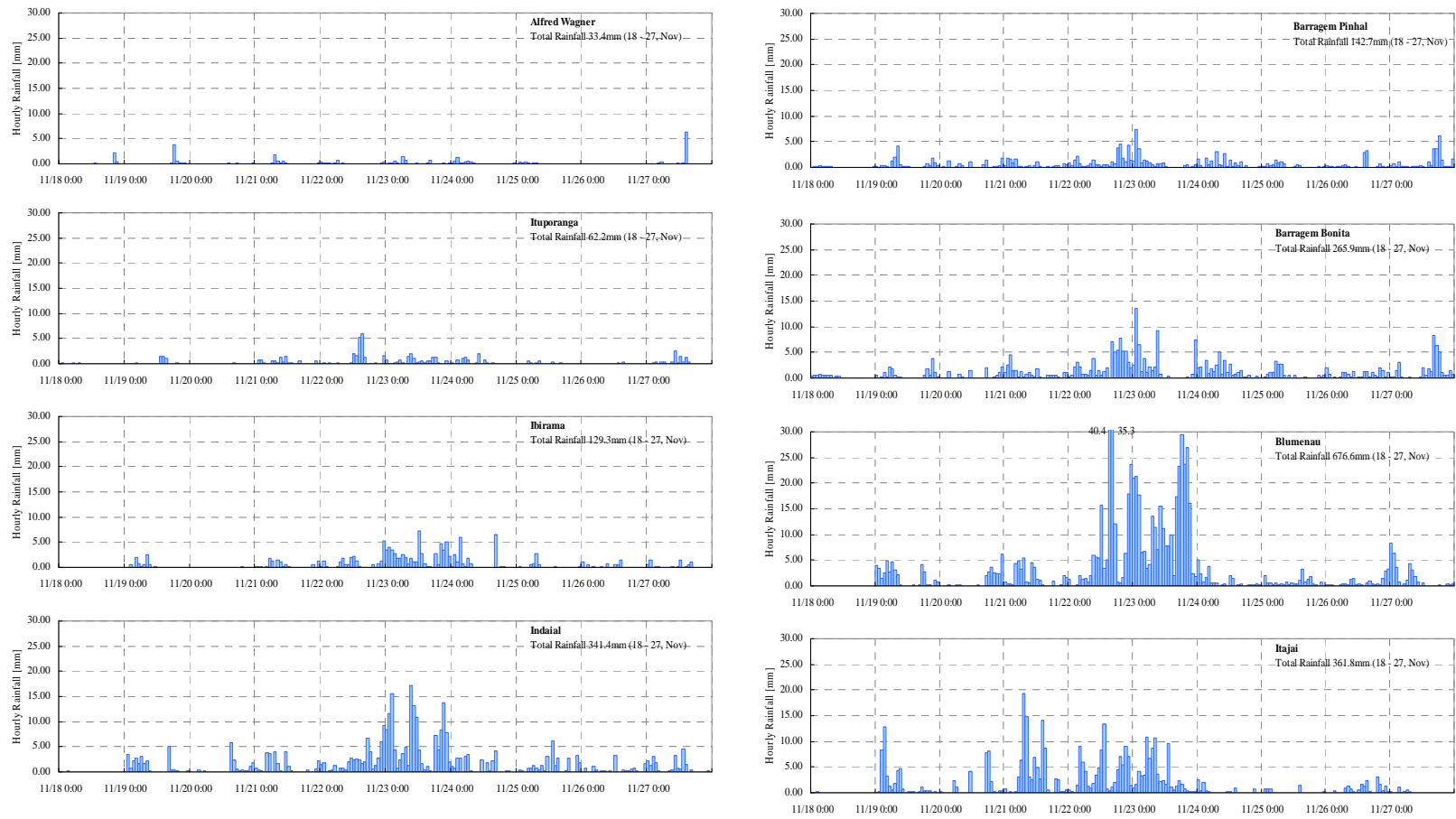
Foram indicados os dados pluviométricos horários na Figura 6.3.5 e na Tabela 6.3.2. A maior chuva horária registrada foi de 40,4mm/h, no dia 22 de novembro em Blumenau.

Tabela – 6.3.2 - Precipitação diária na enchente de Nov. 2008

Sub bacia	Estação	Date										Total (4dias)	Total (11dias)
		11/18	11/19	11/20	11/21	11/22	11/23	11/24	11/25	11/26	11/27		
Itajaí Açu	Pomerode	2.5	9.8	11.4	41.5	34.3	114.3	62.3	15.3	11.2	25.5	252.4	328.1
	Blumenau	0.2	30.8	13.9	38.0	43.3	243.5	250.9	10.5	9.6	20.8	575.7	661.5
	Apiuna Regua Nova	0.7	14.3	4.8	3.6	10.6	55.5	83.1	8.3	9.7	8.9	152.8	199.5
	Neisse Central	0.5	15.6	0.5	3.7	0.0	65.5	66.5	8.3	11.0	6.5	135.7	178.1
	Rio Do Sul	1.0	2.4	0.5	1.6	8.6	17.4	35.9	1.6	2.6	1.8	63.5	73.4
	Media (Sub bacia)				17.7	19.4	99.2	99.7				236.0	288.1
Benedito	Arrozeira	1.4	11.7	8.3	36.6	28.9	125.2	72.7	7.8	12.9	32.6	263.4	338.1
	Timbo Novo	1.4	15.8	14.5	11.0	21.6	184.9	63.4	55.2	36.9	29.4	280.9	434.1
	Doutor Pedrinho	1.4	8.2	9.0	28.8	11.1	36.0	22.1	0.0	31.0	6.8	98.0	154.4
	Media (Sub bacia)				25.5	20.5	115.4	52.7				214.1	308.9
Itajaí Do Norte	Witmarsum	0.9	0.0	1.0	4.9	13.1	11.2	9.7	4.8	1.6	0.0	38.9	47.2
	Barra Do Prata	0.0	0.0	4.0	0.0	3.2	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	5.9	9.9
	Barragem Norte	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	7.8	20.0	0.0	0.0	7.0	32.2	39.2
	Iracema	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
	Nova Cultura	0.0	2.3	2.0	1.8	0.9	2.1	0.0	18.0	2.3	0.0	4.8	29.4

	Ibirama	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	55.0	40.0	9.0	4.0	0.0	105.0	118.0
	Media (Sub bacia)				1.1	5.3	12.7	12.1				31.1	41.2
Itajaí Do Oeste	Taio	0.0	5.0	5.5	10.0	18.1	24.7	8.9	6.3	1.7	0.0	61.7	80.2
	Pouso Redondo	1.0	3.3	7.7	8.0	26.1	15.8	20.8	2.1	2.3	4.0	70.7	91.1
	Trombudo Central	1.2	0.2	1.3	1.6	7.4	15.2	11.5	1.0	0.7	1.5	35.7	41.6
	Barragem Oeste	0.4	2.1	2.9	0.0	24.7	14.2	6.6	8.7	1.4	3.5	45.5	64.5
	C. Ribeirão Caetano	56.6	15.8	6.6	3.0	2.1	0.6	36.2	14.4	20.5	1.4	41.9	157.2
	Agrolandia	0.0	0.0	0.0	11.0	8.2	10.0	6.0	2.0	1.8	0.0	35.2	39.0
	Media (Sub bacia)				5.6	14.4	13.4	15.0				48.5	78.9
Itajaí Do Sul	Ituporanga	0.5	2.9	2.7	2.1	4.0	8.9	11.0	1.6	2.3	2.5	26.0	38.5
	Lomba Alta	0.2	0.0	7.4	5.1	12.0	19.6	7.8	4.6	3.2	0.9	44.5	60.8
	Barragem Sul	0.0	0.3	7.2	0.5	18.7	13.5	7.6	1.8	0.2	1.4	40.3	51.2
	Saltinho	0.0	1.8	7.3	0.0	12.8	13.8	5.4	0.0	0.0	0.0	32.0	41.1
	Media (Sub bacia)				1.9	11.9	14.0	8.0				35.7	47.9
Itajaí Mirim	Salseiro	0.6	12.6	6.8	6.6	6.6	53.6	24.7	6.7	2.4	3.9	91.5	124.5
	Botuvera	0.0	5.1	15.5	26.5	35.9	165.2	106.5	22.5	6.0	15.7	334.1	398.9
	Vidal Ramos	0.0	24.9	7.4	28.5	7.0	9.4	8.9	25.4	6.0	5.0	53.8	122.5
	Media (Sub bacia)				20.5	16.5	76.1	46.7				159.8	215.3
Media(Total de Bacia)					12.1	14.7	55.1	39.0				120.9	120.9

Fonte: medições da ANA reformuladas pela Comissão JICA.



Fonte: Alfred Wagner, UFSC, Ituporanga, INMET, Ibirama, Celesc e ANA, Indaial, INMET

Figura 6.3.5 Distribuição pluviométrica horária por estação, na inundação de 2008

A respeito da enchente no ano de 2008 os níveis fluviométricos indicados no relatório “Desastre de 2008 no vale do Itajaí” são os seguintes:

Blumenau	H=11.5m	Q=4200m ³ /s
Timbó	H=8.0m	Q=710m ³ /s
Indaial	H=6.0m	Q=3100m ³ /s

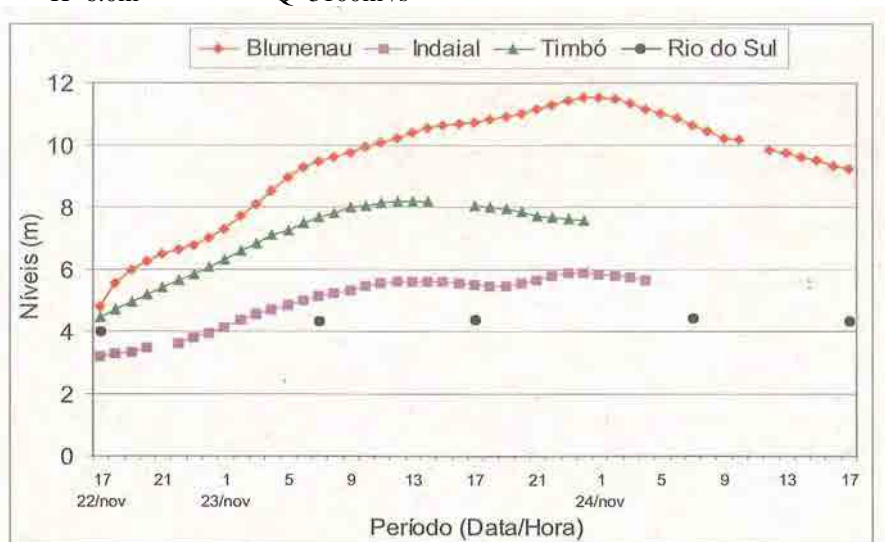
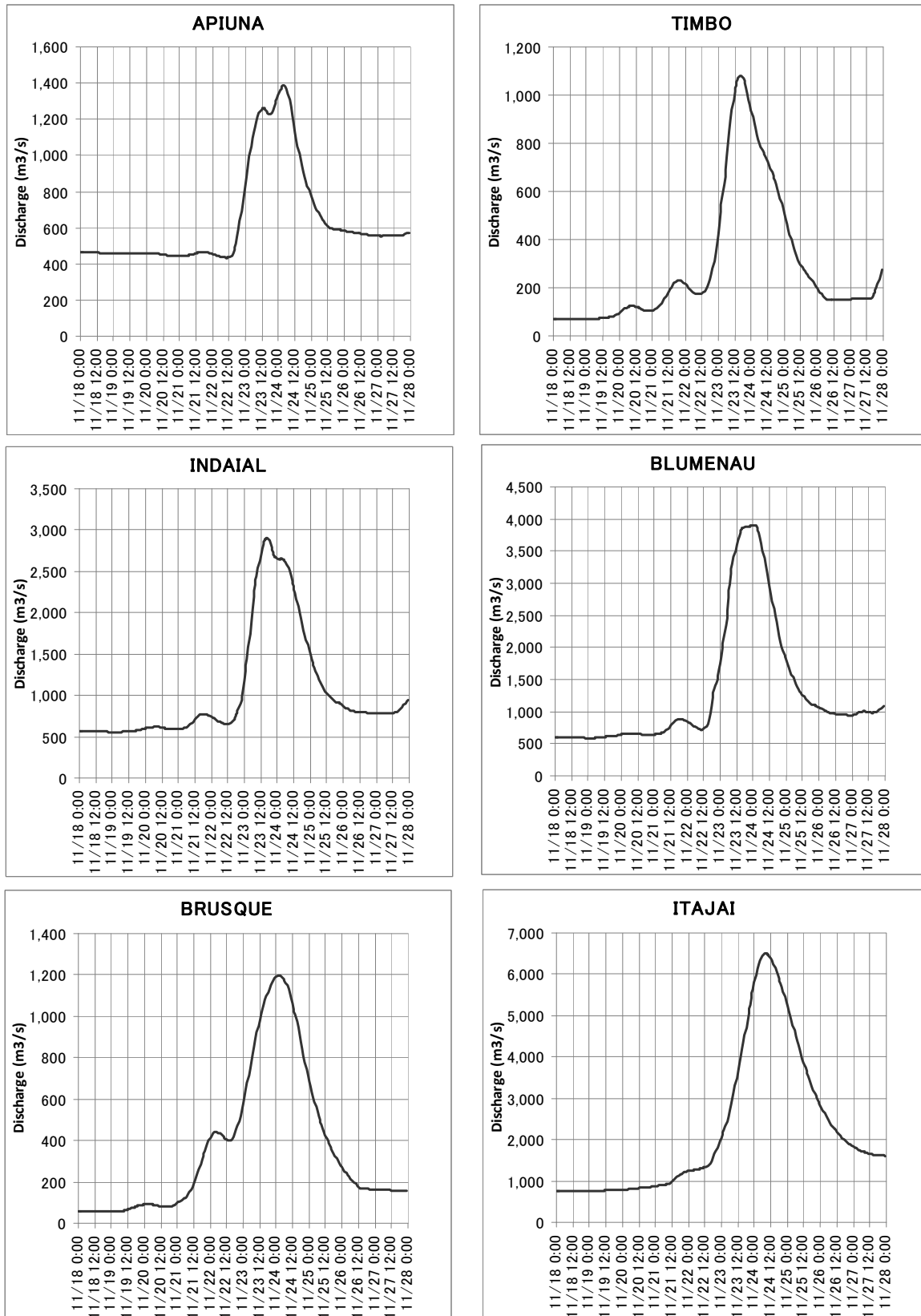


Figura 2 - Evolução temporal dos níveis em Rio do Sul, Timbó, Indaial e Blumenau entre 22 e 24/11/2008. Fonte: CEOPS/IPA/FURB.

Fonte: Desastre de 2008 no vale do Itajaí

Figura 6.3.6 Registros de níveis fluviométricos na inundação de 2008

Na Figura 6.3.7 estão mostrados os hidrogramas resultantes das simulações das enchentes de 2008 (vide detalhes do modelo no item 7). Devido às distribuições das chuvas localizadas e à escassez das informações dos registros de chuvas para fins de simulações, estas se tornam de difícil calibragem, mas as vazões foram estimadas em torno de 4.000m³/s em Blumenau, 1.200m³/s em Brusque e em torno de 1.000m³/s em Timbó. Em Itajaí a vazão foi estimada em aproximadamente 6.500m³/s, mas devido a ocorrências de grandes alagamentos e inundações, acredita-se que houve diminuição significativa da vazão.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura 6.3.7 Resultado dos cálculos do escoamento na enchente de 2008 (1/3)

6.3.4 Enchente de 2010

Na enchente de 2010 as chuvas intensas começaram em torno do dia 21 de abril, continuando até o dia 26. Foram obtidos dados pluviométricos desta enchente em 18 estações. Contudo, diversos órgãos realizaram as medições nos mesmos locais, e por conta da falta de confiabilidade ou número elevado de medições faltantes em algumas estações, foram adotadas as fontes de dados e a forma de organização indicadas na tabela 6.3.3.

Tabela – 6.3.3 - Fonte de dados e a forma de organização

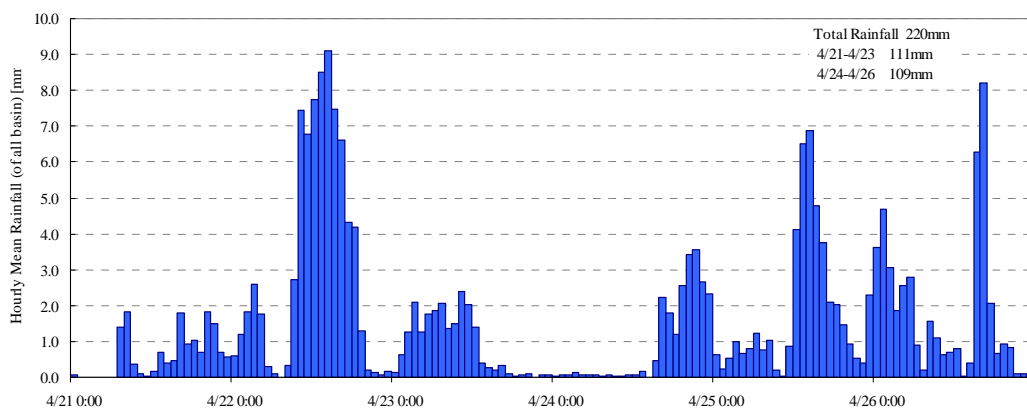
SUB-BACIA	ESTAÇÃO	FONTE	CONFIABILIDADE DOS DADOS E INTERPOLAÇÃO DOS DADOS FALHOS	EQUAÇÃO DE INTERPOLAÇÃO
Rio Itajaí do Sul	Alfredo Wagner	FURB	Boa correlação com Ituporanga, sem problemas de confiabilidade. Complementadas as medições faltantes com Ituporanga INMET sem sobreposição de dias sem medição.	$y = 0.7425x + 0.1077$
	Ituporanga	INMET, FURB, ANA	A correlação entre INMET e FURB, é alta, levando a crer que as confiabilidades também são altas. Assim, foram complementadas as medições faltantes com INMET baseando-se na FURB.	$y = 1.0021x - 0.00687$
Rio Itajaí do Oeste	Rio do Campo	INMET	Observou-se correlação com Barragem Oeste, e são confiáveis. Complementadas as medições faltantes com Barragem Oeste.	$y = 0.7593x + 0.6886$
	Barragem Oeste	ANA	Boa correlação com Taió (FURB) e são confiáveis. Complementadas as medições faltantes com a mesma.	$y = 1.2405x + 0.0829$
	Pouso Redondo	FURB	Algumas correlações com Taió e Rio do Oeste e são confiáveis. As medições faltantes são todos zeros por serem horários sem precipitações nas proximidades.	-
	Taió	FURB, ANA	Boas correlações entre FURB e ANA, com valores semelhantes e são confiáveis. Usou-se a FURB com menos medições faltantes e complementadas as faltantes com ANA.	$y = 0.7737x + 0.1200$
	Rio do Oeste	Salto Pilão, FURB	Boas correlações entre Salto Pilão e FURB, mas os valores do Salto Pilão são aproximadamente dobros. Por outro lado, as correlações entre Taió o FURB não são muito boas, mas os volumes pluviométricos são praticamente iguais. Assim, decidiu-se que a confiabilidade da FURB é superior. Complementadas as medições faltantes com Salto Pilão, de maior correlação.	$y = 0.5189x - 0.0159$
Rio Itajaí do Norte	Barragem Boiteux	Salto Pilão	Alguma correlação com Ibirama e são confiáveis. Complementadas as medições faltantes com Ibirama.	$y = 1.4989x + 0.5459$
	Ibirama	Celesc e ANA, FURB	Boa correlação entre FURB e Celesc, os valores são similares e confiáveis. Complementadas as medições faltantes com ANA, baseando-se na FURB.	$y = 0.9013x + 0.0383$
Itajaí a montante	Rio do Sul	FURB, ANA	Boa correlação entre FURB e ANA e são confiáveis. Complementadas as medições faltantes com ANA, baseando-se na FURB com menos medições faltantes da enchente.	$y = 1.1004x - 0.0096$
	Apiúna	Salto Pilão, FURB	Boa correlação entre FURB e Salto Pilão, mas o último apresenta ligeira tendência a valores maiores. Priorizada a FURB por causa da sua conformidade com demais estações. Complementadas as medições faltantes com Salto Pilão.	$y = 0.6311x + 0.1298$
	Indaial	INMET, Celesc e ANA	Devido aos valores da Celesc diferirem em relação às demais tendências na primeira metade da enchente, baseou-se no INMET. Complementação desnecessária por não apresentar medições faltantes.	-
Benedito	Barragem Pinhal	Celesc	Acredita-se que não detectou a precipitação principalmente na segunda metade, e apresenta muitas medições faltantes. Por estar próxima à estação Bonito, desprezaram-se os dados do Pinhal.	-
	Barragem Rio Bonito	Celesc	Alguma correlação com o Timbó, mas são baixas. Contudo, não apresenta problema, pois praticamente não há medições faltantes. Complementadas as faltantes com Timbó.	$y = 0.6111x + 0.8844$
	Timbó	FURB	Correlação com Indaial, e os valores são coerentes. Assim, foram complementadas as medições faltantes com Indaial.	$y = 0.8860x + 0.1164$
Itajaí a jusante	Blumenau	Celesc	Correlação com Indaial, e os valores são coerentes. Assim, foram complementadas as medições faltantes com Indaial.	$y = 0.6532x + 0.3515$
	Itajaí	Cepsul Ibama, Pesquisador Robert	Ambas apresentam correlações, e sem problemas nos valores, que são similares. Valores médios de ambas, por não apresentarem medições faltantes.	-
Itajaí Mirim	Salseiro	ANA	Muitas medições faltantes, mas importantes como dados, pois a característica pluviométrica é diferente em relação à Brusque. Complementadas as medições faltantes com Ituporanga que apresentou correção razoável.	$y = 1.4944x + 0.1234$
	Brusque	ANA	Não há estação medidora nas proximidades, mas é relativamente alta a sua correção com Indaial (Itajaí é baixa, Blumenau com número elevado de medições faltantes, descartado). Complementadas as medições faltantes com Indaial, pois os valores também são coerentes.	$y = 1.0431x + 0.0793$

Fonte: Equipe de Estudos JICA

Na Figura 6.3.8 indica-se a distribuição pluviométrica horária e índice pluviométrico por estação na enchente de 2010.

- A enchente de 2010 teve 2 picos: entre os dias 21 e 23 e entre os dias 24 e 26 e, na média da bacia, os volumes pluviométricos da primeira metade e da segunda metade foram praticamente iguais.
- O valor máximo da chuva horária na média da bacia foi em torno de 9mm/h. Por estação, os valores permaneceram dentro da faixa de 10 a 30mm/h, verificando-se 30mm/h em Brusque e 28mm/h na Barragem Boiteux,
- A precipitação total foi elevada principalmente em Boiteux na Bacia Itajaí do Norte (precipitação total de 400mm), em Rio do Campo e Barragem Oeste na Bacia Itajaí do Oeste, e em Barragem Rio Bonito na Bacia Benedito. Acredita-se que as precipitações foram maiores nas regiões norte e noroeste.

- Por outro lado, as chuvas foram relativamente mais fracas na Bacia Itajaí do Sul, como em Alfredo Wagner e Ituporanga.

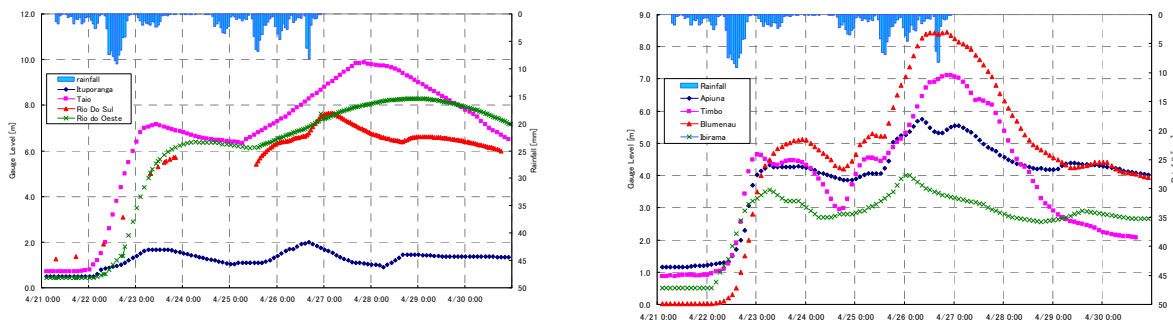


Fonte: Equipe de Estudos JICA

Figura - 6.3.8 - Precipitação horária média na enchente de 2010 (Média na Bacia)

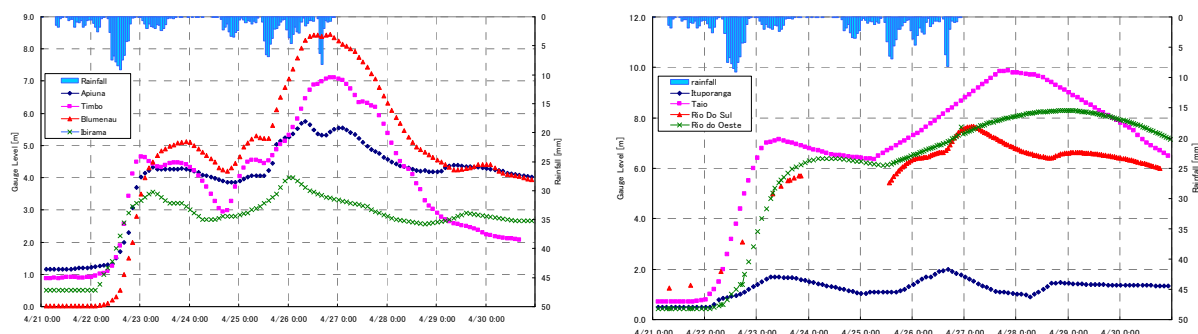
Quanto aos níveis fluviométricos na enchente foram obtidos os dados de 7 localidades. Na Figura 6.3.9 foram indicados os níveis fluviométricos obtidos, e no Figura 6.3.10, os resultados da conversão em vazão feita pela relação nível-vazão.

- A vazão de pico em Rio do Sul foi de aproximadamente 850m³/s. De acordo com as pesquisas feitas na cidade de Rio do Sul, in loco, parte da cidade foi alagada nesta enchente.
- Em Taió, a ocorrência de pico foi tardia por causa da barragem. Nesta enchente, a barragem Oeste ficou cheia, provocando o seu transbordamento. Na cidade de Taió ocorreu também o alagamento nas proximidades da prefeitura.
- Em Ituporanga ocorreram variações na vazão correspondentes às aberturas das comportas da Barragem Sul. A Barragem Sul não encheu, cumprindo com a sua função reguladora de enchente, e não houve alagamento nesta cidade.
- O pico de vazão em Ibirama foi de aproximadamente 800m³/s. A Barragem Norte cumpriu com a sua função reguladora e não houve alagamento nesta cidade.
- Em Timbó ocorreu pico de vazão de aproximadamente 600m³/s, conforme informado pelo município e parte desta cidade ficou alagada.
- A vazão de pico em Blumenau foi de aproximadamente 2.600m³/s.



Fonte: níveis fluviométricos medidos pela FURB

Figura – 6.3.9 - Registro de níveis fluviométricos na inundação de 2010



Fonte: níveis fluviométricos medidos pela FURB e convertidos em vazão pela Comissão JICA.

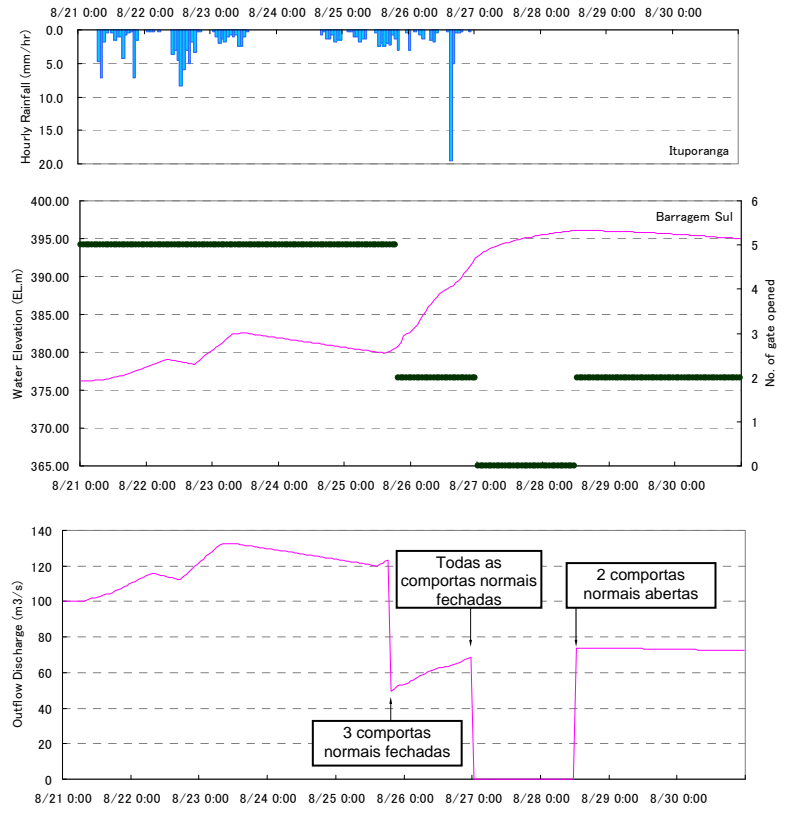
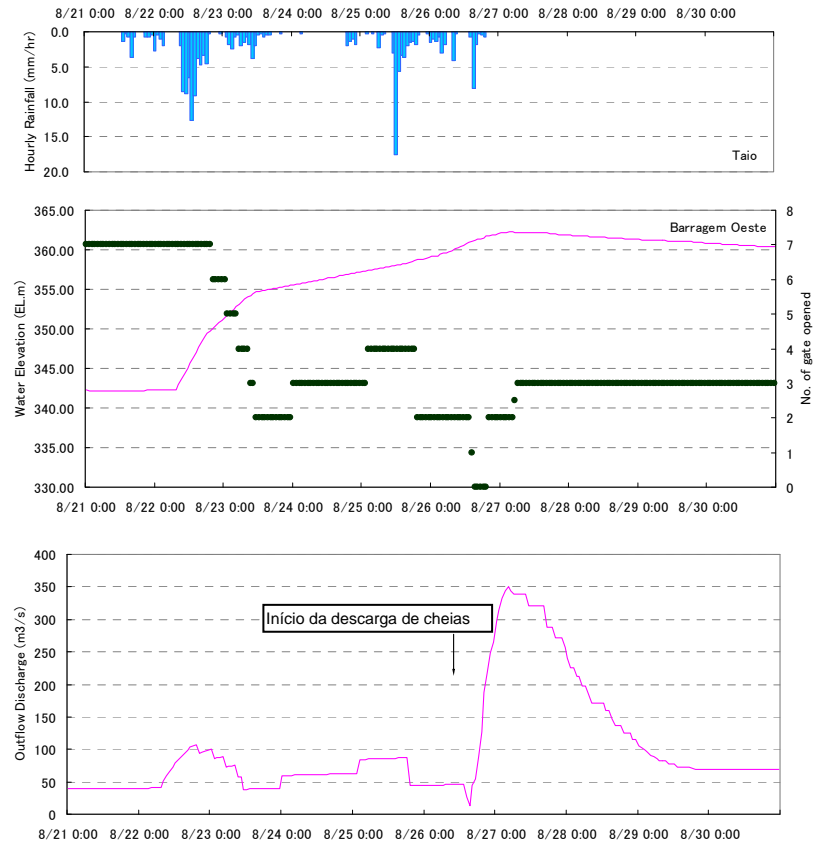
Figura - 6.3.10 - Vazões na inundação de 2010

Na Figura 6.3.11 indica-se as situações operacionais das barragens Oeste e Sul na enchente de 2010.

A Barragem Oeste iniciou o fechamento das comportas no dia 22, na primeira metade da enchente, e no dia 23 fechou as 5 comportas, mantendo outras 2 abertas. Com o posterior enfraquecimento da chuva, tornou a abrir as comportas, deixando 4 comportas abertas no dia 25. Contudo, com o reinício de precipitações mais fortes, fechou todas as comportas na metade do dia 26. Conseqüentemente, o reservatório começou a encher na tarde do dia 26, iniciando-se o transbordamento. A vazão de transbordamento atingiu o valor máximo na manhã do dia 27, mas neste momento a chuva já havia cessado.

Por outro lado, a Barragem Sul começou a fechar as comportas no dia 25 à tarde, fechando-as totalmente no dia 27. Contudo, o nível fluviométrico máximo atingiu a cota EL. 396,1m, restando aproximadamente 3m até a cota de transbordamento (EL. 399m).

Em ambas as operações não foram seguidos os manuais de operação das barragem citados no capítulo 3.2.



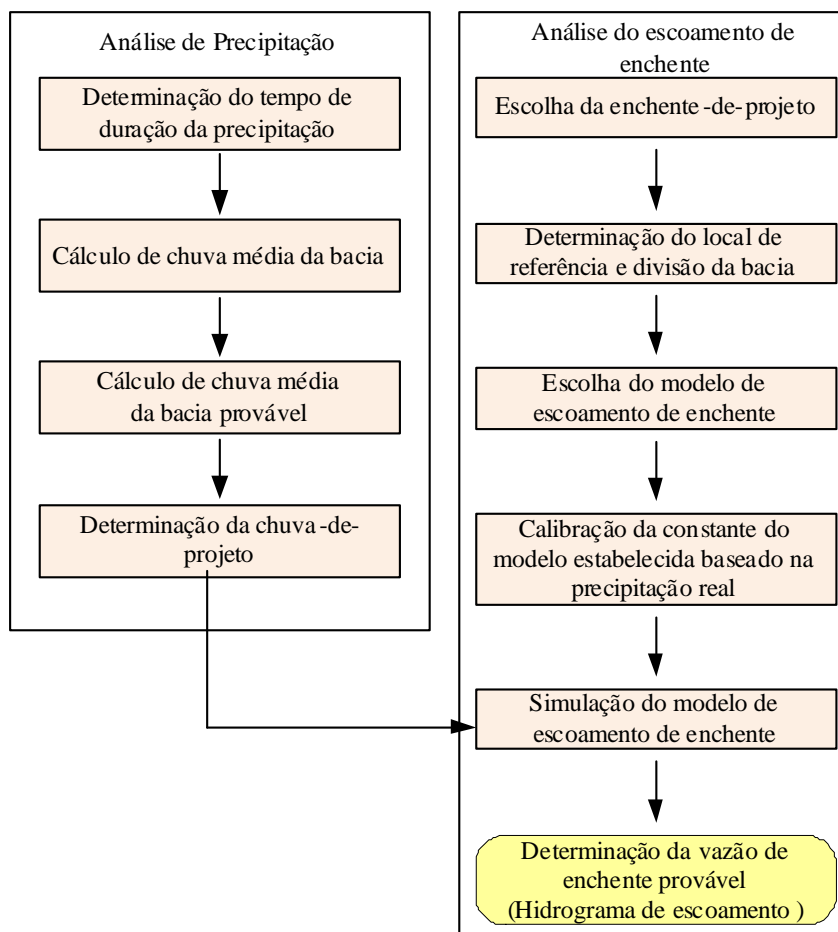
Fonte: obtidos através de Home Page do município de Rio do Oeste e do município de Rio do Sul (os dados originais são da DEINFRA); volume de descarga calculado pela Comissão JICA.

Figura 6.3.11 Situações operacionais das Barragens Oeste e Sul na inundação de 2010

CAPÍTULO 7 ANÁLISE DE ESCOAMENTO DE ENCHENTES

7.1 Síntese

Conforme será explicado mais adiante no capítulo 5 há dificuldades para definir o grau de segurança contra enchentes, que é uma medida da adequação do planejamento; assim, foram calculadas as vazões da enchente de projeto para 5, 10, 25 e 50 anos de tempo retorno. A vazão da enchente de projeto será calculada através da análise de escoamento baseada na chuva de projeto; ilustrado na figura abaixo o fluxo dessa análise.



Fonte: Equipe de Estudos JICA

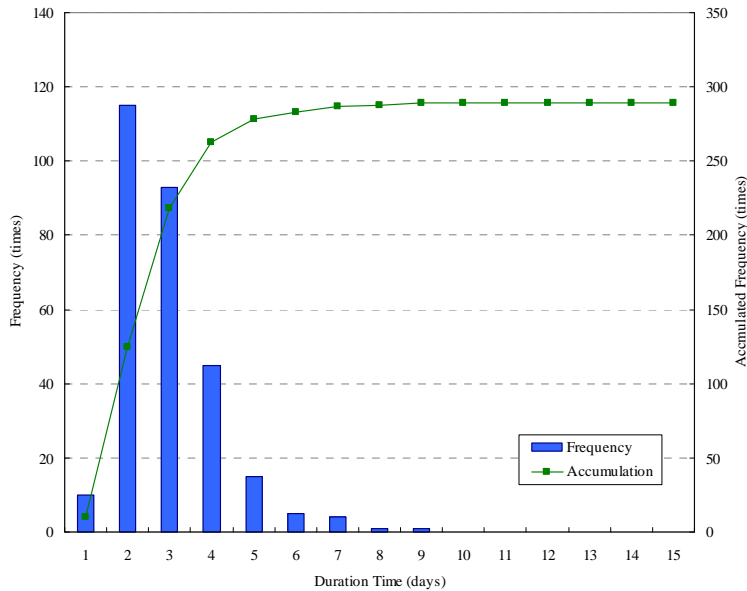
Figura – 7.1.1 - Fluxograma de cálculo da vazão de enchente

7.2 Análise da precipitação e da chuva de projeto

7.2.1 Tempo de duração

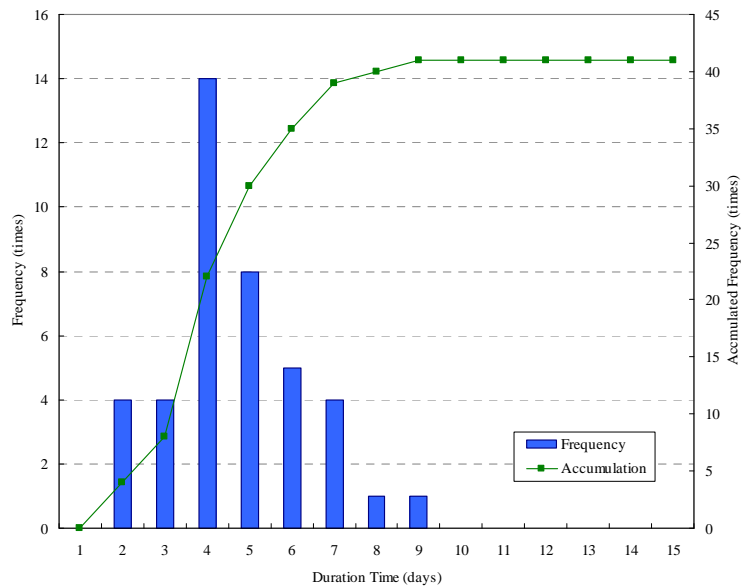
Para calcular a chuva de projeto deverão ser levados em consideração: o tamanho da bacia, a característica da precipitação e a forma de escoamento de enchente, a fim de determinar o tempo de duração da chuva de projeto. Há casos em que o tempo de duração da chuva é indicado em “horas”, porém, no caso da Bacia do Rio Itajaí, o tempo de duração da chuva durante a enchente (tempo em que a enchente chega a jusante) é maior do que 1 dia; como os dados pluviométricos diários são mais consistentes (somente parte dos dados registrados são índices horários), considerou-se a unidade de tempo como sendo diária.

As figuras 7.2.1 e 7.2.2 ilustram a distribuição de frequência da duração de precipitação total maiores do que 50 mm e 100 mm, respectivamente. O tempo de precipitação total maior do que 50 mm é de 4 dias, no máximo. O tempo de duração da precipitação total maior do que 100 mm é de 5 a 6 dias, no máximo, mas a maior frequência corresponde a 4 dias. Portanto, estabeleceu-se o tempo de duração da chuva de projeto como sendo 4 dias.



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura – 7.2.1 - Fluxograma de cálculo da vazão de enchente



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura – 7.2.2 - Distribuição de frequência de duração de precipitação total maior do que 100 mm

7.2.2 Cálculo de precipitação média da bacia

Para determinar a chuva de projeto (precipitação de 4 dias) inicialmente calculou-se a chuva média da bacia utilizando os dados de precipitações diárias registrados nas estações pluviométricas da Bacia do Rio Itajaí. A metodologia de cálculo é descrita abaixo.

- Utilizou-se os dados diários de precipitação registrados pela ANA como base de cálculo, por serem mais consistentes, selecionando os dados das estações com registros mais consistentes do ano de 1950 em diante.
- Na determinação da chuva média da bacia foi utilizado o método de Thiessen. As estações que não dispunham de registros diários foram desprezadas no cálculo (portanto, quando a medição diária é desprezada a ponderação do coeficiente de Thiessen se altera).

Para identificar a tendência da chuva calculou-se a precipitação média de toda a Bacia do Rio Itajaí e a precipitação média de cada sub-bacia dos principais rios tributários - Mapa de localização das estações pluviométricas da ANA).

7.2.3 Determinação da chuva de projeto

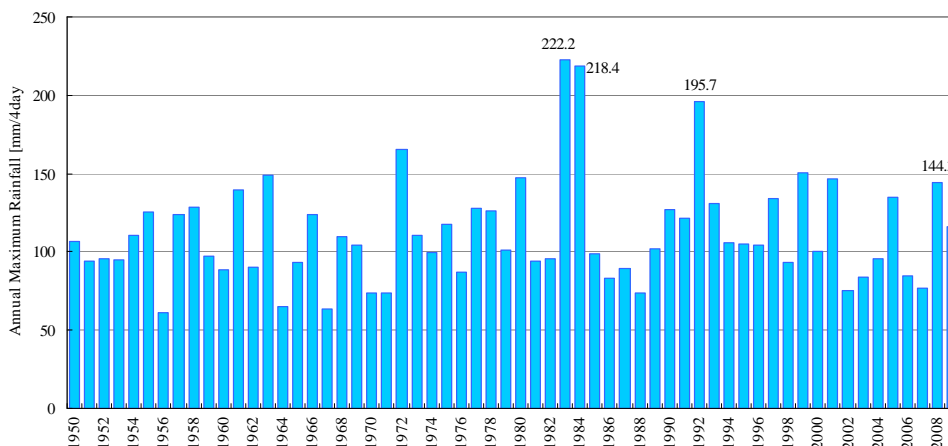
A chuva de projeto foi determinada com base nos maiores índices de precipitação de 4 dias desde 1950. Além disso, ela foi calculada de acordo com a diretriz abaixo para toda a bacia e para cada sub-bacia dos principais rios tributários.

- Como modelo de distribuição, foram consideradas a distribuição de valor extremo (distribuição de Gumbel), que tem alto grau de compatibilidade com o fenômeno hidrológico de curto prazo, além de suas variantes, distribuição de valor extremo genérico e (GEV) e distribuição exponencial de valor máximo (SQRT-ET).
- Utilizou-se o SLSC como indicador mais compatível e a estimativa de erro padrão do Jackknife como indicador de estabilidade, onde o SLSC é menor do que 0.04 dentro da distribuição, adotando o modelo de distribuição que minimiza erro de jackknife.

(1) Chuva de projeto para toda a Bacia do Rio Itajaí

a) Precipitação média da bacia

A partir da precipitação média de toda a Bacia do Rio Itajaí determinada pelo método de Thiessen, extraiu-se a chuva máxima de 4 dias para cada ano. Conforme ilustrado na Figura 7.2.3, a maior chuva de 4 dias foi no ano de 1983, com índice de 222,2 mm; o índice de 1984, com 218,4 mm, foi o segundo maior e o do ano de 1992 foi 195,7 mm. Na enchente de novembro de 2008, que causou graves danos, a precipitação se concentrou em algumas regiões; portanto, o índice médio de toda a bacia foi 144,3 mm, que é considerada enchente de porte médio.



Fonte: Equipe de estudos da JICA (Baseado nos dados da estação da ANA)

Figura – 7.2.3 - Chuva diária máxima de cada ano de toda a Bacia do Rio Itajaí (1950 - 2009)

b) Chuva de projeto

A chuva média de toda a Bacia do Rio Itajaí está em conformidade com a distribuição exponencial de valor máximo (valor extremo). A chuva de projeto de cinco anos de retorno é 134,7 mm; a de 10 anos de retorno é 156,3 mm; a de 25 anos de retorno é 178,5 mm e a de 50 anos de retorno é 209,2 mm. As enchentes de 1983 e de 1984 equivalem à enchente de 50 a 80 anos de retorno; a de 1992 equivale à enchente de 30 anos de retorno. A enchente de 2008, considerando-se toda a bacia, equivale ao porte de 5 a 10 anos de retorno.

Tabela – 7.2.1 - Resultado do cálculo da chuva de projeto para toda a Bacia do Rio Itajaí

Toda Bacia									
Função de distribuição de probabilidade	Distribuição exponencial	Distribuição de Gumbel	Distribuição máxima quadrada exponencial	Distribuição genérica de valores extremos	Distribuição de Pearson tipo III	Distribuição log-normal parâmetro 3	Distribuição log-normal parâmetro 3	Distribuição log-normal parâmetro 2	
Estimação de parâmetros	Método momento L	Método momento L	Máxima verossimilhança	Método momento L	Método momento L	Método Iwai	Método Ishihara/Takase	Método momento L	
Abreviação	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LogP3	Iwai	Ishitaka	LN2LM	
Valor hidrológico provável (estimação de parâmetros em todas as amostras)	1/2	100.8	106.3	104.8	105.1	105.2	—	—	—
	1/3	115.2	120	118.5	118.4	118.8	—	—	—
	1/5	133.2	135.2	134.7	133.9	134.3	—	—	—
	1/10	157.7	154.3	156.3	154.2	154.6	—	—	—
	1/20	182.2	172.7	178.5	174.6	174.8	—	—	—
	1/30	196.5	183.2	191.9	186.8	186.7	—	—	—
	1/50	214.6	196.4	209.2	202.6	202.1	—	—	—
	1/80	231.2	208.5	225.7	217.4	216.7	—	—	—
	1/100	239.1	214.2	233.7	224.7	223.8	—	—	—
	1/150	253.4	224.6	248.5	238	236.8	—	—	—
1/200	263.6	232	259.3	247.7	246.3	—	—	—	
Coefficiente de correlação	0.942	0.996	0.996	0.997	0.996	—	—	—	—
SLSC	0.04	0.035	0.026	0.027	0.025	—	—	—	—
Método Jackknife 1/50	Valor estimado	214.6	196.4	210.5	202.5	201.6	—	—	—
	Erro estimado	16.8	14.4	14.1	21.9	20.3	—	—	—
Método aplicado			?						

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

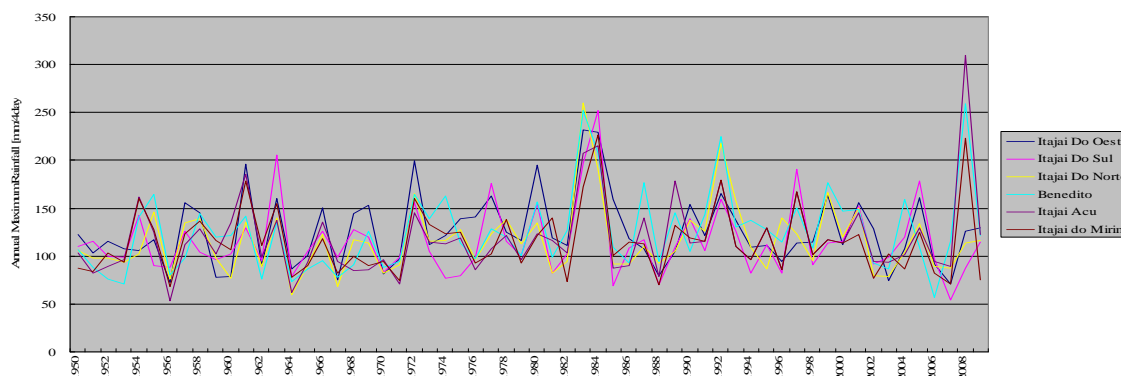
(2) Chuva de projeto dos rios tributários

a) Chuva média da bacia

A figura 7.2.4 e Tabela 7.2.2 ilustram a chuva média de cada sub-bacia dos rios tributários.

Nas grandes enchentes de 1983, 1984 e 1992 as precipitações máximas de quatro dias ocorreram no mesmo período. Por outro lado, na enchente de 2008, nas bacias de Rio Itajaí-Açu, sub-bacias do Rio Benedito e no Rio Itajaí Mirim, a maior enchente ocorreu no mês de novembro; no Alto Vale, o índice de precipitação foi baixo e a chuva de 4 dias ocorreu em diferentes períodos.

Nas enchentes de 1983 e 1984 o índice de precipitação foi em torno de 200/250 mm em toda a bacia, porém, em 2008, ocorreram chuvas com diferentes índices em toda a bacia; na maior bacia, a do Rio Itajaí-Açu, o índice foi maior do que 300 mm.



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura – 7.2.4 - Precipitação média na bacia nos principais rios tributários (1950 – 2009)

Tabela – 7.2.2 - Precipitação média em cada sub-bacia dos afluentes (1950 – 2009)

	Itajaí Do Oeste		Itajaí Do Sul		Itajaí Do Norte		Benedito		Itajaí Açu		Itajaí do Mirim	
1950	3/1	122.9	3/1	110.6	3/1	105.8	3/1	106.8	3/1	103.3	3/1	87.1
1951	10/15	102.9	10/14	115.2	10/15	98.1	10/15	88.4	10/18	82.6	10/15	84.1
1952	1/23	115.3	1/23	99.8	9/3	97.9	9/2	76.3	1/23	89.7	1/23	103.5
1953	10/28	108.0	10/28	98.7	10/28	93.3	11/11	70.8	10/28	96.6	10/28	93.5
1954	10/19	105.5	10/18	142.7	10/19	102.5	3/31	140.5	3/31	161.7	3/31	159.9
1955	5/17	117.3	7/4	90.4	5/17	145.8	5/17	164.8	5/17	124.8	5/17	127.6
1956	1/16	72.2	1/29	88.7	1/22	76.1	1/21	80.7	5/5	53.5	9/18	68.3
1957	8/16	155.8	7/30	125.7	8/16	135.1	8/16	97.6	8/16	112.2	7/30	123.2
1958	3/14	145.2	8/6	104.2	3/13	139.3	2/18	143.9	3/13	128.8	3/13	136.6
1959	2/20	78.0	4/23	96.3	8/30	97.6	8/30	119.6	8/30	102.5	8/30	116.6
1960	11/10	78.6	7/31	102.1	7/31	76.7	11/26	121.5	11/27	134.6	1/31	106.7
1961	9/9	196.3	10/31	129.5	9/9	135.5	10/31	141.6	10/31	185.5	10/31	178.2
1962	9/19	90.0	9/17	95.2	9/19	89.6	9/19	76.0	9/19	99.1	9/18	111.4
1963	9/26	160.5	9/25	205.7	9/26	140.3	9/26	135.4	9/26	137.6	9/26	155.3
1964	1/31	86.6	4/28	78.5	2/16	59.3	4/28	73.4	4/28	61.9	4/28	78.0
1965	8/18	100.8	8/17	104.7	8/18	91.3	8/18	86.6	4/28	93.7	8/18	90.4
1966	2/9	150.8	2/12	126.0	2/9	122.1	2/9	95.6	2/9	135.7	2/9	118.0
1967	8/21	75.2	9/20	98.5	2/23	67.8	2/10	77.5	2/23	94.7	2/10	82.1
1968	12/21	144.0	12/22	128.1	12/22	117.5	10/27	91.2	12/22	84.9	12/22	100.1
1969	2/16	153.2	2/16	120.2	2/17	114.1	11/13	126.3	2/27	85.8	6/15	90.5
1970	12/10	81.6	1/1	83.0	12/24	81.9	12/22	88.7	1/1	96.1	2/2	94.4
1971	1/9	97.0	7/2	99.3	6/5	90.7	10/10	94.3	5/5	70.9	5/5	74.2
1972	8/25	199.5	8/25	155.8	8/25	165.5	8/25	164.3	8/25	144.8	8/25	159.9
1973	8/11	111.6	7/19	105.1	8/26	115.4	8/25	139.5	8/26	114.8	7/19	132.7
1974	2/17	121.2	8/31	77.0	7/22	116.2	7/22	162.5	7/21	113.1	3/21	123.2
1975	9/30	139.2	9/30	79.9	9/30	127.6	9/30	113.4	9/30	119.2	1/6	125.1
1976	11/29	141.0	11/29	98.2	11/29	96.3	5/26	96.7	5/25	85.9	5/26	92.4
1977	8/15	163.1	8/15	175.9	8/15	123.3	1/17	128.5	8/15	107.6	8/15	102.2
1978	12/25	124.9	12/23	115.9	12/25	138.3	12/23	120.3	12/23	121.8	12/23	138.1
1979	5/7	116.1	5/7	100.7	5/7	112.7	10/6	100.8	4/3	96.3	5/7	92.9
1980	12/19	195.4	12/19	155.3	12/19	135.2	12/19	156.8	12/19	123.1	12/19	121.4
1981	12/20	118.7	12/20	81.9	12/21	81.8	3/27	99.2	10/27	116.5	10/27	140.1
1982	11/3	111.2	11/3	102.4	11/3	94.1	2/4	127.0	2/2	103.4	10/5	73.3
1983	7/6	231.6	7/7	197.3	7/6	260.0	7/6	252.0	7/6	207.4	7/6	172.4
1984	8/5	229.0	8/5	251.6	8/5	191.0	8/5	207.8	8/5	215.2	8/5	226.8
1985	2/12	158.8	2/12	69.2	2/13	92.2	4/5	109.4	2/12	87.9	11/20	100.2
1986	11/3	118.0	11/3	108.4	4/4	92.0	9/18	93.0	9/19	90.4	10/9	114.6
1987	1/11	107.8	5/12	117.2	6/13	109.9	2/13	176.4	2/14	140.3	2/14	113.1
1988	5/21	80.0	9/20	69.8	5/21	93.0	5/21	94.7	9/19	79.1	9/20	69.6
1989	5/3	105.2	5/3	109.0	9/11	105.1	1/4	145.0	1/5	178.7	1/6	132.2
1990	5/30	154.1	2/10	139.2	5/29	137.0	7/18	105.4	7/18	113.4	5/30	118.8
1991	6/20	121.6	6/20	106.1	6/20	126.1	6/20	143.8	1/23	115.2	1/23	115.2
1992	5/27	165.5	5/28	159.3	5/28	217.8	5/28	224.8	5/28	179.7	5/28	179.7
1993	9/21	137.8	7/2	126.0	9/21	157.6	9/21	130.2	9/21	110.2	9/21	110.2
1994	5/10	109.6	6/19	82.1	5/10	108.9	5/10	137.3	5/10	96.4	5/10	96.4
1995	1/10	110.8	1/10	111.7	1/10	86.6	7/5	127.8	1/7	129.7	1/7	129.7
1996	6/17	94.6	1/14	81.9	6/17	140.3	6/17	114.5	6/17	85.5	6/17	85.5
1997	1/30	113.7	1/30	191.1	10/6	123.3	1/20	150.3	1/31	167.2	1/31	167.2
1998	4/26	115.0	4/27	90.8	1/31	95.5	8/13	108.3	4/26	101.7	4/26	101.7
1999	7/2	163.4	7/2	113.4	7/2	166.2	7/2	176.5	7/2	117.5	7/2	117.5
2000	9/12	112.1	9/12	115.4	9/12	119.9	2/14	146.8	2/14	113.4	2/14	113.4
2001	9/28	156.1	9/29	152.0	9/29	150.9	9/29	148.6	9/29	145.2	9/29	122.5
2002	11/27	128.6	4/18	91.5	7/31	79.5	7/31	92.9	1/10	94.6	4/1	76.6
2003	12/12	74.5	12/12	99.2	12/11	78.9	12/12	86.6	3/2	93.8	12/12	102.5
2004	9/12	107.8	9/12	119.7	10/22	104.3	10/22	159.1	10/23	101.5	9/12	86.5
2005	5/18	160.8	5/18	178.2	5/18	134.1	8/30	109.8	5/18	129.4	8/30	125.1
2006	11/18	92.2	1/23	97.3	11/17	89.1	9/30	57.1	11/18	94.4	11/18	82.1
2007	11/1	71.1	11/1	54.3	12/5	87.2	12/4	115.5	11/2	89.0	11/1	70.7
2008	10/16	126.4	10/16	87.7	10/15	113.6	11/21	258.7	11/21	309.3	11/21	222.7
2009	9/28	129.3	9/28	114.2	9/28	116.3	9/28	121.8	9/28	122.3	4/23	75.0

Fonte Equipe de Estudos da JICA

b) Chuva de projeto

A tabela -7.2.3 ilustra a chuva de projeto no Rio Itajaí-Açu e seus afluentes.

- A chuva de projeto é relativamente grande na Bacia do Itajaí Oeste, Bacia Benedito e Bacia do Itajaí-Açu.
- Os volumes de chuvas nas Bacias do Itajaí do Sul e Itajaí Mirim, que estão localizadas na região sul, e na Bacia do Itajaí Norte, são relativamente pequenos.
- A chuva de projeto de toda a bacia é relativamente pequena, pois as chuvas fortes

localizadas são compensadas e se nivelam para menor.

Tabela – 7.2.3 - Chuva de projeto do Rio Itajaí e seus afluentes

	1/5	1/10	1/20	1/25	1/50
Total da Bacia	134.7	156.3	178.5	187.7	209.2
Itajaí do Oeste	153.1	175.2	196.3	201.7	223.8
Itajaí do Sul	140.8	161.4	181.1	186.1	206.7
Itajaí do Norte	140.4	160.3	179.3	184.1	204
Benedito	154.8	179	202.3	208.1	232.4
Itajaí-açu	144.1	168.9	194.4	205.2	229.9
Itajaí Mirim	140.1	160.5	179.9	184.8	205.2

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

7.3 Escolha da enchente de projeto

A enchente que será utilizada para a avaliação do plano de enchente (baseado no tempo de recorrência) será escolhida do grupo de enchentes obtidas do cálculo de escoamento utilizando o hietograma da precipitação real estendido para a chuva de projeto. Com a finalidade de formular medidas de prevenção de enchentes para diferentes modalidades de chuvas (diferentes hietogramas) o ideal seria escolher vários tipos de enchentes.

Neste Plano Diretor formulou-se o plano para cinco anos de retorno (volume médio de chuva de quatro dias de toda a Bacia = 135 mm) até para 50 anos de retorno (volume médio de chuva de quatro dias de toda a Bacia = 209 mm); portanto, considerou-se a precipitação de quatro dias entre 130 mm a 220 mm. A tabela 7.3.1 abaixo ilustra a enchente extraída; os dados horários de chuvas disponíveis necessários para a análise de escoamentos são referentes a seis enchentes do passado (dos anos de 1972, 1980, 1983, 1984, 2005 e 2010); assim, tomou-se como base essas seis enchentes para escolher o índice de precipitação. Em relação às enchentes de 1984 e 2010, existem dados de chuvas e vazões horárias medidas em diversas estações; portanto, elas serão utilizadas na elaboração do modelo de análise de escoamento (calibração do modelo chuva-vazão: HEC-HMS).

Tabela – 7.3.1 – Enchentes para efeito do estudo

Data ocorrência da Enchente	Volume chuva de 4 dias (média de toda a bacia)	Escolha	Escolha da enchente / razão de eliminação
31/10/1961	139,3 mm		Não há registro de dados horários de chuva/vazão
26/09/1963	149,0 mm		Não há registro de dados horários de chuva/vazão
25/08/1972	165,7 mm	○	Há registros horários de chuvas (1 estação)
19/12/1980	147,3 mm	○	Há registros horários de chuvas (2 estações)
06/07/1983	222,8 mm	○	Há registros horários de chuvas (2 estações)
05/08/1984	218,4 mm	○○	Dados de vazão e chuvas horários são substanciais
28/05/1992	195,7 mm		Não há registro de dados horários de chuva
31/01/1997	133,7 mm		Não há registro de dados horários de chuva
02/07/1999	150,3 mm		Não há registro de dados horários de chuva/vazão
29/09/2001	146,8 mm		Há registro de dados horários de chuvas
18/05/2005	144,3 mm	○	Há somente registros horários de chuvas (8 estações)
21/11/2008	135,1 mm		A precipitação é extremamente tendenciosa na bacia
23/04/2010	130,3 mm	○○	Dados de vazão e precipitação horária estão completos

○○: Escolhido para calibração da análise de escoamento e plano de enchentes ○ Escolhido para plano de enchentes
Fonte: Equipe de estudos da JICA

7.4 Modelo de análise e calibração

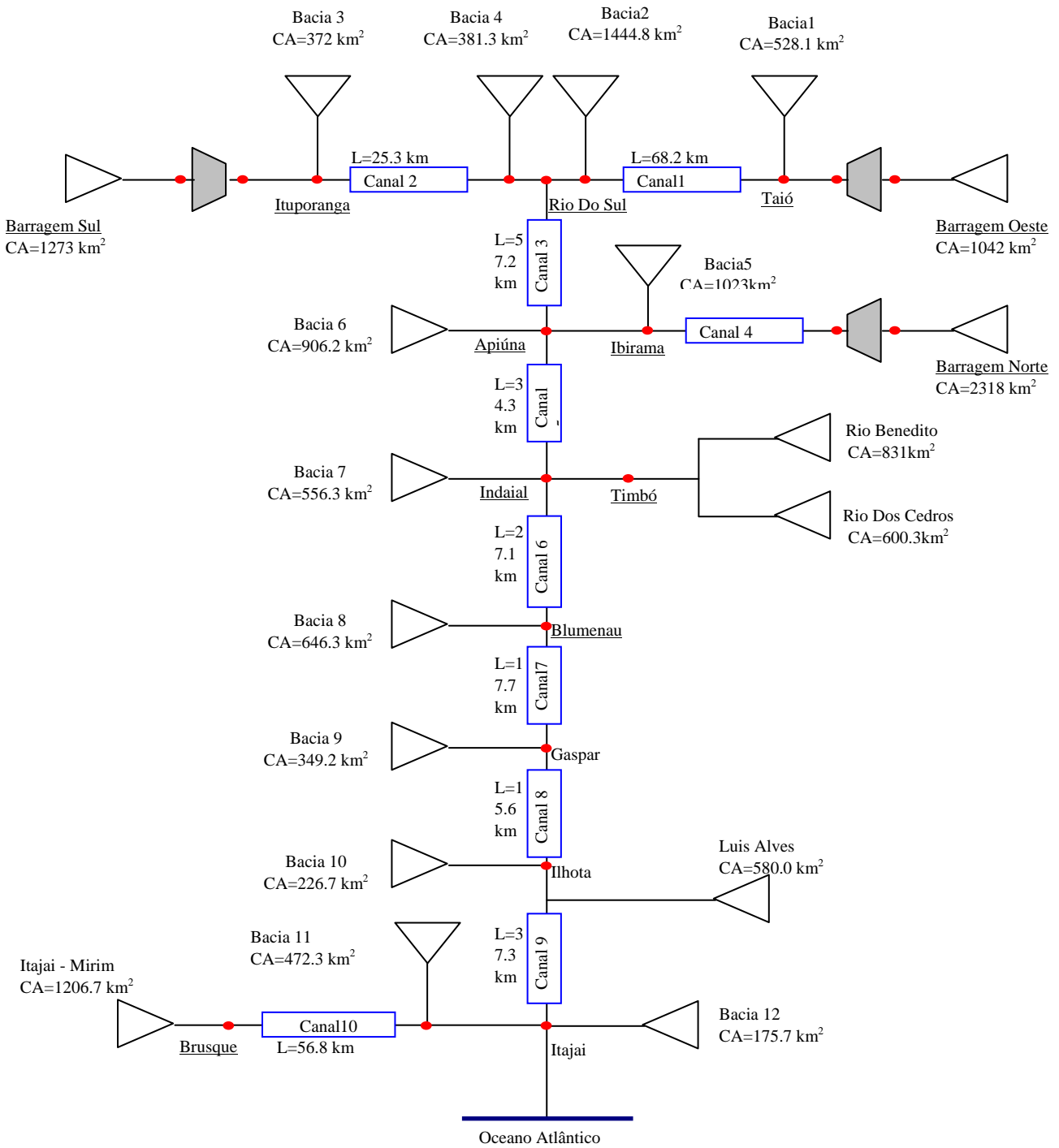
7.4.1 Divisão da Bacia

O modelo de divisão da bacia para efeito da análise de escoamento, conforme ilustrado na Tabela 7.4.1. abaixo, foi elaborado levando em consideração: i) principais afluentes e ii) determinação do lugar necessário ou da seção transversal para o cálculo da vazão. Os trechos entre esses lugares determinados foram conectados ao modelo de canal. Na Figura 7.4.1 está ilustrada a divisão da Bacia do Rio Itajaí (modelo de escoamento).

Tabela – 7.4.1 - Principais afluentes e seção de cálculo da vazão considerados na divisão da bacia

Nome do rio tributário	Nome do lugar	Área da Bacia (km ²)	Distância de foz / encontro dos rios (km ²)	Motivo da escolha do lugar (seção) para cálculo da vazão
C.A=3.014,9 km ²	Barragem Oeste	1.042,0	81,4	Volume de contenção e descarga, e plano de reforma da barragem
	Taio	1.570,1	68,2	Medidas contra enchentes de Taio: calibração com os valores de medição
	Antes do encontro com Rio principal	3.014,9	0,0	Medidas contra enchentes da cidade de Rio do Sul (antes do encontro dos Rios)
Itajaí do Sul C.A=2.026,7 km ²	Barragem Sul	1.273,0	43,4	Volume de contenção e descarga, e plano de reforma da barragem.
	Ituporanga	1.645,4	25,3	Calibragem com os valores de medição (o problema de enchentes é insignificante)
	Antes do encontro com Rio principal	2.026,7	0,0	Medidas contra enchentes da cidade de Rio do Sul (antes do encontro dos Rios)
Itajaí do Norte C.A=3.353,8 km ²	Barragem Norte	2.318,0	48,1	Volume de contenção e descarga da barragem (não há necessidade de reforma)
	Ibirama	3.341,0	4,0	Calibragem com os valores de medição (o problema de enchente é insignificante)
Rio Benedito Rio Dos Cedros C.A=1.500,3 km ²	Antes do encontro com Rio principal	831,1 600,3	0,0 0,0	Medidas de enchentes da cidade de Timbó (antes do encontro dos Rios)
	Timbó	1.431,3	10,5	Cidade de
Luis Alves C.A=580,0km ²	Antes do encontro com Rio Principal	580,0	0,0	Há possibilidade de avaliar lagos de retardamento como medida contra enchentes da cidade de Itajaí
Itajaí Mirim 1,678.9 km ²	Brusque	1.206,6	56,8	Calibragem com os valores de medição (o problema de enchentes é insignificante)
	Antes do encontro com Rio principal	1.678,9	0,0	Medidas contra enchentes da cidade de Itajaí (Inundação do Rio Itajaí Mirim)
Itajaí-Açu C.A=14,933.2 km ² (Toda a Bacia, incluindo as bacias dos rios tributários)	Rio do Sul	5.041,6	189,2	Calibragem com os valores de medição e medidas de enchentes de Rio do Sul
	Apiúna	9.288,8	132,0	Calibragem com os valores de medição (o problema de enchentes é insignificante)
	Indaial	11.276,4	97,7	Calibragem com os valores de medição (o problema de enchentes é insignificante)
	Blumenau	11.922,7	70,6	Calibragem com os valores de medição e medidas de enchentes de Blumenau
	Gaspar	12.271,9	52,9	Medidas de enchentes de Gaspar
	Ilhota	12.498,6	37,3	Medidas contra enchentes de Ilhota: há possibilidade de avaliar planície de retardamento e outras medidas para prevenção de enchentes de Itajaí
	Itajaí	14.933,2	0,0	Medidas de prevenção contra enchentes de Itajaí

Fonte: Equipe de Estudos da JICA



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura – 7.4.1 - Divisão da Bacia do Rio Itajaí (modelo de análise de escoamentos)

7.4.2 Metodologia de análise

a) Software utilizado na análise

O software utilizado na análise do escoamento, pela sua versatilidade, foi o programa HEC-HMS de análise de escoamento, pertencente à família HEC, que foi desenvolvido pelo Exército Americano e é amplamente utilizado no Brasil.

b) Determinação da chuva efetiva.

A altura pluviométrica efetiva é a altura total das águas das chuvas, descontadas as perdas causadas pela infiltração, evapo-transpiração, etc. A altura de perdas das águas de chuva será subdividida em taxa de perda inicial e a taxa de perda constante. Portanto, a altura de chuva com a perda inicial (I_a) não é considerada diretamente no escoamento; a partir do momento que o volume ultrapassar o I_a , haverá perda constante (f_c), de hora em hora, descontada da altura pluviométrica (p_t),

$$pe_t = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum p_i < I_a \\ p_t - f_c & \text{if } \sum p_i > I_a \text{ and } p_t > f_c \\ 0 & \text{if } \sum p_i > I_a \text{ and } p_t < f_c \end{cases}$$

Perda inicial I_a (Initial Loss) :

De acordo com os dados históricos, o valor da perda inicial foi adotado conforme o quadro abaixo.

Tabela – 7.4.2 - Perda inicial I_a

Perda de Superfície		
Perda inicial (Área agrícola)		
Cultivo	Altura Pie	Intercepção polegada
Milho	6	0,03
Algodão	4	0,33
Tabaco	4	0,07
Cereais	3	0,16
Pastagem	1	0,08
Alfafa	1	0,11
desde Linsley, Kohler, and Paulhus 1975)		
Área Floresta (desde Viessman et al. 1977)		
10-20% total de precipitação, máxima 0.5 polegada		
Armazenamento de Detenção (desde Horton 1935)		
Área agrícola (Depende de tempo de arado)		0,5 – 1,5
Florestas/Pastagens		0,5 – 1,5 polegada
Perda Total Superficial		
Área Urbana		0,1 – 0,5 polegada
Área Aberta		
Área Impermeável		0,1 – 0,2 polegada

Fonte: EM 1110-2-1417 Engineering and Design - Flood-Runoff Analysis

A maior parte da área da Bacia do Itajaí é coberta de florestas, pastagens e agricultura, sendo a área urbana uma parte insignificante. A quantidade de perdas iniciais nas áreas de agricultura, florestas e de pastagens, de acordo com Detention Storage (from Horton, 1935), do quadro acima, é 0,5 a 1,5 polegadas (12,7 a 38,1mm); adicionalmente, conforme valor para Forest Área (conforme Viessman et al., 1977), também do quadro acima, ela é definida como sendo 10 a 20% da altura total de chuva (máximo 0.5 polegada=12.7mm), existindo diferentes versões dentre os pesquisadores. Na presente

análise definiu-se a perda inicial como sendo 20 mm, baseado na informação acima, e ajustou-se posteriormente através da calibração com as enchentes reais, de acordo com a necessidade.

Taxa de perdas constantes f_c (Constant Loss Rate)

De acordo com os dados históricos, o valor da taxa de perda constante foi proposto, conforme a Tabela 7.4.3 abaixo.

Tabela – 7.4.3 - Grupo de solos SCS e taxa de infiltração (perda) (SCS, 1986; Skaggs and Khaleel, 1982)

Grupo de Solos	Descrição	Faixa da taxa de perda (polegada/h)
A	Areia profunda, perda profunda, lama agregado	0,30-0,45
B	Perda moderada, lama arenosa	0,15-0,30
C	Argila, lama moderadamente arenosa, solos de conteúdo orgânico, e solo em alto conteúdo de argila	0,05-0,15
D	Solo altamente úmido, argila pesada e solo de salinidade	0,00-0,05

Fonte: SCS, 1986; Skaggs and Khaleel, 1982

Nas regiões de montanhas da bacia do Itajaí, existem pedras, lama e rochas metamórficas derivadas de areia fina, as quais estão distribuídas em camadas relativamente espessas em toda a região. Além disso, os depósitos aluviais a jusante são argilas que foram transportadas de montante e estão sedimentadas em camadas grossas.

Portanto, o valor da perda constante corresponde ao grupo de solo (Soil Group) B ou C do quadro acima, próximo ao valor 0,15 polegada/m³.(8mm/h); ou corresponde ao grupo de solo D, com o valor 0,05 polegada/h (1,27 mm/h), supondo que o terreno esteja em estado bem úmido. Neste estudo, a perda constante foi definida como sendo 2,0 mm/h, pela análise da tabela acima; o ajuste foi feito através da calibração com a enchente real, de acordo com a necessidade. Além da perda acima, estimou-se a taxa de área impermeável em 5%.

c) Modelo de escoamento direto

Para o modelo de escoamento direto foi utilizado o método do hidrograma unitário de Snyder (Snyder's UH Model).

O método de Snyder é um método que elabora o hidrograma da unidade de precipitação efetiva x duração normal TR, baseado nos elementos: pico da vazão, comprimento básico e tempo de atraso.

A duração normal da precipitação efetiva é estabelecida de acordo com a fórmula abaixo de tempo de atraso.

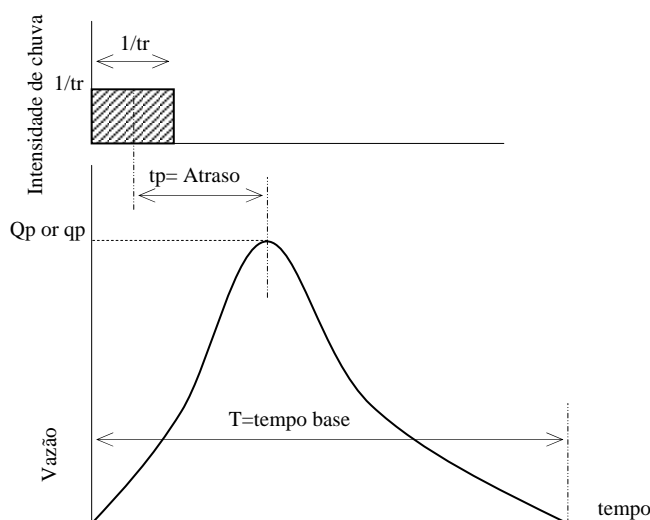
$$t_r = \frac{t_p}{5.5}$$

Além disso, o tempo de atraso t_p , pico da vazão (vazão comparada q_p) e comprimento básico t_b são obtidos conforme abaixo.

$$t_p = C \cdot C_t (L \cdot L_c)^{0.3}$$

$$q_p = \frac{C \cdot C_p}{t_p}$$

$$t_b = 3 + \frac{t_p}{8}$$



L é o comprimento da saída da bacia até a margem do rio principal; Lc é o comprimento da saída da bacia até o ponto mais próximo do centróide da bacia; a unidade do fator de conversão C é 0,75 na Unidade SI, isto é, 1,0 no sistema de unidades inglesas. Além disso, o parâmetro Ct será obtido através de calibragem, mas em geral utiliza-se um valor entre 1,8 e 2,0.

O fator de conversão C relacionado com o pico da vazão é 2,75 na unidade SI e 640 em unidades inglesas. O coeficiente de pico Cp será obtido através da calibragem, mas em geral este valor está entre 0,4 e 0,8. Os parâmetros definidos na calibragem são Ct e Cp. Na presente análise, adotou-se o valor inicial: Ct=1,9 e Cp=0,6; sendo esses valores ajustados através da calibração com a enchente real, de acordo com a necessidade.

Porém, a duração da chuva tR para qualquer outro momento da duração normal tr será obtida pela equação de tempo de atraso tpR, pico comparado de vazão qpR e comprimento básico tbR.

$$t_{pR} = t_p + 0.25(t_R - t_r)$$

$$q_{pR} = \frac{640C_p}{t_{pR}}$$

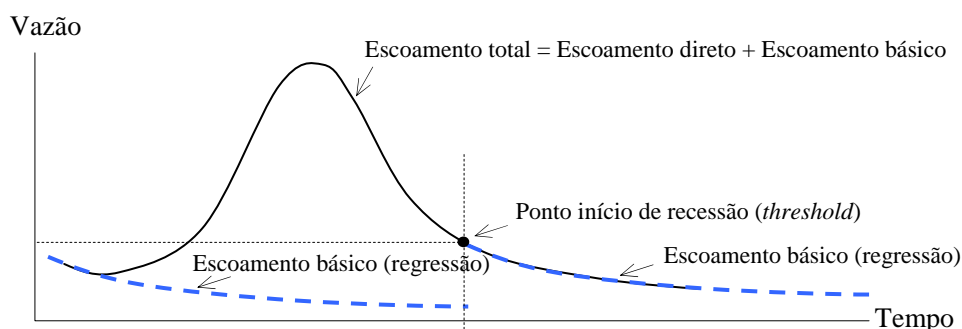
$$t_{bR} = 3 + \frac{t_{pR}}{8}$$

d) Estabelecimento do volume de escoamento básico.

Para o volume de escoamento básico utilizou-se o modelo de regressão exponencial (Exponential Regression Model) e calculou-se o valor inicial da vazão Q0 (Initial baseflow) e a taxa de regressão k através da equação abaixo:

$$Q_t = Q_0 k^t$$

Como o escoamento básico deverá ser definido antes e depois da enchente, em ambas as situações deverão ser estabelecidos o início (threshold) após o pico de enchente e, quando a vazão da enchente se reduzir até o ponto de recessão (threshold), efetuar a regressão exponencial, de forma similar ao escoamento básico inicial. O valor inicial (threshold) será representado pelo pico da vazão (ratio-to-peak).



Vazão inicial: Q0

A vazão inicial Q0 é diferente para cada enchente (sazonalidade ou proximidade das enchentes); na enchente de 2010 foi 0~1m³/s/100 km² (porém, em Timbó foi mais de 2m³/s/100km²) e na enchente de 1984 foi 4~5m³/s/100 km² (porém, em Brusque foi menos de 0,5m³/s/100 km²). Na calibragem utilizou-se os valores das medições acima, porém, no cálculo da enchente de projeto, estimou-se 5 m³/s/100 km², prevendo-se a margem de segurança.

Constante de Regressão k

Para a constante de regressão k, de acordo com a literatura existente, são sugeridos os valores ilustrados na Tabela 7.4.4 abaixo. A amplitude aplicável no quadro abaixo é 300~16.000km²; quanto maior a dimensão da bacia, o valor da constante tenderá para a maior amplitude. A dimensão da bacia do rio Itajaí está próxima do limite superior da amplitude de aplicação, portanto, a constante de redução será o valor do limite superior da amplitude da Tabela 7.4.4 abaixo. Além disso, a vazão básica será estruturada de acordo com o escoamento subterrâneo (Groundwater) ou escoamento intermediário (Interflow).

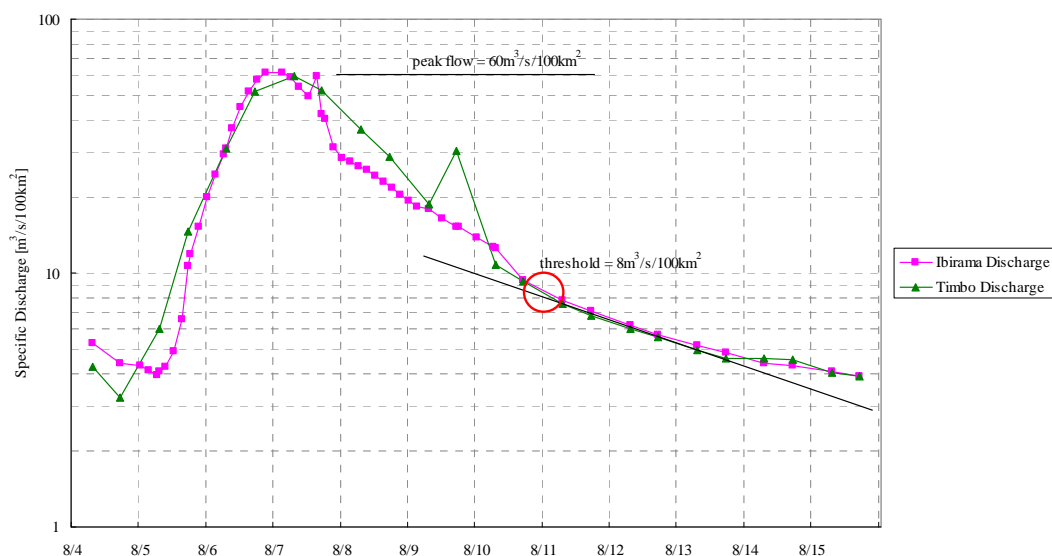
Tabela – 7.4.4 - Valor proposto para a constante k de regressão

Flow component	Recession constant, daily
Groundwater	0,95
Interflow	0,8-0,9
Surface runoff	0,3-0,8

Fonte: Pilgrim and Cordery 1992

Relação entre o pico da vazão e ponto de recessão (ratio-to-peak)

Foi analisada a curva de regressão exponencial da relação entre o pico da vazão e o ponto de recessão, após a enchente, com base nos dados da vazão de 1984, em Ibirama e Timbó, locais onde não há influência das barragens. Conforme representado na Figura-7.4.2, supondo que o tempo tem regressão exponencial, esse mesmo tempo representado na escala logarítmica é uma reta, e essa vazão comparada está em torno de 8m³/s/100 km². A vazão comparada no momento de pico é 60 m³/s/100 km²; assim, a relação é 8/60=0.14. Portanto, na presente análise, estabeleceu-se a relação entre o pico da vazão e o ponto de recessão como 0,14.



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura – 7.4.2 - Vazão comparada da enchente de 1984 (Ibirama e Timbó)

e) Modelo de canal do rio (modelo de propagação de enchente)

Utilizando o HEC-HMS como modelo de canal do rio para propagação de enchentes, seria possível escolher entre 5 métodos de cálculo, conforme relação abaixo:

- Lag
- Muskingum

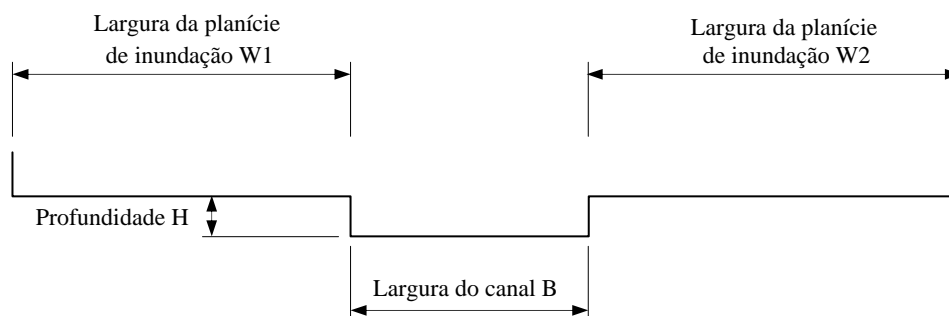
- Modified Plus
- Kinematic Wave
- Muskingum Cunge

Há retardamento no escoamento devido ao efeito de contenção na planície de inundação natural das margens do rio Itajaí; portanto, adotou-se o método Muskingum-Cunge, que possibilita a reprodução física desse efeito de contenção, como modelo de canal. O Muskingum Cunge é um método baseado no modelo de propagação de ondas, que é uma aproximação da expressão contínua da equação de movimento unidimensional de canal aberto.

$$\text{Equação contínua} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L$$

$$\text{Equação de movimento} \quad S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (\text{Propagação de ondas})$$

Na presente análise efetuou-se a modelagem de cada trecho do canal do rio (Canal 1 a 10), conforme a Figura-7.4.3, utilizando os dados de seção transversal do rio, cujo levantamento foi efetuado anteriormente (dados de medição na estação da ANA), estabelecendo: largura representativa do canal = B, profundidade = H e largura da planície = W. Os dados de entrada no modelo Muskingum Cunge estão ilustrados na Tabela -7.4.5 abaixo.



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura – 7.4.3 - Modelagem da forma do canal

Tabela – 7.4.5 - Dados de entradas no método Muskingum Cunge

Canal de rio	Trecho	Forma do canal			Inclinação do leito	Coeficiente rugosidade	
		Largura do leito	Profundidade	Largura Planície		Canal	Planície inundação
Canal 1	Taió/Rio do Sul	30	12.000	600	0.0003	0.035	0.050
Canal 2	Ituporanga/Rio do Sul	25	8.500	55	0.0010	0.035	0.050
Canal 3	Rio do Sul/Apiuna	60	12.000	600	0.0003	0.035	0.050
Canal 4	B.Norte/Ibirama	45	12.000	60	0.0042	0.035	0.050
Canal 5	Apiuna/Indaial	90	19.000	40	0.0010	0.035	0.050
Canal 6	Indaial/Blumenau	90	19.000	40	0.0020	0.035	0.050
Canal 7	Blumenau/Gaspar	90	14.000	330	0.0001	0.035	0.050
Canal 8	Gaspar/Ilhota	100	17.000	600	0.0001	0.035	0.050
Canal 9	Ilhota/Itajaí	180	8.000	600	0.0001	0.035	0.050
Canal10	Brusque/Itajaí	20	11.000	600	0.0004	0.035	0.050

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

f) Modelo para barragem de contenção

Com o programa HEC-HMS foi realizada a modelagem de enchente para as instalações das barragens. Na Bacia do Rio Itajaí existem três barragens exclusivas para o controle de enchentes: Barragem Oeste, Barragem Sul e Barragem Norte.

Os dados referentes à característica de descarga (H-Q) e H-V do reservatório de cada barragem não estão disponíveis, segundo informação do DEINFRA, que administra as barragens do Estado de SC (obtivemos desenhos antigos das barragens em papel e extraímos as curvas H-Q e H-V). Os dados de controle das barragens que têm sido registrados são apenas os níveis dos reservatórios e a situação de abertura e fechamento das comportas (há possibilidade de melhoria no procedimento de gestão das barragens).

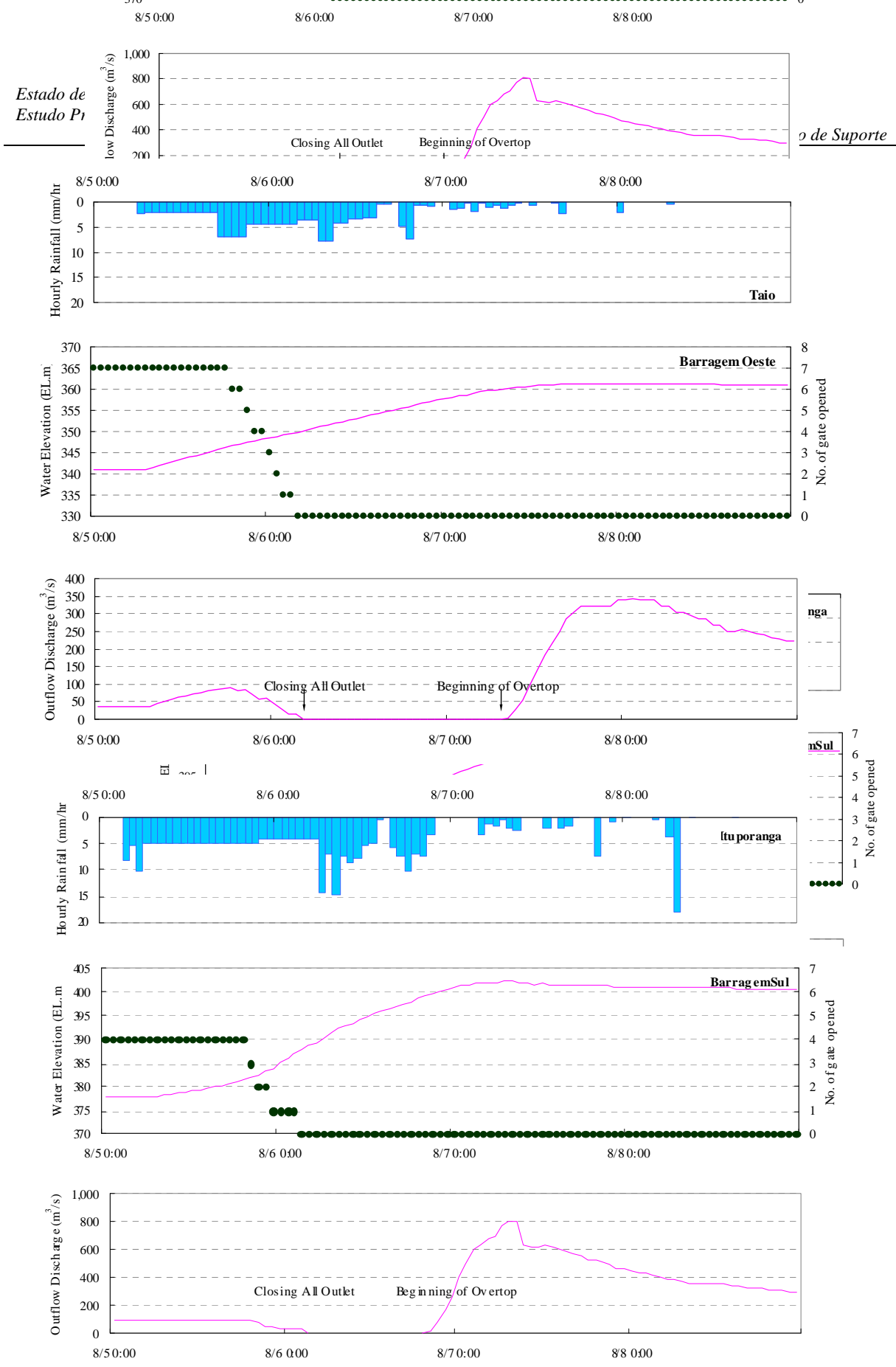
Como há necessidade da curva chave H-Q da barragem e curva H-V do reservatório, elaborou-se essas curvas, ajustando-se as escalas das curvas constantes nos desenhos em papel, baseado na fórmula genérica de descarga, conforme o Tabela-7.4.6 abaixo.

Tabela – 7.4.6 - Equação das curvas H-Q e H-V

		H-Q, H-V	
Expressão genérica		Usual	$Q = C \cdot n \cdot A \sqrt{2g(H - H_0)}$
		Não usual	$Q = C \cdot B \cdot H^{1.5}$
		Capacidade de reservatório	$V = a(H - b)^2$
Ajustamento	Barragem Oeste	Usual	$Q = 0.6667 \times 7 \times 1.7663 \sqrt{2g(H - 340.05)}$
		Não usual	$Q = 2.1658 \times 100 \times (H - 360)^{1.5}$
		Capacidade de reservatório	$V = 0.18192 \times (H - 338.64)^2 \times 10^6$
	Barragem Sul	Usual	$Q = 0.8901 \times 5 \times 1.7663 \sqrt{2g(H - 368)}$
		Não usual	$Q = 2.0758 \times 65 \times (H - 399)^{1.5}$
		Capacidade de reservatório	$V = 0.17033 \times (H - 375.57)^2 \times 10^6$
	Barragem Norte	Usual	$Q = 74H - 19092$ (H=EL.258m~EL.259m)
			$Q = 3.8H - 910.2$ (H=EL.259m~EL.264m)
			$Q = 92H - 24195$ (H=EL.264m~EL.265m)
$Q = 0.89513 \times 2 \times 6.76 \sqrt{2g(H - 253)}$ (H=EL.265m~)			
Não usual		$Q = 2.0506 \times 100 \times (H - 295)^{1.5}$	
Capacidade de reservatório	$V = 0.17825 \times (H - 250.69)^2 \times 10^6$		
Obs.) O título do desenho antigo utilizado é:			
Executado por:	Bacia do rio Itajaí subsídios para o plano integrado de aproveitamento e controle dos recursos hídricos	CAEEB	MME
CNEC	Obras existentes de controle de cheias		DNAEE
	Barregem Sul, Oeste, Norte (em Construção)		APROV.DNAEE
			No.3.1 (Sul)
			No.3.2 (Oeste)
			No.3.3 (Norte)

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

As informações sobre a operação das barragens referents à enchente de 1984 foram organizadas com base nas curvas H-Q elaboradas pela equipe de estudo, conforme mostrado na Figura 7.4.4



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Obs.: Os dados de nível da água, volume de descarga e operação de comportas sem registros, foram interpolados com o dado anterior e o posterior.

Figura – 7.4.4 - Operação da barragem durante a enchente de 1984 (a descarga foi estimada com base na curva H-Q elaborada)

7.4.3 Resultado da calibração da constante do modelo

Dentre as constantes do modelo de análise de escoamento, explanado até o momento, tem-se:

- Os valores das constantes da vazão básica (vazão inicial Q_0 , constante de atenuação k e taxa de pico), foram estabelecidos de acordo com os valores das medições.
- No entanto, para os parâmetros relacionados com a precipitação efetiva (perda inicial I_a , perda constante f_c) e os parâmetros relacionados com o modelo de escoamento direto (C_t , C_p do hidrograma unitário de Schneider) foram considerados os valores genéricos; assim, há necessidade de calibragem para ajustar com a enchente real.
- O correto seria utilizar a descarga real da barragem na fase da calibragem, mas, como não existem registros desses dados, introduziu-se valor de descarga obtida a partir dos registros do nível da água calculado pela equação da curva H-Q.

Ordenou-se na Tabela 7.4 o valor inicial da constante do modelo. Abaixo, apresenta-se o resultado da calibragem.

Resultado da calibragem da enchente de 1984 (Tabela 7.4.7 e Figura 7.4.6)

- Após a análise com os parâmetros iniciais, reproduziu-se o tempo de subida da enchente de forma satisfatória.
- A reprodução do pico da vazão e o volume total de escoamento nas bacias do rio Itajaí do Norte e rio Benedito foram menores do que as enchentes reais e relativamente elevadas de outras bacias.
- A perda inicial não foi modificada; reduziu-se o valor da taxa de perda constante nas bacias do Itajaí do Norte e rio Benedito e efetuou-se uma alteração relativamente significativa em outras bacias. As bacias do rio Itajaí do Norte e rio Benedito apresentam terrenos relativamente íngremes e o intemperismo é menor, portanto, esta modificação é adequada do ponto de vista físico.
- Após a análise de sensibilidade, C_t e C_p não influenciaram muito a onda de escoamento; portanto, foi decidido basicamente não alterar esses parâmetros.
- Os cálculos mostraram que o tempo de pico foi relativamente mais rápido do que na enchente real em Timbó e relativamente mais lento em Brusque; portanto, alterou-se os valores máximos do C_t da bacia do rio Benedito para o valor genérico e da bacia do rio Itajaí- Mirim para o valor máximo (ao mesmo tempo, alterou-se o C_p para ajustar o pico da vazão).
- Com isso, reproduziu-se a enchente de 1984 de forma satisfatória.

Resultado da calibragem da enchente de abril de 2010 (Tabelas 7.4.8 e Tabela 7.4.9, Figura 7.4.7)

- Com base no resultado da calibragem da enchente de 1984 foi realizada a calibragem da enchente de 04/2010.
- A enchente de abril de 2010 é uma enchente com dois picos, as precipitações efetivas e vazões básicas são bem diferentes. Então, realizou-se a calibragem em duas fases.
- A precipitação na primeira fase da enchente ocorrida em abril de 2010 foi menor; portanto, aumentou-se o valor da perda inicial e a taxa de perda constante (Initial Loss, Constant Loss Rate) e estabeleceu-se um valor menor para a vazão básica.

- A enchente da segunda fase sofre o impacto da enchente da fase anterior, portanto, reduziu-se o valor da perda e estabeleceu-se um valor maior para a vazão básica.
- O resultado da reprodução da enchente de 2010 não é bom, quando comparado com a da enchente de 1984. Principalmente, os resultados da reprodução da enchente à montante de Rio do Sul, tanto da primeira fase quanto da fase posterior, são ruins.
- A razão do resultado ruim da reprodução da fase inicial da enchente deve ser o seguinte: foi estabelecido um valor da perda grande por causa da pouca precipitação na fase inicial da enchente; há possibilidade de ter havido escoamento relativamente rápido na superfície devido à dificuldade de infiltração subterrânea no escoamento intermediário (Interflow). Este tipo de escoamento intermediário é difícil para realizar a reprodução no Modelo Único.
- A razão do resultado ruim da reprodução da fase posterior da enchente deve ser o seguinte: diferença na variação do nível da água dos reservatórios de Taió e Ituporanga, além da grande diferença do volume de descarga entre as barragens Oeste e Sul. Além disso, existe a possibilidade de erros nos dados do nível de reservatório de ambas as barragens ou erros de dados do nível da água à jusante das barragens.

Tabela 7.4.7 - Valor inicial da constante do modelo da bacia (antes da calibragem)

Tipo	Nome	Área de Drenagem km ²	perda			Transformação				Vazão básica				
			Perda Inicial*	Taxa Constante* mm/h	Impermeabilidade %	L km	Lc km	Parâmetro Ct*** -	Standard Lag hr	Peaking Coefficient Cp**** -	Descarga inicial específico***** m ³ /s/100km ²	Descarga Inicial m ³ /s	Recessão constante -	Pico de recessão (Ratio to peak) -
Sub-bacia	Barragem Oeste	1.042.0	20	2	5	55	28	1.9	12.9	0.6	5	52	0.95	0.14
	Bacia 1	528.1	20	2	5	40	15	1.9	9.7	0.6	5	26	0.95	0.14
	Bacia 2	1.444.8	20	2	5	68	34	1.9	14.6	0.6	5	72	0.95	0.14
	Barragem Sul	1.273.0	20	2	5	62	31	1.9	13.8	0.6	5	64	0.95	0.14
	Bacia 3	372.0	20	2	5	25	13	1.9	8.1	0.6	5	19	0.95	0.14
	Bacia 4	381.3	20	2	5	25	13	1.9	8.1	0.6	5	19	0.95	0.14
	Barragem Norte	2.318.0	20	2	5	102	51	1.9	18.6	0.6	5	116	0.95	0.14
	Bacia 5	1.023.0	20	2	5	44	22	1.9	11.2	0.6	5	51	0.95	0.14
	Bacia 6	906.2	20	2	5	57	29	1.9	13.2	0.6	5	45	0.95	0.14
	Rio Benedito	831.0	20	2	5	74	37	1.9	15.3	0.6	5	42	0.95	0.14
	Rio dos Cedros	600.3	20	2	5	70	35	1.9	14.8	0.6	5	30	0.95	0.14
	Bacia 7	556.3	20	2	5	34	17	1.9	9.6	0.6	5	28	0.95	0.14
Bacia 8	646.3	20	2	5	27	14	1.9	8.5	0.6	5	32	0.95	0.14	
Bacia 9	349.2	20	2	5	20	10	1.9	7.0	0.6	5	17	0.95	0.14	
Bacia 10	226.7	20	2	5	20	10	1.9	7.0	0.6	5	11	0.95	0.14	
Luis Alves	580.0	20	2	5	81	40	1.9	16.1	0.6	5	29	0.95	0.14	
Itajaí Mirim	1.206.6	20	2	5	133	67	1.9	21.8	0.6	5	60	0.95	0.14	
Bacia 11	472.3	20	2	5	57	29	1.9	13.2	0.6	5	24	0.95	0.14	
Bacia 12	175.7	20	2	5	30	15	1.9	8.9	0.6	5	9	0.95	0.14	

* A perda inicial deve ser entorno de 0,5 a 1,5 polegadas, conforme tabela 3.5.7, então iremos ajustar dentro da faixa a esquerda durante a calibração

** A perda deve ser entre 0.0 e 0.3 polegada (0.0~7.6mm) , conforme tabela 3.5.8, então iremos ajustar dentro da faixa a esquerda durante a calibração.

*** Ct normalmente é entorno de 1.8~2.0, então iremos calibrar dentro dessa faixa.

**** Cp normalmente é entorno de 0.4~0.8, então iremos calibrar dentro dessa faixa.

***** Na calibração, a vazão básica inicial será utilizado o valor de medição real.

Fonte; Equipe de Estudos da JICA

Tabela 7.4.8 - Resultado da calibragem da constante do modelo da bacia (enchente de 1984)

Tipo	Nome	Área de Drenagem km ²	perda			Transformação					Vazão básica			
			Perda Inicial*	Taxa Constante*	Impermeabilidade	L	Lc	Parâmetro Ct***	Standard Lag	Peaking Coefficient Cp****	Descarga inicial específico*****	Descarga Inicial	Recessão constante	Pico de recessão (Ratio to peak)
			mm	mm/h	%	km	km	-	hr	-	m ³ /s/100km ²	m ³ /s	-	-
Sub-bacia	Barragem Oeste	1.042.0	20	2.1	5	55	28	1.9	12.9	0.6	5	52	0.95	0.14
	Bacia 1	528.1	20	2.1	5	40	15	1.9	9.7	0.6	5	26	0.95	0.14
	Bacia 2	1.444.8	20	2.1	5	68	34	1.9	14.6	0.6	5	72	0.95	0.14
	Barragem Sul	1.273.0	20	2.1	5	62	31	1.9	13.8	0.6	5	64	0.95	0.14
	Bacia 3	372.0	20	2.1	5	25	13	1.9	8.1	0.6	5	19	0.95	0.14
	Bacia 4	381.3	20	2.1	5	25	13	1.9	8.1	0.6	5	19	0.95	0.14
	Barragem Norte	2.318.0	20	1.0	5	102	51	1.9	18.6	0.6	5	116	0.95	0.14
	Bacia 5	1.023.0	20	1.0	5	44	22	1.9	11.2	0.6	5	51	0.95	0.14
	Bacia 6	906.2	20	2.1	5	57	29	1.9	13.2	0.6	5	45	0.95	0.14
	Rio Benedito	831.0	20	1.2	5	74	37	2.0	16.1	0.63	5	42	0.95	0.14
	Rio dos Cedros	600.3	20	1.2	5	70	35	2.0	15.6	0.63	5	30	0.95	0.14
	Bacia 7	556.3	20	2.1	5	34	17	1.9	9.6	0.6	5	28	0.95	0.14
Bacia 8	646.3	20	2.1	5	27	14	1.9	8.5	0.6	5	32	0.95	0.14	
Bacia 9	349.2	20	2.1	5	20	10	1.9	7.0	0.6	5	17	0.95	0.14	
Bacia 10	226.7	20	2.1	5	20	10	1.9	7.0	0.6	5	11	0.95	0.14	
Luis Alves	580.0	20	2.1	5	81	40	1.9	16.1	0.6	5	29	0.95	0.14	
Itajaí Mirim	1.206.6	20	2.1	5	133	67	1.8	20.7	0.57	5	60	0.95	0.14	
Bacia 11	472.3	20	2.1	5	57	29	1.8	12.5	0.57	5	24	0.95	0.14	
Bacia 12	175.7	20	2.1	5	30	15	1.9	8.9	0.6	5	9	0.95	0.14	

Modificação de input inicial

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Tabela 7.4.9 - Resultado da calibragem da constante do modelo da bacia (enchente de 21 a 24 de 04/2010)

Tipo	Nome	Área de Drenagem km ²	perda			Transformação					Vazão básica			
			Perda Inicial*	Taxa Constante*	Impermeabilidade	L	Lc	Parâmetro Ct***	Standard Lag	Peaking Coefficient Cp****	Descarga inicial específico*****	Descarga Inicial	Recessão constante	Pico de recessão (Ratio to peak)
			mm	mm/h	%	km	km	-	hr	-	m ³ /s/100km ²	m ³ /s	-	-
Sub-bacia	Barragem Oeste	1.042.0	38	6.7	5	55	28	1.9	12.9	0.6	5	0.95	0.14	
	Bacia 1	528.1	38	6.7	5	40	15	1.9	9.7	0.6	5	0.95	0.14	
	Bacia 2	1.444.8	38	6.7	5	68	34	1.9	14.6	0.6	5	0.95	0.14	
	Barragem Sul	1.273.0	38	6.7	5	62	31	1.9	13.8	0.6	5	0.95	0.14	
	Bacia 3	372.0	38	6.7	5	25	13	1.9	8.1	0.6	5	0.95	0.14	
	Bacia 4	381.3	38	6.7	5	25	13	1.9	8.1	0.6	5	0.95	0.14	
	Barragem Norte	2.318.0	38	6.4	5	102	51	1.9	18.6	0.6	5	0.95	0.14	
	Bacia 5	1.023.0	38	6.4	5	44	22	1.9	11.2	0.6	5	0.95	0.14	
	Bacia 6	906.2	38	6.7	5	57	29	1.9	13.2	0.6	5	0.95	0.14	
	Rio Benedito	831.0	38	6.4	5	74	37	2.0	16.1	0.63	5	0.95	0.14	
	Rio dos Cedros	600.3	38	6.4	5	70	35	2.0	15.6	0.63	5	0.95	0.14	
	Bacia 7	556.3	38	6.7	5	34	17	1.9	9.6	0.6	5	0.95	0.14	
Bacia 8	646.3	38	6.7	5	27	14	1.9	8.5	0.6	5	0.95	0.14		
Bacia 9	349.2	38	6.7	5	20	10	1.9	7.0	0.6	5	0.95	0.14		
Bacia 10	226.7	38	6.7	5	20	10	1.9	7.0	0.6	5	0.95	0.14		
Luis Alves	580.0	38	6.7	5	81	40	1.9	16.1	0.6	5	0.95	0.14		
Itajaí Mirim	1.206.6	38	6.7	5	133	67	1.8	20.7	0.57	5	0.95	0.14		
Bacia 11	472.3	38	6.7	5	57	29	1.8	12.5	0.57	5	0.95	0.14		
Bacia 12	175.7	38	6.7	5	30	15	1.9	8.9	0.6	5	0.95	0.14		

Modificação de Input para enchente de 1984

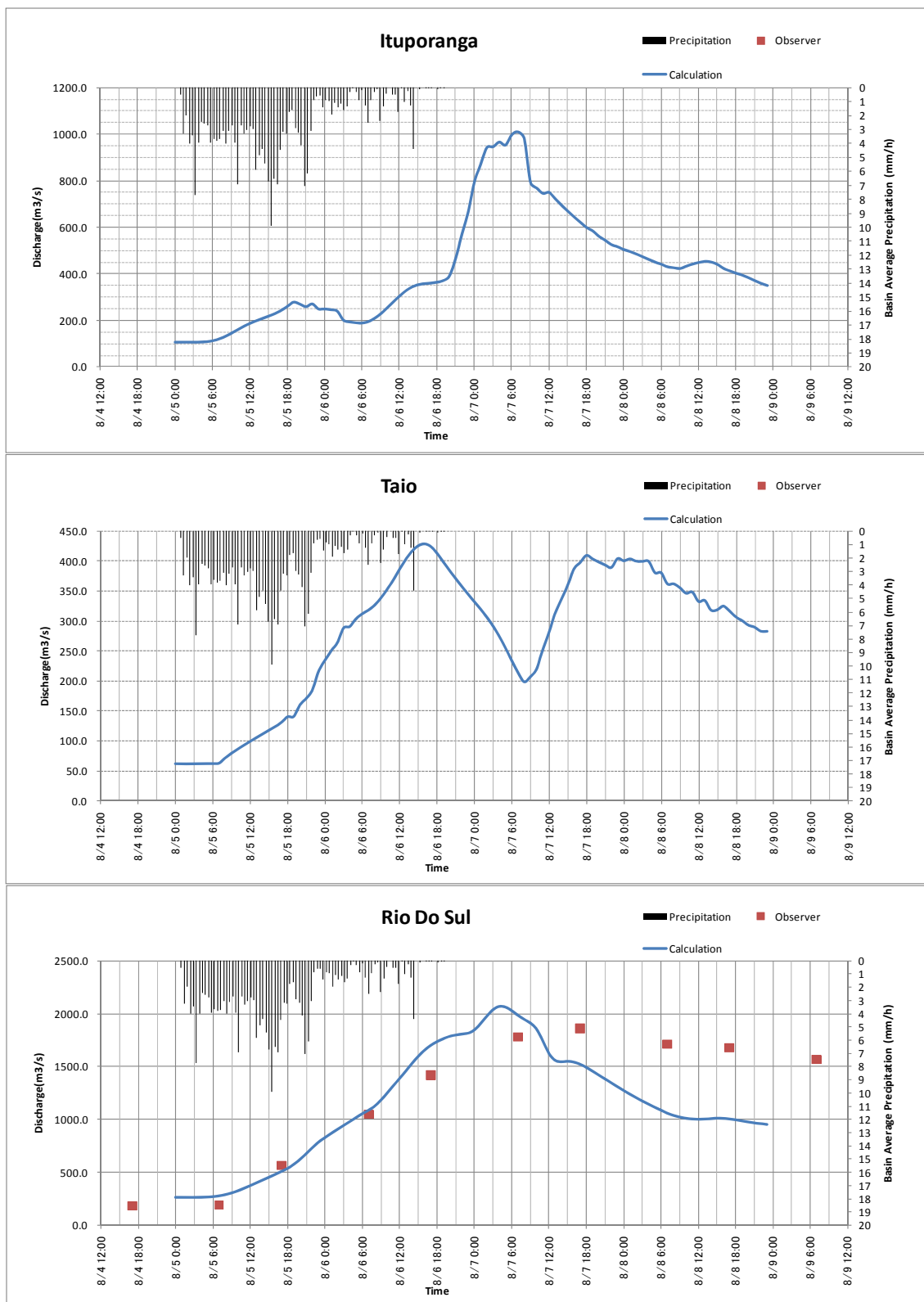
Fonte: Equipe de estudos da JICA

Tabela 7.4.10 - Resultado da calibragem da constante do modelo da bacia (enchente de 23 a 26 de 04/2010)

Tipo	Nome	Área de Drenagem km ²	perda			Transformação					Vazão básica			
			Perda Inicial*	Taxa Constante*	Impermeabilidade	L	Lc	Parâmetro Ct***	Standard Lag	Peaking Coefficient Cp****	Descarga inicial específico*****	Descarga Inicial	Recessão constante	Pico de recessão (Ratio to peak)
			mm	mm/hr	%	km	km	-	hr	-	m ³ /s/100km ²	m ³ /s	-	-
Sub-bacia	Barragem Oeste	1.042.0	13	2.5	5	55	28	1.9	12.9	0.6	12	125	0.95	0.14
	Bacia 1	528.1	13	2.5	5	40	15	1.9	9.7	0.6	12	63	0.95	0.14
	Bacia 2	1.444.8	13	2.5	5	68	34	1.9	14.6	0.6	12	173	0.95	0.14
	Barragem Sul	1.273.0	13	2.5	5	62	31	1.9	13.8	0.6	12	153	0.95	0.14
	Bacia 3	372.0	13	2.0	5	25	13	1.9	8.1	0.6	12	45	0.95	0.14
	Bacia 4	381.3	13	2.0	5	25	13	1.9	8.1	0.6	12	46	0.95	0.14
	Barragem Norte	2.318.0	13	2.0	5	102	51	1.9	18.6	0.6	12	278	0.95	0.14
	Bacia 5	1.023.0	13	4.0	5	44	22	1.9	11.2	0.6	40	409	0.95	0.14
	Bacia 6	906.2	13	0.5	5	57	29	1.9	13.2	0.6	12	109	0.95	0.14
	Rio Benedito	831.0	13	2.3	5	74	37	2.0	16.1	0.63	12	100	0.95	0.14
	Rio dos Cedros	600.3	13	2.3	5	70	35	2.0	15.6	0.63	12	72	0.95	0.14
	Bacia 7	556.3	13	4.0	5	34	17	1.9	9.6	0.6	12	67	0.95	0.14
Bacia 8	646.3	13	4.0	5	27	14	1.9	8.5	0.6	12	78	0.95	0.14	
Bacia 9	349.2	13	4.0	5	20	10	1.9	7.0	0.6	12	42	0.95	0.14	
Bacia 10	226.7	13	4.0	5	20	10	1.9	7.0	0.6	12	27	0.95	0.14	
Luis Alves	580.0	13	4.0	5	81	40	1.9	16.1	0.6	12	70	0.95	0.14	
Itajaí Mirim	1.206.6	13	4.0	5	133	67	1.8	20.7	0.57	12	145	0.95	0.14	
Bacia 11	472.3	13	4.0	5	57	29	1.8	12.5	0.57	12	57	0.95	0.14	
Bacia 12	175.7	13	4.0	5	30	15	1.9	8.9	0.6	12	21	0.95	0.14	

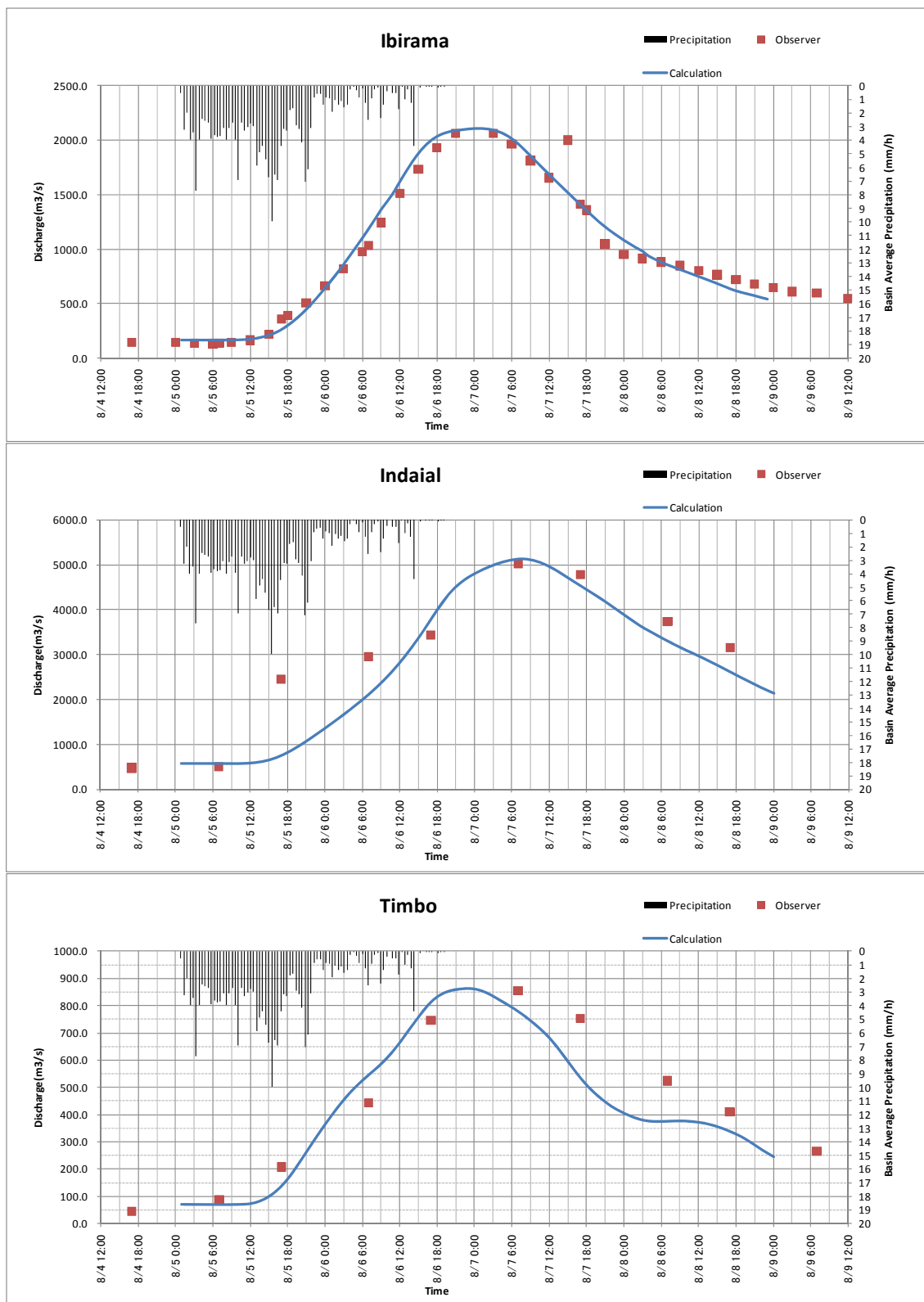
Modificação de Input para enchente de 1984

Fonte: Equipe de estudos da JICA



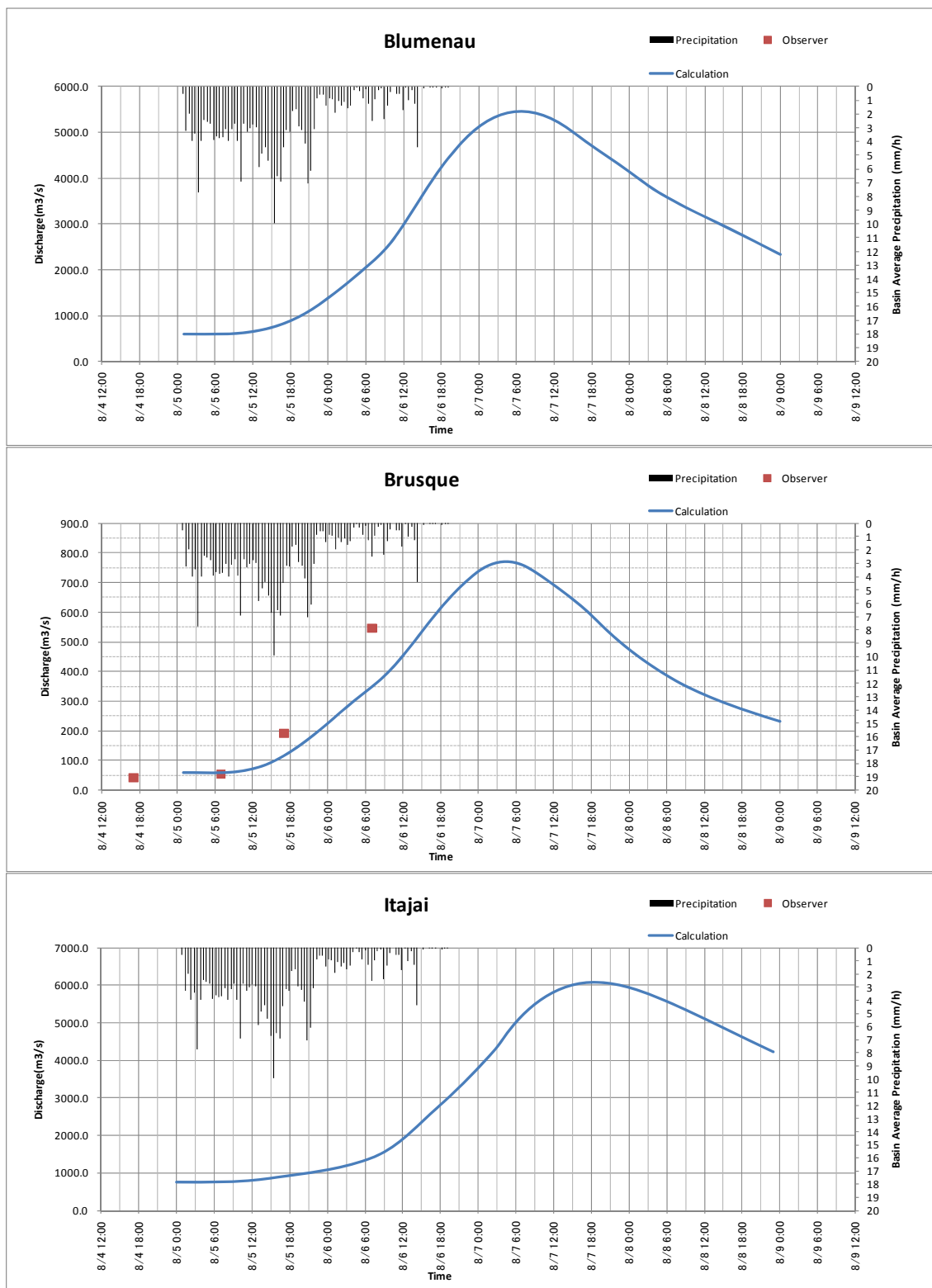
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 7.4.6 - Resultado de calibragem da enchente de 1984 (1/3)



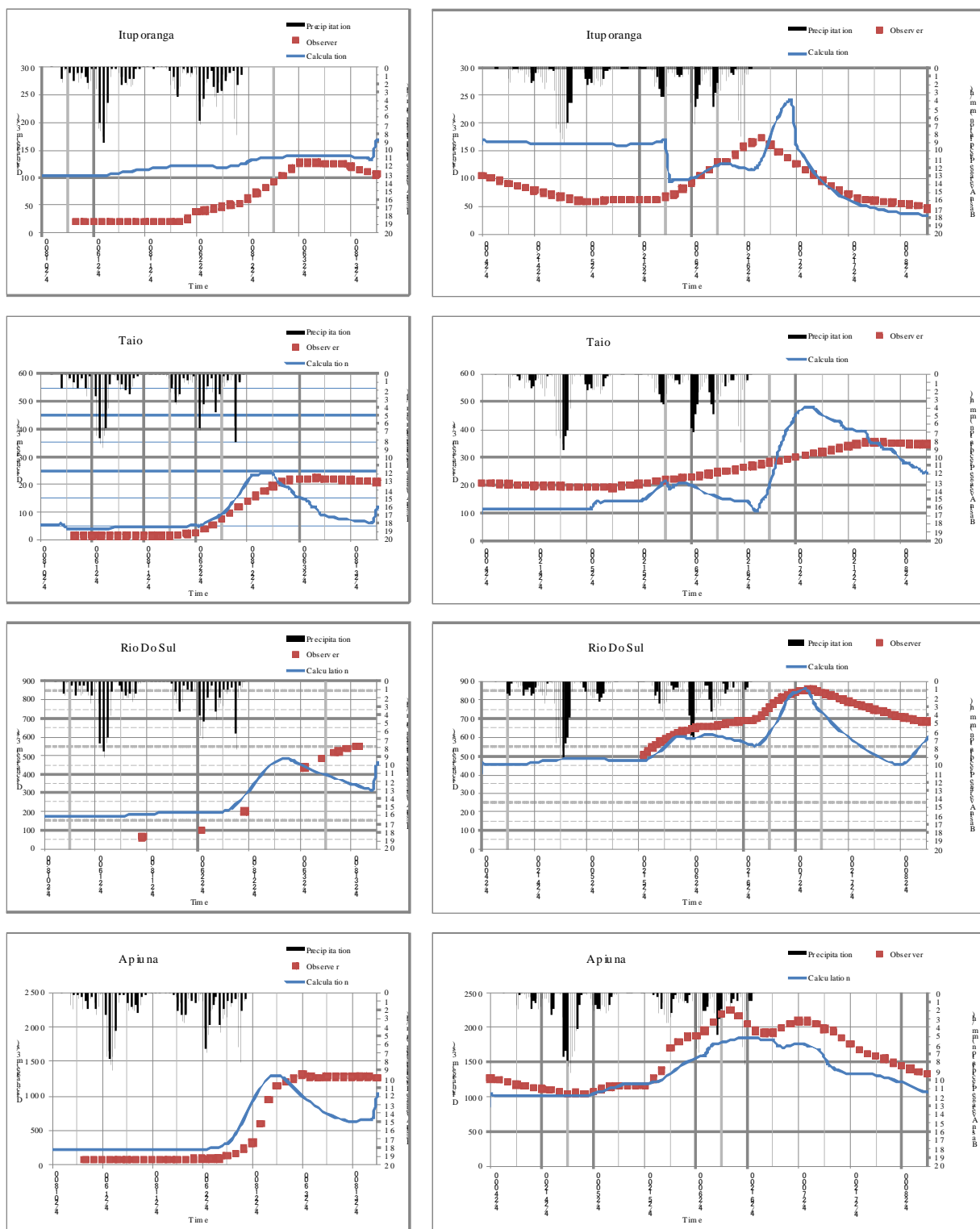
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura 7.4.6 - Resultado da calibragem de enchente de 1984 (2/3)



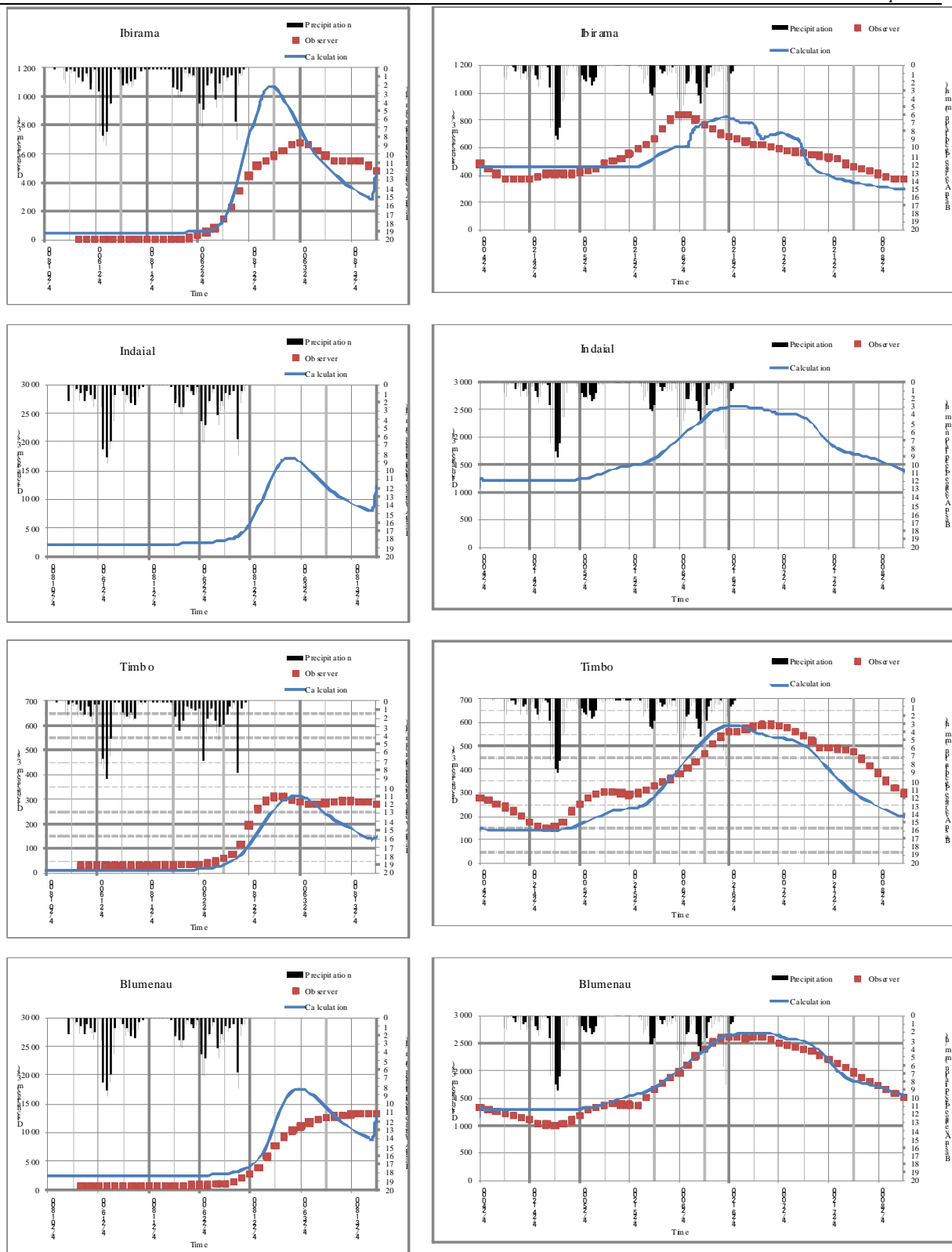
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura – 7.4.7 - Resultado da calibragem de enchente de 1984 (3/3)



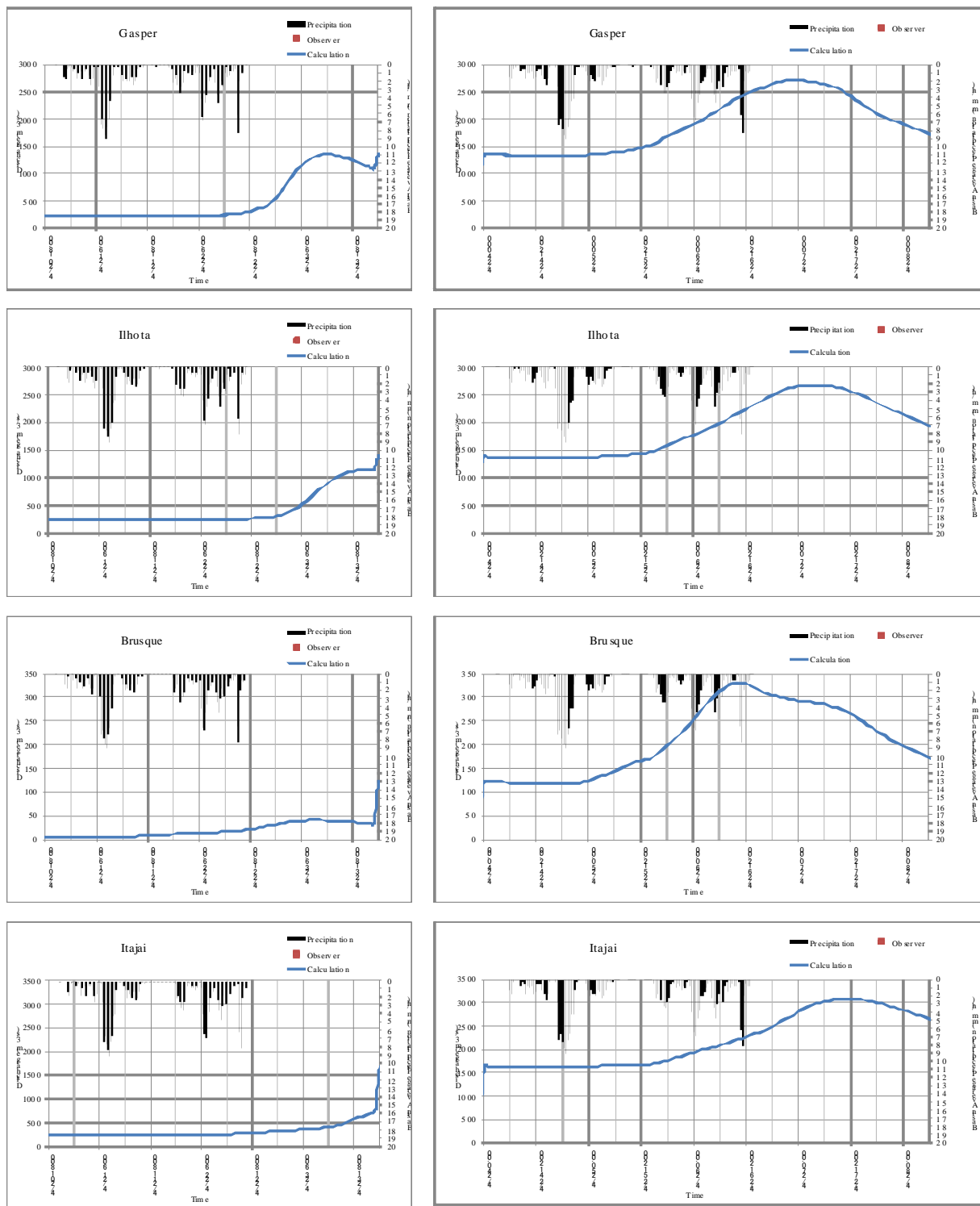
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura 7.4.8 - Resultado de calibragem da enchente de 2010 (1/3)



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura – 7.4.9 - Resultado de calibragem da enchente de 2010 (2/3)



Equipe de Estudos da JICA

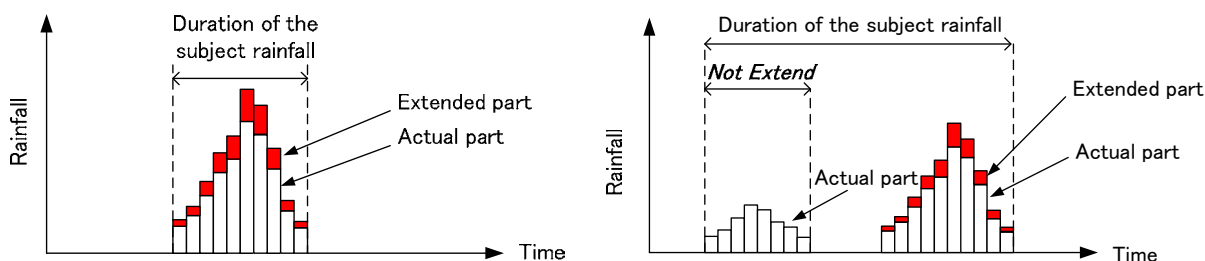
Figura – 7.4.10 - Resultado de calibragem da enchente de 2010 (3/3)

7.5 Determinação da vazão de projeto

A precipitação real ocorre com diferentes padrões, de região para região e em relação ao tempo de duração. Mesmo que o índice de precipitação seja igual, se esse padrão de precipitação for diferente, haverá diferença também no escoamento da vazão de enchente; portanto, além da chuva de projeto, há necessidade de estabelecer a distribuição por região e no tempo, para determinar esse padrão de chuva de projeto. Tomando como base o padrão de precipitação de enchente no passado, deverá ser determinado o padrão de chuva de projeto estendendo (extrapolando) a chuva, realizada a modelagem do escoamento, conforme explanado nas seções anteriores deste capítulo, e calculada a vazão de projeto para cada tempo de retorno.

7.5.1 Extensão (extrapolação) da chuva

Conforme ilustrado na figura abaixo, foram escolhidas as quatro enchentes mais representativas: 04/1983, 08/1984, 05/2005, 04/2010 e efetuada a extensão da chuva para determinar a chuva-vazão de projeto.



Fonte : Equipe de Estudo JICA

Figura 7.5.1 Extensão dos padrões de chuva

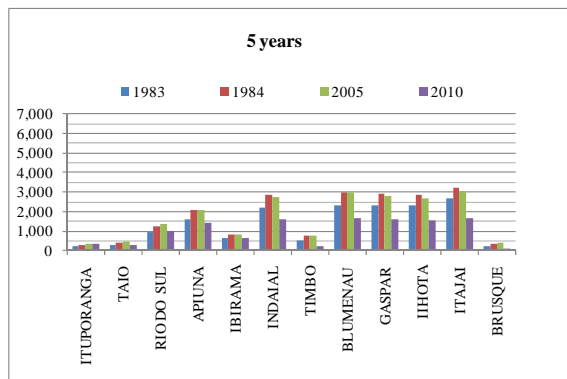
7.5.2 Metodologia de cálculo

Para a constante a ser utilizada no modelo de cálculo do escoamento será adotado o valor obtido pela calibração de 08/1984 e 04/2010. Com base no hietograma da chuva de cada enchente, foi adotado o valor da calibragem de 08/1984 para 07/1983, 08/1984 e 05/2005; e a chuva da fase posterior de 04/2010 para 04/2010, e efetuado o cálculo. Além disso, foi considerado que todas as comportas das três barragens de contenção existentes estavam abertas.

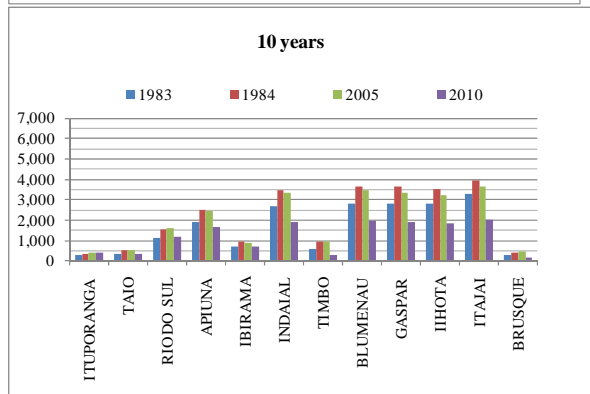
7.5.3 Resultado do cálculo

Na Figura 7.5.2 está ilustrado o resultado do cálculo de cada chuva de projeto.

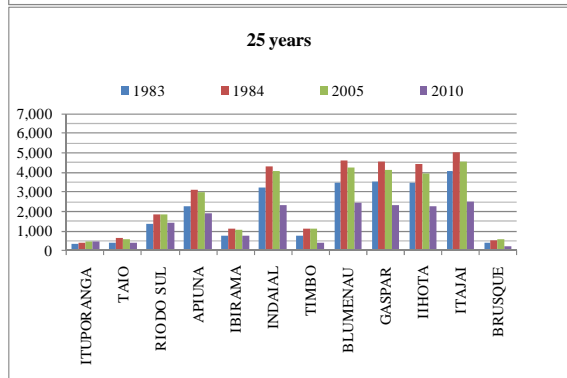
5 years					
ID	Cities / Towns	1983	1984	2005	2010
1	ITUPORANGA	250	310	370	350
2	TAIO	280	430	440	300
3	RIO DO SUL	930	1,250	1,350	1,020
4	APIUNA	1,580	2,060	2,060	1,440
5	IBIRAMA	620	840	810	650
6	INDAIAL	2,200	2,830	2,760	1,610
7	TIMBO	500	760	780	230
8	BLUMENAU	2,330	2,990	2,960	1,650
9	GASPAR	2,320	2,940	2,820	1,590
10	IHOTA	2,310	2,840	2,700	1,560
11	ITAJAI	2,680	3,210	3,020	1,680
12	BRUSQUE	250	350	380	130



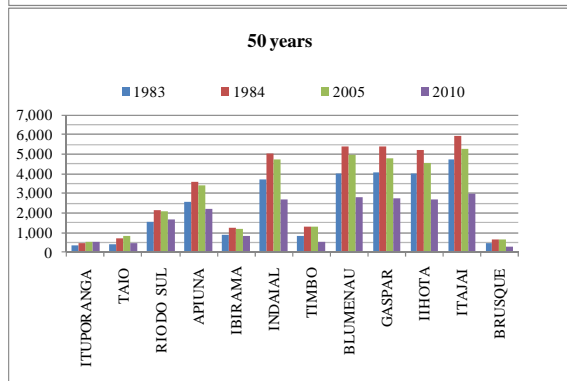
10 years					
ID	Cities / Towns	1983	1984	2005	2010
1	ITUPORANGA	290	370	420	410
2	TAIO	330	520	510	350
3	RIO DO SUL	1,110	1,520	1,580	1,200
4	APIUNA	1,890	2,510	2,450	1,650
5	IBIRAMA	700	970	910	710
6	INDAIAL	2,660	3,470	3,320	1,900
7	TIMBO	610	920	940	290
8	BLUMENAU	2,830	3,670	3,490	1,970
9	GASPAR	2,830	3,630	3,370	1,890
10	IHOTA	2,810	3,500	3,230	1,830
11	ITAJAI	3,280	3,960	3,660	2,000
12	BRUSQUE	310	430	470	150



25 years					
ID	Cities / Towns	1983	1984	2005	2010
1	ITUPORANGA	330	430	490	470
2	TAIO	380	620	600	400
3	RIO DO SUL	1,340	1,860	1,870	1,450
4	APIUNA	2,280	3,100	2,960	1,920
5	IBIRAMA	790	1,120	1,040	770
6	INDAIAL	3,230	4,300	4,080	2,320
7	TIMBO	740	1,120	1,140	390
8	BLUMENAU	3,480	4,600	4,270	2,420
9	GASPAR	3,510	4,570	4,130	2,340
10	IHOTA	3,470	4,400	3,930	2,270
11	ITAJAI	4,090	5,000	4,530	2,510
12	BRUSQUE	380	540	580	220



50 years					
ID	Cities / Towns	1983	1984	2005	2010
1	ITUPORANGA	370	490	550	520
2	TAIO	430	710	810	450
3	RIO DO SUL	1,530	2,150	2,110	1,680
4	APIUNA	2,580	3,590	3,380	2,180
5	IBIRAMA	870	1,250	1,170	830
6	INDAIAL	3,680	5,020	4,710	2,680
7	TIMBO	840	1,280	1,300	500
8	BLUMENAU	3,990	5,410	4,960	2,820
9	GASPAR	4,060	5,380	4,780	2,750
10	IHOTA	4,010	5,200	4,550	2,660
11	ITAJAI	4,750	5,930	5,240	2,970
12	BRUSQUE	450	630	660	270

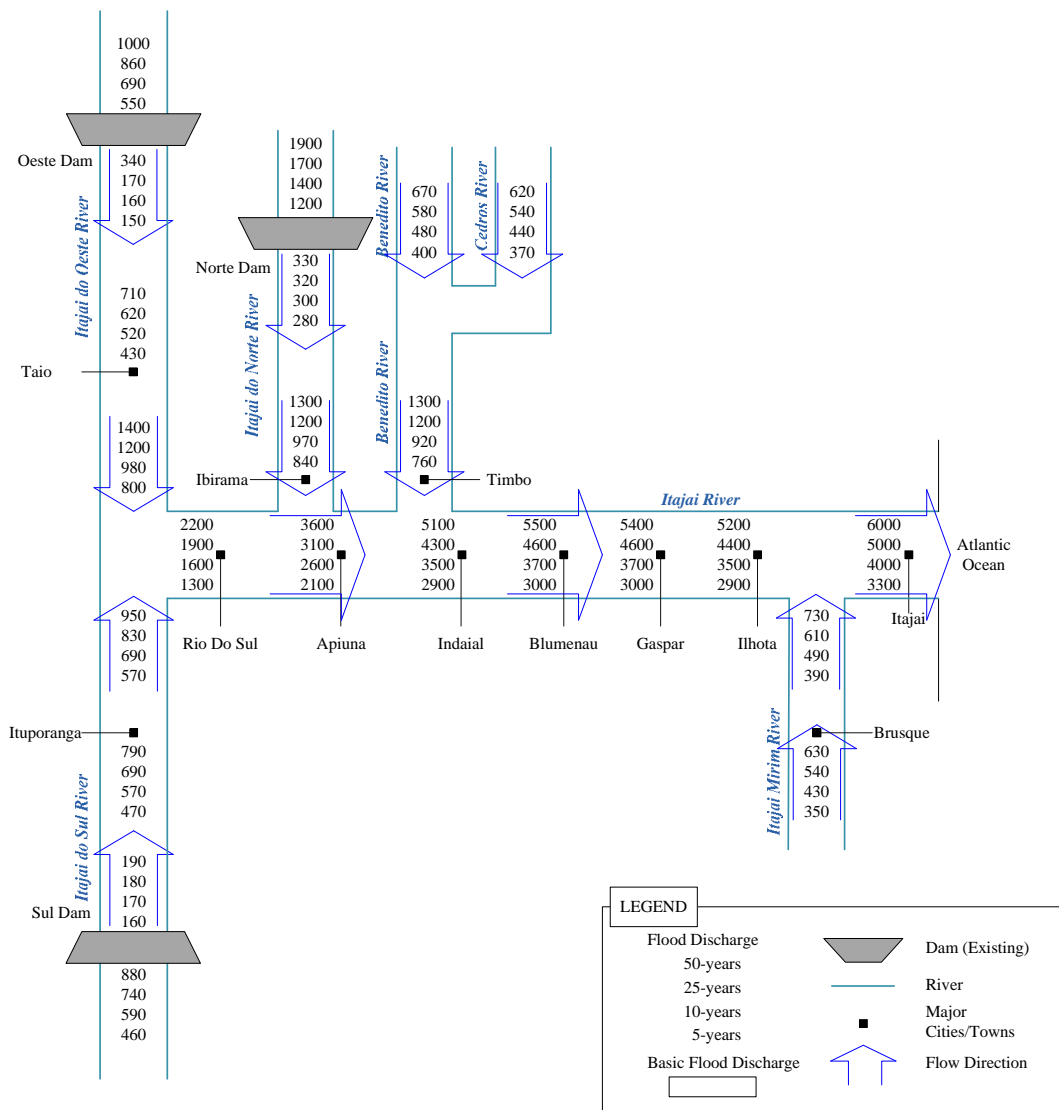


Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 7.5.2 - Vazão de enchente provável em cada cidade principal, para respectivas enchentes

7.5.4 Resultado das Estimativas das vazões projetadas para cada Tempo de Retorno

Com base na vazão de enchente provável calculada, foi selecionada a vazão de enchente de 04/1984, que apresentou o maior valor em termos gerais, como sendo a vazão de enchente para efeito de projeto (margem de segurança). Na Figura 7.5.3 abaixo está ilustrada a vazão de enchente provável de cada lugar de referência.



Unidade : m³/sec、 Fonte: Equipe de estudos da JICA

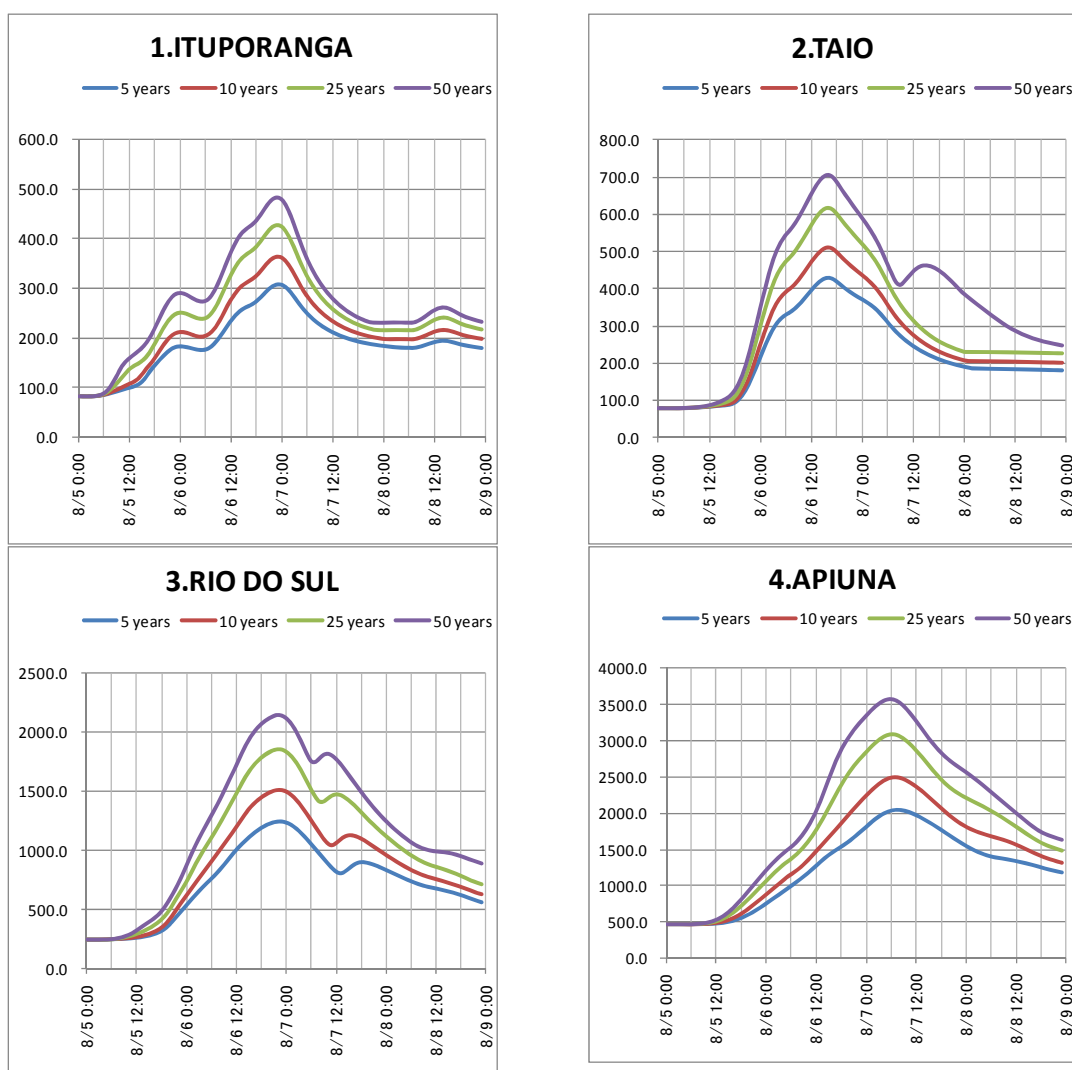
Figura - 7.5.3 - Vazão de enchente de cada lugar de referência

Na Tabela 7.5.1 está ilustrado o tempo da chegada do pico de enchente calculado. A diferença do tempo de pico entre as cidades de Rio do Sul e Blumenau é de 7 a 10 horas; entre as de Blumenau e Itajaí é de 14 a 17 horas. Após 1 dia do pico de enchente em Rio do Sul, ocorre o pico de enchente em Itajaí. Na Figura 7.5.4 está mostrado o hidrograma de enchente de projeto de cada cidade (lugar de referência).

Tabela – 7.5.1 - Tempo de pico de maior vazão de cada cidade, por tempo de retorno

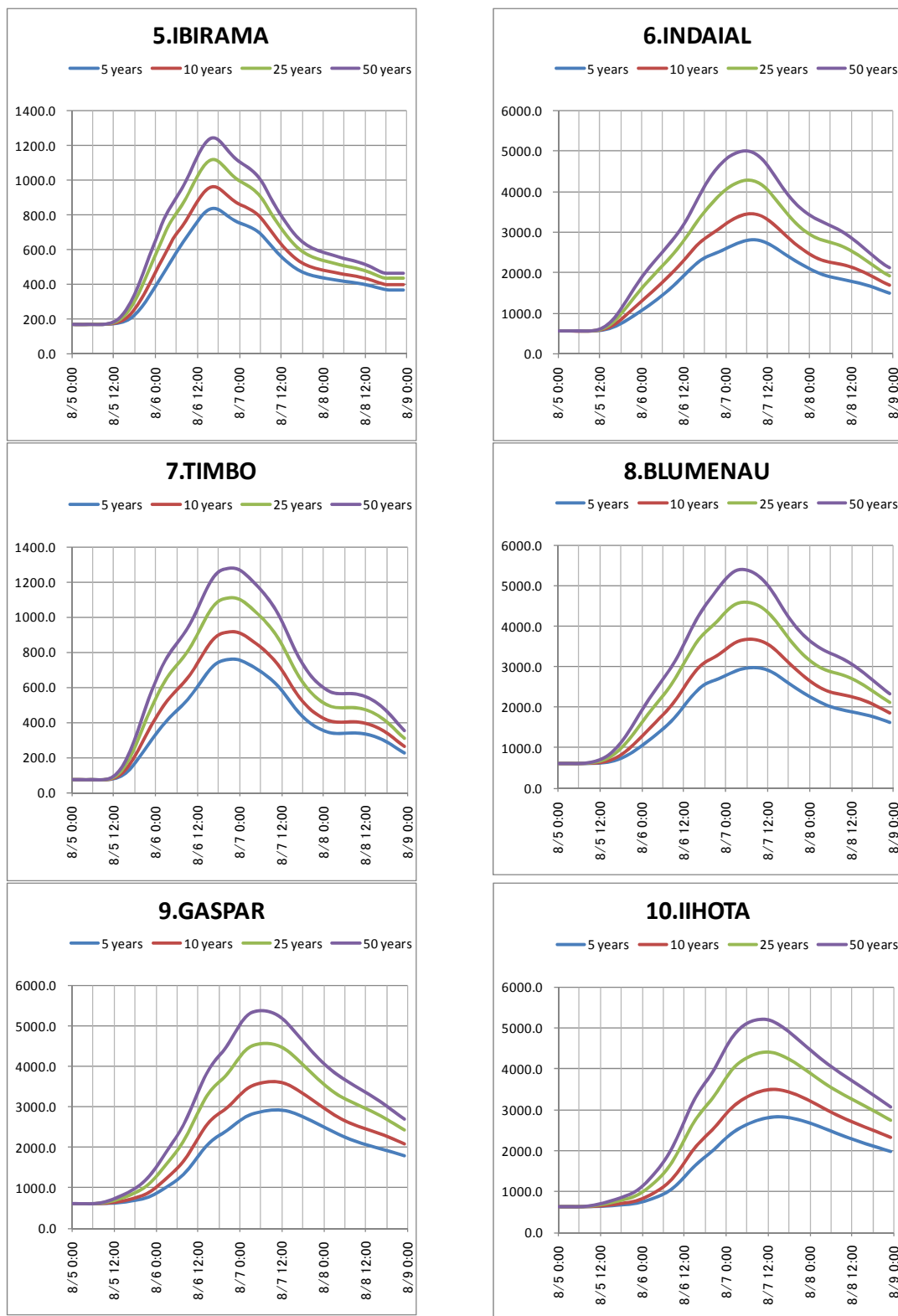
	Citys and Towns	Catchment Area km2	5 years		10 years		25 years		50 years	
			Discharge (m3/s)	Peak	Discharge (m3/s)	Peak	Discharge (m3/s)	Peak	Discharge (m3/s)	Peak
1	ITUPORANGA	1,645	310	08/06 23:00	370	08/06 23:00	430	08/06 23:00	490	08/06 23:00
2	TAIO	1,570	430	08/06 16:00	520	08/06 16:00	620	08/06 16:00	710	08/06 16:00
3	RIO DO SUL	5,041	1,300	08/06 22:00	1,600	08/06 22:00	1,900	08/06 22:00	2,200	08/06 22:00
4	APIUNA	9,288	2,100	08/07 07:00	2,600	08/07 07:00	3,100	08/07 06:00	3,600	08/07 06:00
5	IBIRAMA	3,341	840	08/06 17:00	970	08/06 17:00	1,200	08/06 17:00	1,300	08/06 17:00
6	INDAIAL	11,275	2,900	08/07 08:00	3,500	08/07 07:00	4,300	08/07 06:00	5,100	08/07 06:00
7	TIMBO	1,430	760	08/06 22:00	920	08/06 22:00	1,200	08/06 22:00	1,300	08/06 22:00
8	BLUMENAU	11,921	3,000	08/07 08:00	3,700	08/07 07:00	4,600	08/07 05:00	5,500	08/07 05:00
9	GASPAR	12,421	3,000	08/07 10:00	3,700	08/07 09:00	4,600	08/07 07:00	5,400	08/07 06:00
10	IIHOTA	12,673	2,900	08/07 15:00	3,500	08/07 13:00	4,400	08/07 12:00	5,200	08/07 10:00
11	ITAJAI	15,092	3,300	08/08 01:00	4,000	08/07 22:00	5,000	08/07 19:00	6,000	08/07 17:00
12	BRUSQUE	1,207	350	08/07 04:00	430	08/07 04:00	540	08/07 04:00	630	08/07 03:00

Fonte: Equipe de Estudos da JICA



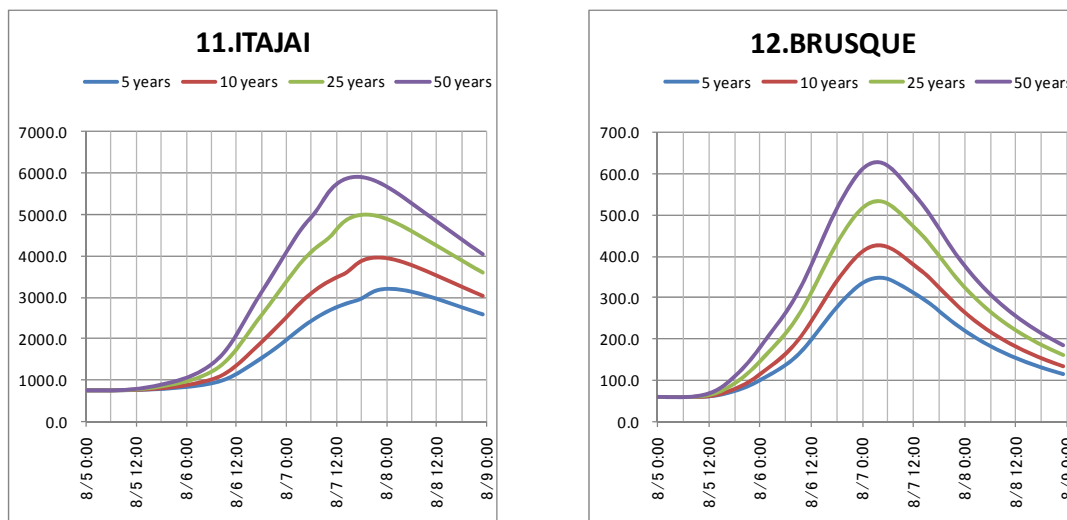
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 7.5.4 - Hidrograma da enchente de projeto para cada lugar de referência (1/3)



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 7.5.4 - Hidrograma da enchente de projeto para cada lugar de referência (2/3)



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 7.5.4 - Hidrograma da enchente de projeto para cada lugar de referência (3/3)

7.5.5 Ajuste da vazão da barragem de contenção de cheias

Nas Figuras 7.5.5 a 7.5.8 estão ilustrados o funcionamento de cada barragem por tempo de retorno. Na tabela abaixo ordenou-se o efeito de controle de enchentes para cada barragem.

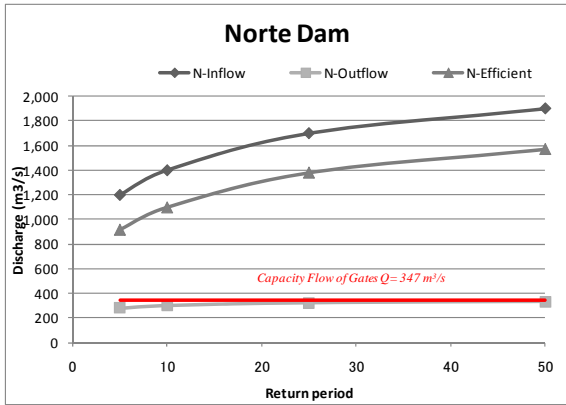
Tabela -7.5.2 - Afluência e descarga de cada barragem por tempo de retorno

Unidade : m³/sec

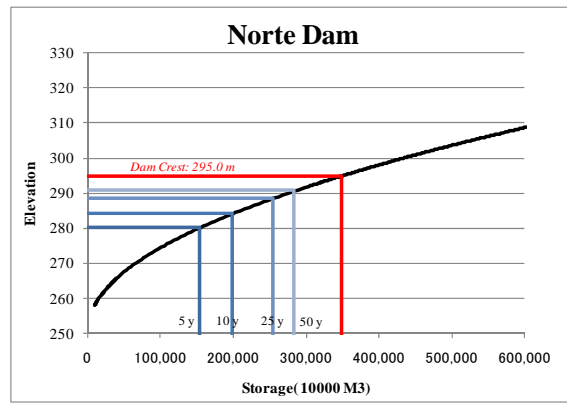
Return Period	Norte Dam			Oeste Dam			Sul Dam		
	N-Inflow	N-Outflow	N-Regulation	O-Inflow	O-Outflow	O-Regulation	S-Inflow	S-Outflow	S-Regulation
5 years	1,200	280	920	550	150	400	460	160	300
10 years	1,400	300	1,100	690	160	530	590	170	420
25 years	1,700	320	1,380	860	170	690	740	180	560
50 years	1,900	330	1,570	1,000	340	660	880	190	690

* : Situação de transbordamento, Fonte: Equipe de Estudos da JIC

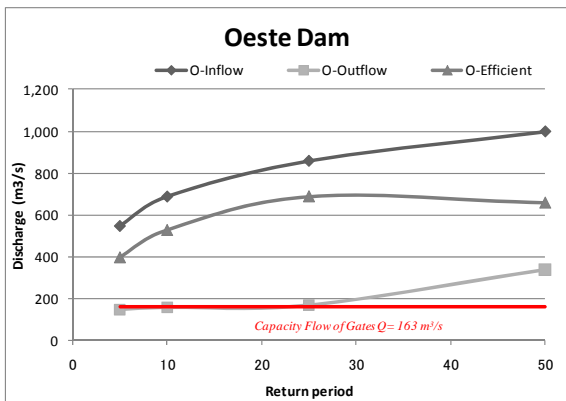
O nível de água dos reservatórios das barragens Norte e Sul não se elevarão até o vertedouro, mesmo com a enchente de 50 anos de retorno. Portanto, não ocorrerá transbordamento pelo vertedouro. Por outro lado, na Barragem Oeste, o reservatório ficará praticamente cheio com enchente de 25 anos de retorno; com 50 anos de retorno, o nível da água ultrapassará 0,9 m acima do vertedouro.



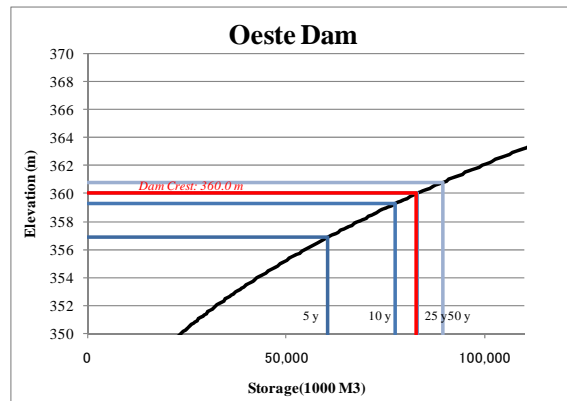
Afluência, descarga e pico de enchente por tempo de retorno



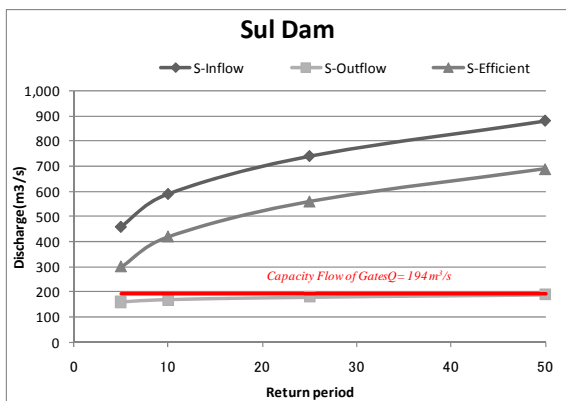
Nível máximo de água do Reservatório



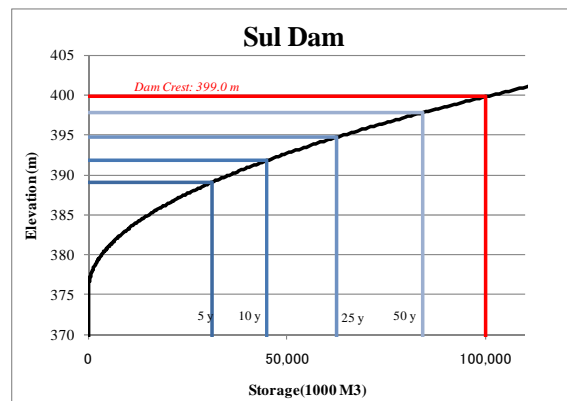
Afluência, descarga e pico de enchente por tempo de retorno



Nível máximo de água do Reservatório



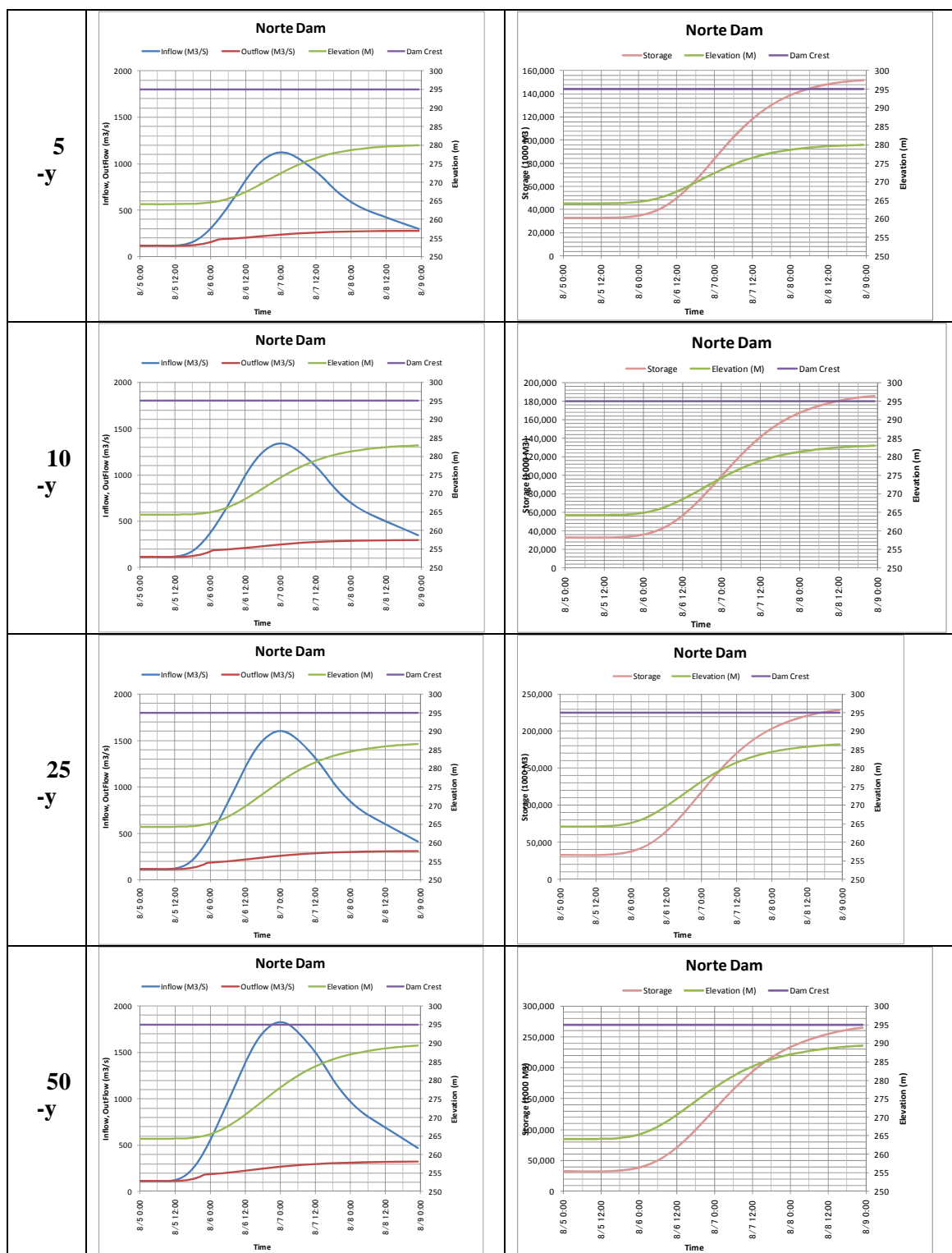
Afluência, descarga e pico de enchente por tempo de retorno



Nível máximo de água do Reservatório

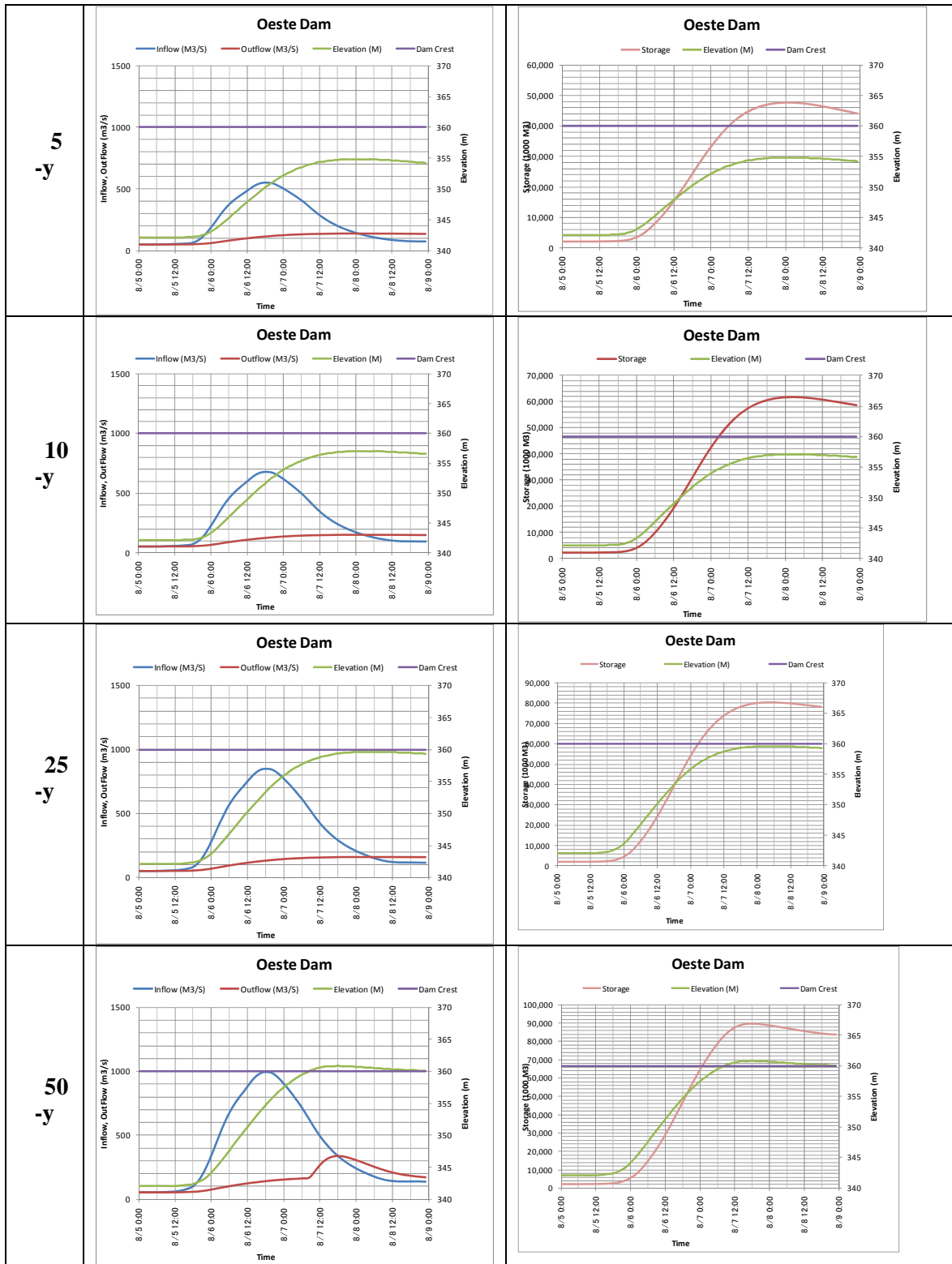
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura -7.5.5- Afluência, descarga e pico de enchente, por tempo de retorno, das três barragens e nível de água do reservatório



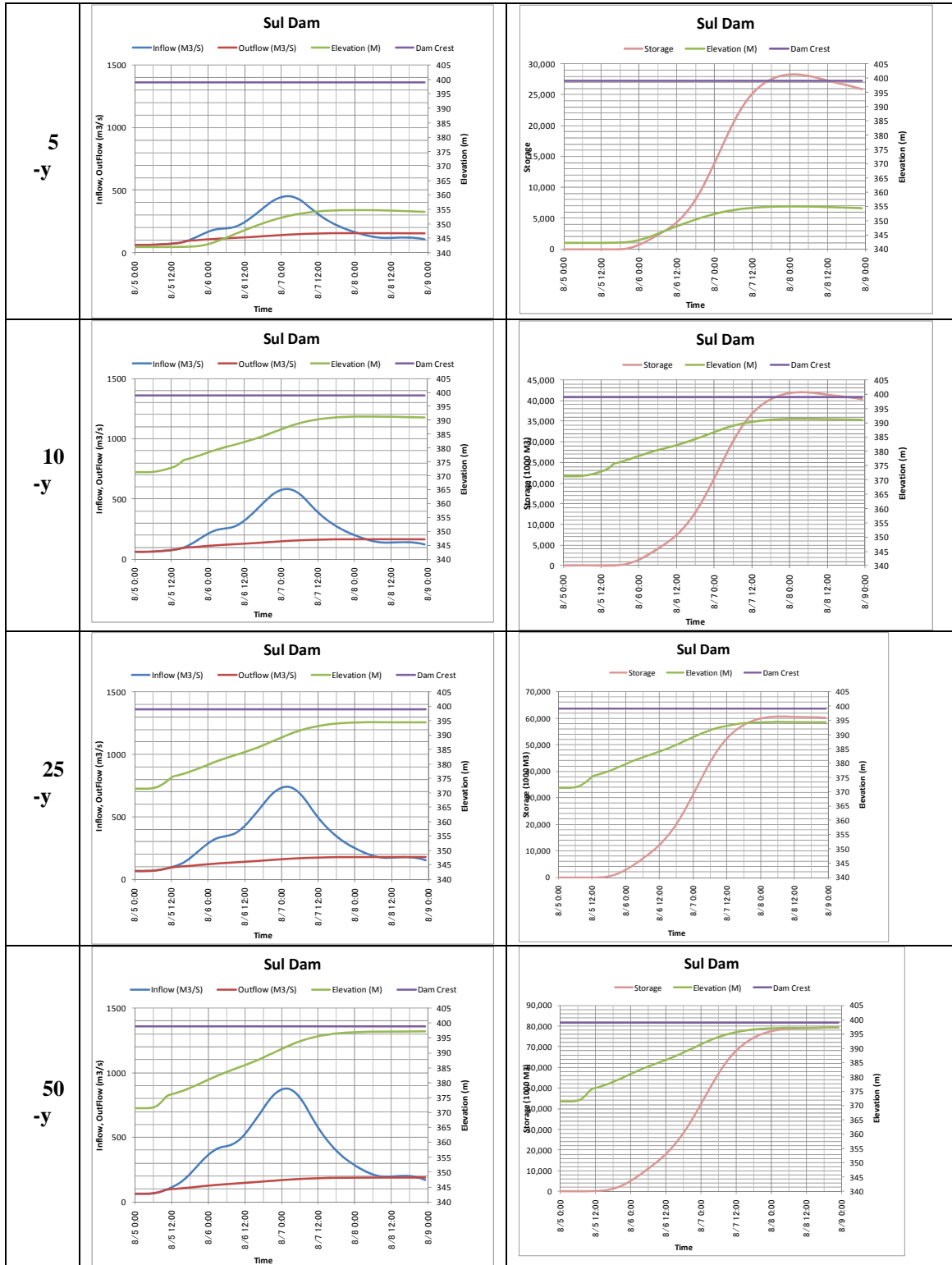
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura 7.5.6 Barragem Norte: hidrograma de afluência e descarga, para cada tempo de retorno, e hidrograma do nível da água e capacidade do reservatório



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura 7.5.7 Barragem Oeste: hidrograma de afluência e descarga, para cada tempo de retorno, e hidrograma do nível da água e capacidade do reservatório



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

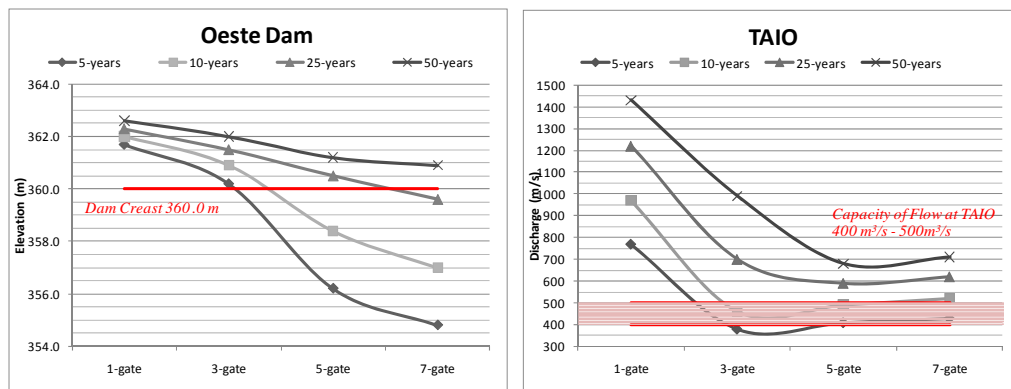
Figura - 7.5.8 - Barragem Sul: hidrograma de afluência e descarga, para cada tempo de retorno, e hidrograma do nível da água e capacidade do reservatório.

7.5.6 Comporta da Barragem Oeste

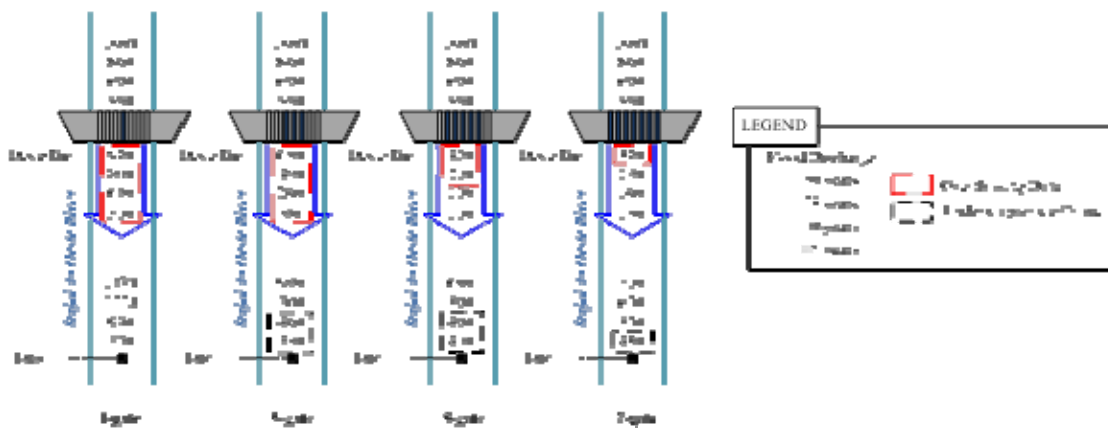
Na enchente de 04/2010 ocorreu o transbordamento pelo vertedouro, apesar do porte da enchente ser equivalente a cinco anos de retorno. De acordo com o presente estudo todas as comportas deveriam estar completamente abertas para obter o efeito máximo de controle de enchentes. A enchente teve dois picos e as comportas foram fechadas e abertas separadamente, conforme está mostrado na Figura 7.4.5.

Na Figura 7.5.9 abaixo está mostrado o nível máximo de contenção com a operação das comportas (7 comportas nos condutos de adução) da Barragem Oeste e a vazão de enchente da cidade de Taió, que está localizada a jusante da barragem. À medida que aumenta o número de comportas totalmente fechadas, a descarga diminui e aumenta o nível da água do reservatório, ocorrendo transbordamento pelo vertedouro. Na Barragem Oeste, mesmo com a enchente do porte de cinco anos de retorno, com fechamento total de quatro comportas, das sete existentes, ocorrerá transbordamento pelo vertedouro.

Além disso, a capacidade de escoamento do canal do rio nas imediações da cidade de Taió é em torno de 400-500 m³/séc; para enchentes de porte maior do que 25 anos de retorno e com as sete comportas abertas a vazão superará a capacidade de escoamento.



Unit : m³/sec,



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 7.5.9 - Variação do nível máximo de contenção com operação das comportas da barragem Oeste e relação da vazão de enchente na cidade de Taió