

## **Anexo D**

# **Estudos de Cheias para Avaliação dos Volumes de Espera dos Aproveitamentos do Sistema Cantareira – Relatório Final – Outubro de 2009 – V 2.0 -Hidro Engenheiros Consultores LTDA**

**SABESP**

**ESTUDOS DE CHEIAS PARA AVALIAÇÃO DOS VOLUMES DE  
ESPERA DOS APROVEITAMENTOS DO SISTEMA CANTAREIRA**

***Relatório Final***

*Outubro de 2009 – V 2.0*



## ÍNDICE

<b>1. OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DISPONIBILIDADE DE DADOS .....</b>	<b>4</b>
2.1. DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....	4
2.2. DADOS CARTOGRÁFICOS .....	9
2.3. DADOS GEOLÓGICOS .....	11
2.4. DADOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	11
<b>3. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS .....</b>	<b>12</b>
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA CANTAREIRA.....	12
3.2. DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS E OBTENÇÃO DAS ÁREAS DE DRENAGEM .....	14
3.3. PERFIS LONGITUDINAIS E TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO.....	16
3.4. CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	20
3.5. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO SOLO .....	23
3.5.1. Caracterização da área de estudo.....	23
3.5.2. Considerações sobre o Grupo de Solos Ocorrentes .....	29
3.5.3. Litotipos e Grupos Hidrológicos de Solos Ocorrentes na Bacia do Sistema Cantareira .....	35
3.6. DETERMINAÇÃO DO CN ("CURVE NUMBER") .....	37
3.7. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS .....	40
<b>4. ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHUVAS MÁXIMAS .....</b>	<b>42</b>
4.1. SÉRIES DE CHUVAS MÁXIMAS DE 1 DIA.....	42
4.2. ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHUVAS MÁXIMAS DE 1 DIA .....	43
<b>5. METODOLOGIA E CRITÉRIOS DE PROJETO.....</b>	<b>51</b>
<b>6. TORMENTAS DE PROJETO .....</b>	<b>52</b>
6.1. DURAÇÃO .....	52
6.2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL.....	52
6.3. ALTURA PLUVIOMÉTRICA.....	53
6.4. DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL.....	53
<b>7. DETERMINAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE PROJETO.....</b>	<b>56</b>
7.1. MÉTODO E PARÂMETROS PARA PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS .....	56

7.2. MODELAGEM COMPUTACIONAL .....	62
7.3. HIDROGRAMAS DE PROJETO .....	62
7.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS HIDROGRAMAS DO PROJETO .....	66
<b>8. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DOS APROVEITAMENTOS .....</b>	<b>67</b>
8.1. RELAÇÕES COTA X ÁREA X VOLUME.....	67
8.2. RELAÇÕES COTA X DESCARGA DOS VERTEDOUROS .....	69
8.3. DADOS OPERACIONAIS .....	72
<b>9. ANÁLISE DA SEGURANÇA HIDROLÓGICA DAS BARRAGENS.....</b>	<b>73</b>
<b>10. DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS EM FUNÇÃO DAS VAZÕES DE RESTRIÇÃO .....</b>	<b>81</b>
10.1. LEVANTAMENTOS TOPOBATIMÉTRICOS .....	81
10.2. DADOS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS .....	81
10.3. MODELAGEM COMPUTACIONAL DOS RIOS A JUSANTE DOS APROVEITAMENTOS.....	86
10.4. SIMULAÇÕES E RESULTADOS .....	89
<b>11. ANÁLISE DAS ÁREAS NÃO CONTROLADAS .....</b>	<b>101</b>
11.1. MODELAGEM DAS SUB-BACIAS NÃO CONTROLADAS .....	101
11.2. HIDROGRAMAS DE PROJETO .....	107
<b>12. ANÁLISE DOS VOLUMES DE ESPERA.....</b>	<b>117</b>
12.1. VAZÕES DE RESTRIÇÃO.....	117
12.2. MODELAGEM COMPUTACIONAL E SIMULAÇÕES.....	122
12.3. AVALIAÇÃO DO VOLUME DE ESPERA .....	127
<b>13. PERDAS NO SISTEMA CANTAREIRA DEVIDO AOS VOLUMES DE ESPERA .....</b>	<b>130</b>
<b>14. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>135</b>
<b>15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXO I – SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ANUAIS DE 1 DIA NOS 48 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS .....</b>	<b>140</b>

## 1. Objetivo

O objetivo deste relatório é apresentar os estudos hidrológicos para avaliação dos volumes de espera dos aproveitamentos do Sistema Cantareira considerando os aspectos de segurança hidrológica das barragens e as vazões de restrição a jusante.

## 2. Disponibilidade de Dados

### 2.1. Dados Pluviométricos

Foram feitas pesquisas da disponibilidade de dados pluviométricos nos diversos órgãos federais e estaduais que dispõem de estações na região das bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira. Estas pesquisas permitiram verificar a disponibilidade de dados pluviométricos na Sabesp, na Agência Nacional de Águas (ANA), no Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo (DAEE) e Empresa Metropolitana de Águas e Energia S. A. (EMAE).

A Tabela 1 apresenta a lista dos postos pluviométricos disponíveis nas bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira, obtidas no Inventário de Estações Pluviométricas da ANEEL, 2001. A pré-seleção dos postos pluviométricos foi feita considerando-se uma distância de 10 km no entorno das bacias hidrográficas. Os postos selecionados para os objetivos deste estudo estão destacados em amarelo. Para cada posto pluviométrico apresenta-se os códigos da ANA, o nome do posto, o tipo do posto (P = pluviométrica, R = pluviográfica, E = evaporimétrica e C = Climatológica), o nome do município e a sigla da Unidade Federal onde está localizado, a entidade operadora, a localização cartográfica (latitude e longitude), a altitude e o período de observações.

A Tabela 2 apresenta a lista de postos pluviométricos disponíveis nas bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira, obtidas do SSD2 da SABESP, apresentados segundo o cadastro de postos fornecido pelo SSD2. Os postos selecionados estão destacados em amarelo. As informações fornecidas pelo cadastro do SSD2 são: código do posto, nome do posto, município, sistema, bacia, represa, curso d'água, frequência dos dados, situação, ativo, altitude, coordenadas UTM E, UTM N, latitude e longitude.

A Figura 1 “Disponibilidade de Dados Pluviométricos” apresenta a localização dos postos pluviométricos selecionados e a rede hidrográfica principal.

**TABELA 1 – DISPONIBILIDADE DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS**

Código ANA	Nome da Estação	Tipo						Município	UF	Entidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Início	Fim	Período de Observações (anos)
2246050	CAMBUI (CSME)	P						Cambuí	MG	ANA	-22,607222	-46,041944	900	07/1941		67
2246057	CAMANDUCAIA	P	R					Camanducaia	MG	ANA	-22,760000	-46,146944	1040	11/1974		34
2346094	PIRACIA	P						Piracaia	SP	ANA	-23,052222	-46,365278	790	03/1942		67
2346096	NAZARE PAULISTA	P						Nazaré Paulista	SP	ANA	-23,166667	-46,383333		02/1952	02/1973	21
2346098	FRANCO DA ROCHA	P						Franco da Rocha	SP	ANA	-23,333333	-46,733333	740	07/1962		46
2245050	SAO FRANCISCO XAVIER	P	R					São José dos Campos	SP	DAEE	-22,916667	-45,966667	730	05/1939		70
2246035	VARGEM (US.FLORES-CPFL)	P						Vargem Grande Paulista	SP	DAEE	-22,900000	-46,416667	940	08/1937		71
2246036	BRAGANCA PAULISTA	P	R					Bragança Paulista	SP	DAEE	-22,933333	-46,533333	800	01/1970		39
2246086	GUIRRA	P						São José dos Campos	SP	DAEE	-22,999722	-46,033333	690	09/1972		36
2246088	FORMIGA	P						Toledo	MG	DAEE	-22,733333	-46,416667	1080	05/1971		37
2246090	JOANOPOLIS	P						Joanópolis	SP	DAEE	-22,933333	-46,266667	920	06/1951		57
2246092	BRAGANCA PAULISTA	P						Bragança Paulista	SP	DAEE	-22,966667	-46,533333	840	03/1943	09/1957	15
2246095	PEDRA BELA	P	R					Pedra Bela	SP	DAEE	-22,800000	-46,450000	1090	11/1940		68
2246099	FAZENDA BONFIM	P						Joanópolis	SP	DAEE	-22,966667	-46,100000	1150	04/1940		69
2246133	BRAGANCA PAULISTA-FUMEST	P	R		C			Bragança Paulista	SP	DAEE	-22,950000	-46,533333	860	01/1974		35
2346004	PIRACIA	P	R					Piracaia	SP	DAEE	-23,050000	-46,350000	820	08/1942		66
2346005	BATATUBA	P						Piracaia	SP	DAEE	-23,083333	-46,400000	780	05/1970		38
2346007	ATIBAIA	P						Atibaia	SP	DAEE	-23,150000	-46,550000	770	08/1960		48
2346010	NAZARE PAULISTA	P						Nazaré Paulista	SP	DAEE	-23,183333	-46,400000	790	06/1946		62
2346015	RIO ACIMA	P	R					Atibaia	SP	DAEE	-23,216667	-46,666667	800	11/1970		38
2346017	MORRO GRANDE	P						Nazaré Paulista	SP	DAEE	-23,266667	-46,416667	870	09/1969		39
2346020	MAIRIPORA	P						Mairiporã	SP	DAEE	-23,316667	-46,583333	800	01/1937		72
2346021	FRANCO DA ROCHA (HOSP.JUQUERI)	P	R					Franco da Rocha	SP	DAEE	-23,333333	-46,683333	740	04/1937		72
2346025	BAIRRO FAZENDA VELHA	P						Arujá	SP	DAEE	-23,383333	-46,350000	760	07/1965		43
2346026	CABUCU (SABESP)	P			C			Jundiá	SP	DAEE	-23,400000	-46,533333	760	11/1940		68
2346027	PERUS	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,400000	-46,750000	840	10/1936		72
2346030	BOM SUCESSO	P						Guarulhos	SP	DAEE	-23,416667	-46,400000	770	08/1936		72
2346031	CANTAREIRA (SABESP)	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,450000	-46,616667	840	10/1940	12/1969	29
2346032	HORTO FLORESTAL	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,466667	-46,633333	790	01/1899		110
2346034	BARROCADA	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,416667	-46,566667	760	11/1940		68
2346035	ENGORDADOR	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,400000	-46,583333	800	10/1940		68

TABELA 1- DISPONIBILIDADE DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS (CONTINUAÇÃO)

Código ANA	Nome da Estação	Tipo						Município	UF	Entidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Início	Fim	Período de Observações (anos)
2346036	NOSSA SENHORA DO O	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,466667	-46,716667	790	07/1957		51
2346041	SANTANA	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,500000	-46,616667	760	08/1936		72
2346044	PONTE PEQUENA	P	R					São Paulo	SP	DAEE	-23,516667	-46,650000	720	03/1943		66
2346281	GUARULHOS	P						Guarulhos	SP	DAEE	-23,450000	-46,533333	730	08/1936	07/1969	33
2346305	FRANCO DA ROCHA (EFSJ) E3-069	P						Franco da Rocha	SP	DAEE	-23,333333	-46,733333	730	06/1943	12/1969	27
2346306	SAO PAULO (FAC.DE HIGIENE)	P				C		São Paulo	SP	DAEE	-23,466667	-46,633333	816	01/1940		69
2346308	GUARAU (SABESP)	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,466667	-46,666667	840	10/1940	05/1967	27
2346309	ITAGUACU (SABESP)	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,450000	-46,616667	0	10/1940	06/1971	31
2346321	BIRITIBA-MIRIM	P						Biritiba-Mirim	SP	DAEE	-23,000000	-46,000000	0	01/1953		56
2346325	GRANJA RIO ACIMA	P						Mojí das cruzeiras	SP	DAEE	-23,000000	-46,000000	745	11/1945	11/1958	13
2346328	CUMBICA (FAB)	P						Guarulhos	SP	DAEE	-23,433333	-46,483333	780	01/1951	05/1971	20
2346334	CRIoulos	P						Piracaia	SP	DAEE	-23,066667	-46,300000	900	10/1970		38
2346352	RIBEIRAO ACIMA	P						Nazaré Paulista	SP	DAEE	-23,183333	-46,333333	800	12/1972		36
2346360	GUARULHOS (TRAMWAY CANTAREIRA)	P						Guarulhos	SP	DAEE	-23,000000	-46,000000	0	07/1938		70
2346418	GUARAU	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,433333	-46,650000	828	01/1985		24
2346434	PENHA	P						São Paulo	SP	DAEE	-23,000000	-46,000000	0	10/1990		18
2346154	ETD PIRITUBA P12-098	P						São Paulo	SP	EMAE	-23,5025	-46,71277778	0	03/1937		72
2346155	MAIRIPORA P12-097	P						Mairiporã	SP	EMAE	-23,322500	-46,586111	0	03/1937		72
2346204	THOMAS EDISON P12-057	P					T	São Paulo	SP	EMAE	-23,518056	-46,664722	0	12/1966		42
2346221	SILVAS P8-191	P							SP	EMAE	-23,000000	-46,000000	700	10/1926	11/1949	23
2346222	JARDIM BARONEZA (KM 15)	P						São Paulo	SP	EMAE	-23,500000	-46,766667	0	07/1937		71
2346235	BERITIBA P12-076	P						Mojí das cruzeiras	SP	EMAE	-23,000000	-46,000000	740	03/1925		84
2346248	JUNDIAPEBA P12-081	P						Mojí das cruzeiras	SP	EMAE	-23,266667	-46,300000	760	04/1925	09/1958	33
2346272	ATIBAIA P12-086	P						Atibaia	SP	EMAE	-23,11666667	-46,55	0	01/1949	04/1964	15



**TABELA 2 – DISPONIBILIDADE DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS (CADASTRO DO SSD2-SABESP)**

CodPosto	Cod ANA*	NomePosto	Município	Sistema	Bacia	Represa	CursoDagua	Freq	Ativo	Altitude	UTME CA23	UTMNC A23	Lat	Lon
AG-CLARAS		Águas Claras -antigo	São Paulo	Cantareira				Diário	FALSO	960	327427,24	7410257,08	23,24	46,41
BRA		BARRAGEM ATIBAINHA	Nazaré Paulista	Cantareira	Rio Atibainha	Represa Atibainha	Rio Atibainha	Diário	VERDADEIRO	840	357451,63	7436534,3	23,11	45,23
BRC		BARRAGEM CACHOEIRA	Piracaia	Cantareira	Rio Cachoeira	Represa Cachoeira	Rio Cachoeira	Diário	VERDADEIRO	860	364840,79	7450313,21	23,05	46,19
BRJ		BARRAGEM PAIVA CASTRO	Mairiporã	Cantareira		Represa Paiva Castro		Diário	VERDADEIRO	745	328425,68	7418831,97	23,23	46,4
P-1	2346136	AGUAS CLARAS	Sem Município					Diário	VERDADEIRO	960	329470,47	7412803,58	23,23	46,4
P-10	2246141	BARRAGEM JAGUARI	Bragança Paulista	Cantareira	Rio Jaguari	Represa Jaguari/Jacareí	Rio Jaguari	Diário	VERDADEIRO	900	354278,57	7464347,97	22,55	46,25
P-11	2246137	SERTAO GRANDE	Camanducaia		Rio Jaguari			Diário	VERDADEIRO	1030	378501,15	7490857,59	22,41	46,11
P-12	2246138	MONT E VERDE	Camanducaia		Rio Jaguari			Diário	VERDADEIRO	1620	392424,89	7471125,56	22,52	46,03
P-13	2246139	PONTE NOVA	Camanducaia		Rio Jaguari			Diário	VERDADEIRO	1300	391886,01	7478748,86	22,47	46,03
P-14A		FAZ.BOA VISTA	Sapucaí-Mirim		Rio Jaguari			Diário	VERDADEIRO	1500	414043,83	7483318,88	22,45	45,5
P-15	2246140	B.CAN-CAN	Camanducaia	Cantareira	Rio Jaguari			Diário	VERDADEIRO	1060	375783,25	7463223,04	22,56	46,12
P-1A		A.CLARAS	São Paulo	Cantareira		Represa Águas Claras		Diário	VERDADEIRO	960	330664,94	7411439,58	23,23	46,4
P-2	2346135	MAIRIPORÃ	Mairiporã					Diário	VERDADEIRO	780	338399,57	7419456,67	23,19	46,35
P-23		GRAF.JANDAIA	Franco da Rocha					Diário	VERDADEIRO	790	322192,38	7418193,92	23,2	46,44
P-24		B.ITAÍM	Mairiporã					Diário	VERDADEIRO	810	331561,17	7423718,1	23,17	46,39
P-25		7 VOLTAS	Franco da Rocha					Diário	VERDADEIRO	850	319238,3	7422803,75	23,17	46,46
P-29		B.MACHADOS	Igaratá					Diário	VERDADEIRO	700	379009,12	7441805,46	23,07	46,11
P-2A		CEMITERIO	Mairiporã					Diário	VERDADEIRO		339808,19	7420548,7	23,19	46,34
P-3	2346134	Tapera Grande	Mairiporã					Diário	VERDADEIRO	760	352043,99	7421445,12	23,18	46,27
P-30		B.DIVININHO	Nazaré Paulista		Rio Atibainha			Diário	VERDADEIRO	800	363680,26	7435121,73	23,11	46,2
P-4	2246046	FAZ.RETIRO	Joanópolis		Rio Cachoeira			Diário	VERDADEIRO	1180	385051,25	7462582,79	22,56	46,07
P-5	2346403	AGUA DO POCO	Nazaré Paulista		Rio Atibainha			Diário	VERDADEIRO	800	380080,05	7453716,97	23,01	46,1
P-6	2346402	BAIRRO CUIABA	Nazaré Paulista		Rio Atibainha			Diário	VERDADEIRO	800	357389,4	7426911,4	23,15	46,23
P-7	2246134	B.CUNHAS (MATO MOLE)	Joanópolis		Rio Cachoeira			Diário	VERDADEIRO	900	372739,21	7456578,47	22,59	46,14
P-8	2246136	B.PERICOS(FAZ.RABELO)	Camanducaia		Rio Jaguari			Diário	VERDADEIRO	1050	378840,98	7480434,16	22,46	46,1
P-8A		Salto do Meio	Extrema		Rio Jaguari			Diário	VERDADEIRO	930	375749,28	7474431,34	22,83	46,21
P-9	2246135	Extrema	Extrema	Cantareira	Rio Jaguari			Diário	VERDADEIRO	930	369137,04	7480834,58	22,78	46,26

\* Cabe observar que os códigos ANA não constam no Cadastro dos Postos da SABESP emitido pelo SSD2, foram associados por consulta ao Inventário dos Postos Pluviométricos da ANEEL, 2001

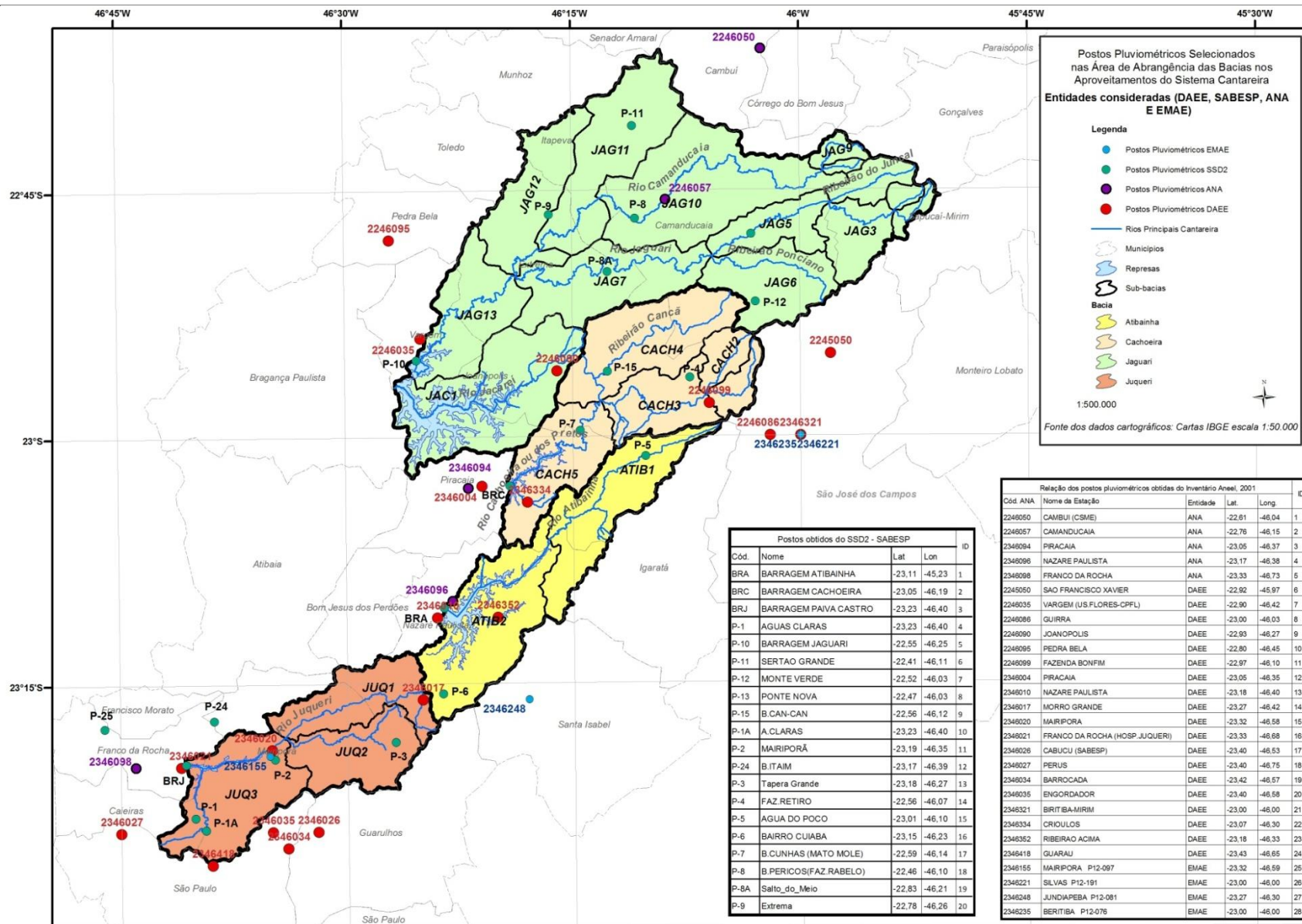


FIGURA 1 - DISPONIBILIDADE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

## 2.2. Dados Cartográficos

Na área de abrangência dos estudos, ou seja, as bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira foram utilizadas as bases cartográficas na escala 1:50.000, com equidistância das curvas de nível de 20 m, elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Instituto Geográfico e Cartográfico – IBGE. A Figura 2 apresenta as folhas topográficas utilizadas e sua disposição relativa.



### 2.3.Dados Geológicos

Os dados geológicos utilizados neste trabalho na área de abrangência das bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira necessários para a caracterização hidrogeológica das bacias foram obtidos:

- Mapa Geológico do Estado de São Paulo versão 2.0, escala 1:750.000 – CPRM – Serviço Geológico do Brasil;
- Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000 - CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

### 2.4.Dados de Uso e Ocupação do Solo

Os dados de uso e ocupação do solo na área de abrangência das bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira foram obtidos junto a Sabesp. A classificação do uso e ocupação do solo foi obtida através de interpretação da imagem de satélite LandSat 7 ETM para os anos de 1989, 1999 e 2003 elaborada pelo ISA – Instituto Socioambiental <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Whately, Marussia. Cantareira 2006 : um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo / Marussia Whately, Pilar Cunha.  
-- São Paulo : Instituto Socioambiental, 2007.

### 3. Características Fisiográficas

As características fisiográficas levantadas na área de abrangência das bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira são as seguintes:

- Delimitação das sub-bacias e cálculo das respectivas áreas de drenagem;
- Determinação dos perfis longitudinais dos talwegues das bacias;
- Determinação do tempo de concentração nas bacias e sub-bacias;
- Caracterização do uso e ocupação do solo;
- Classificação hidrogeológica do solo;
- Determinação do CN

As características fisiográficas serão utilizadas na modelagem para a geração dos hidrogramas de projeto em cada bacia.

#### 3.1. Localização da Área de Abrangência do Sistema Cantareira

O Sistema Cantareira é formado pelas bacias dos rios Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos. Sendo que os rios Jaguari/Jacareí, Cachoeira e Atibainha pertencem à bacia do rio Piracicaba. A bacia do rio Jaguari tem 79% de sua área localizada no Estado de Minas Gerais e a bacia do rio Cachoeira 11%.

A bacia do rio Juqueri pertence à bacia do Alto Tietê.

A Figura 3 apresenta a localização das bacias formadoras do Sistema Cantareira, bem como os principais municípios na área de abrangência.



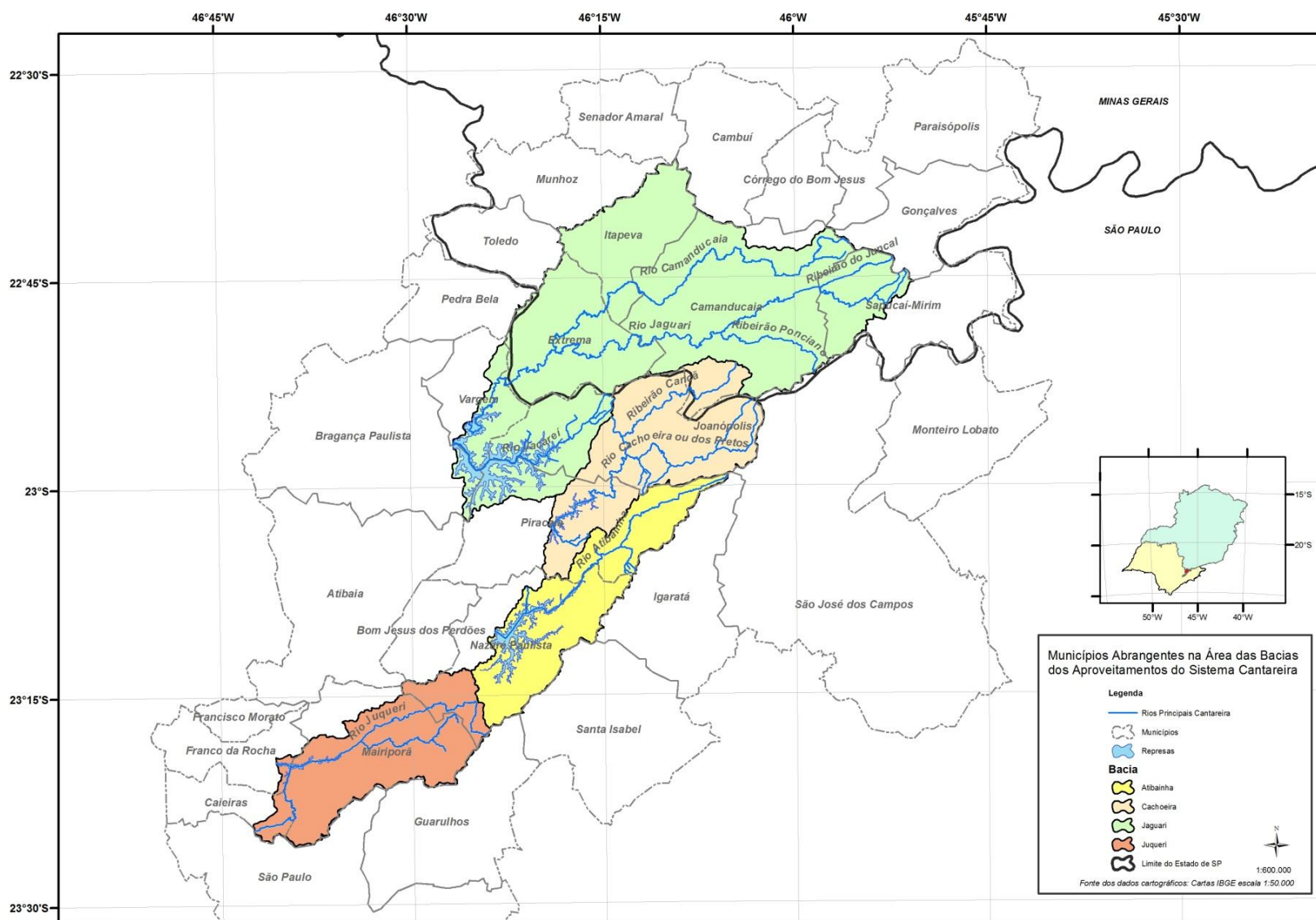


FIGURA 3 –ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA CANTAREIRA

### 3.2. Delimitação das Sub-bacias e Obtenção das áreas de drenagem

As bacias dos rios Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos foram subdivididas em função da necessidade de uma análise geológica mais abrangente.

A planimetria das bacias hidrográficas resultou nas áreas de drenagem apresentadas na Tabela 3. A Figura 4 apresenta as sub-bacias hidrográficas e a rede hídrica principal.

**TABELA 3 – ÁREAS DE DRENAGEM DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SISTEMA CANTAREIRA**

Bacia	Sub-Bacias	Áreas de drenagem (km <sup>2</sup> )
J a g u a r i	JAG 1	12,15
	JAG 2	9,57
	JAG 3	57,49
	JAG 4	32,25
	JAG 5	57,99
	JAG 6	99,45
	JAG 7	136,02
	JAG 8	5,71
	JAG 9	15,24
	JAG 10	218,94
	JAG 11	157,13
	JAG 12	111,13
	JAG 13	114,17
	Tot. Jaguari	1027,24
Jacareí	JAC1 (Jacareí)	202,76
C a c h o e i r a	CACH 1	25,74
	CACH 2	28,12
	CACH 3	76,98
	CACH 4	147,63
	CACH 5	113,54
	Tot. Cachoeira	392,00
Atibainha	ATIB 1	138,76
	ATIB 2	173,24
	Tot. Atibainha	312,00
Juqueri	JUQ 1	108,68
	JUQ 2	104,19
	JUQ 3	156,13
	Tot. Juqueri	369,00
Total	Área Total	2.303,00



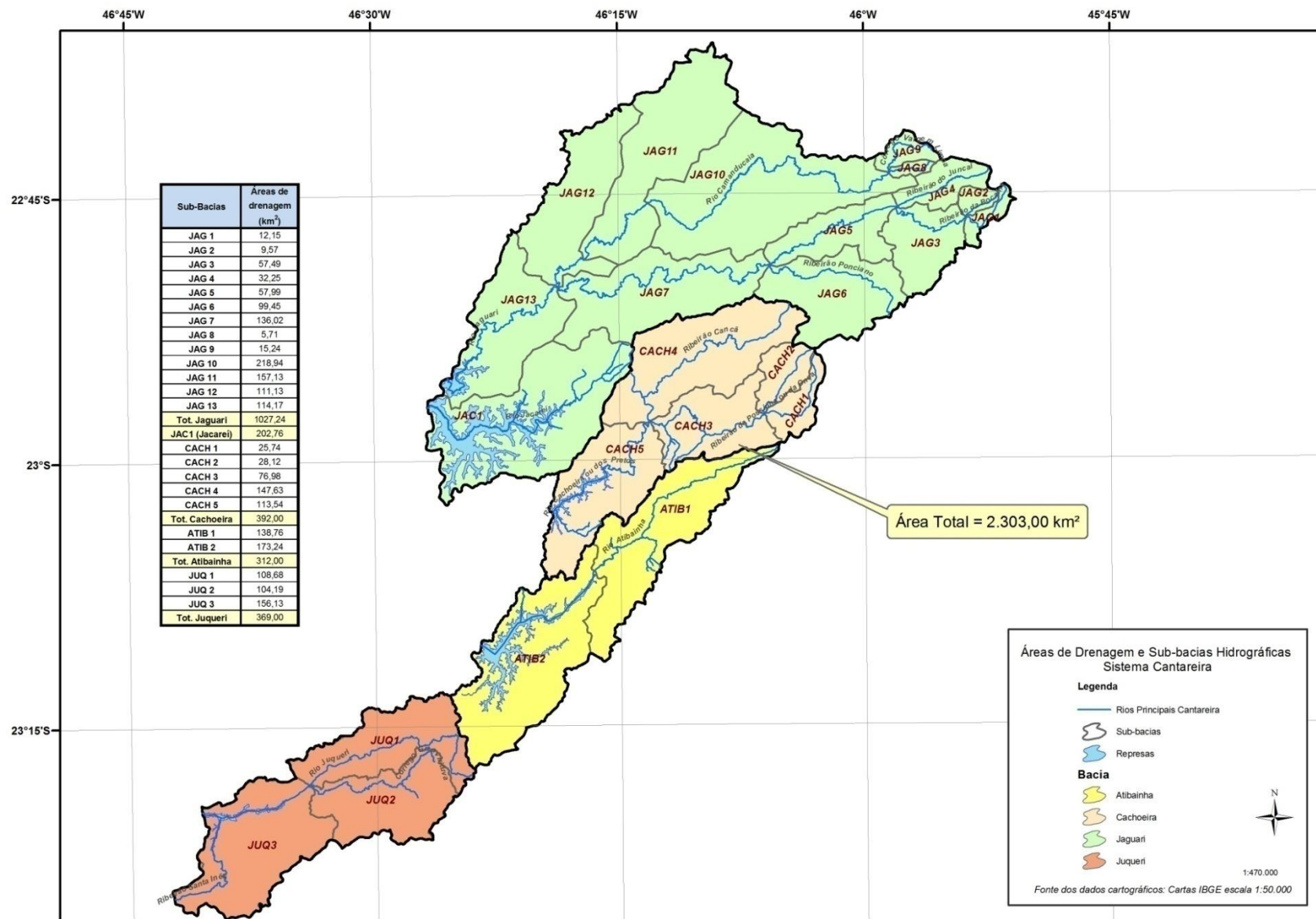


FIGURA 4 – SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA CANTAREIRA

### 3.3.Perfis Longitudinais e Tempos de Concentração

Foram levantados os perfis longitudinais dos talwegues das bacias hidrográficas dos rios Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri e os respectivos tempos de concentração. Entende-se como talvegue o ponto mais distante da bacia hidrográfica, em percurso hidráulico, até o seu exutório.

O tempo de concentração é o parâmetro hidrológico definido como o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente, em percurso hidráulico, na bacia até o seu exutório (Silveira, 2005).

Como pode ser constatado no item 3.4, a área de abrangência dos estudos é predominantemente rural. Sendo assim o tempo de concentração foi determinado utilizando-se a equação do Corps of Engineers determinada e testada em bacias rurais (Silveira, 2005). A fórmula é apresentada pela seguinte equação:

$$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$$

Onde:

$T_c$  = tempo de concentração, em horas;

$L$  = comprimento do talvegue da bacia hidrográfica;

$S$  = declividade entre a cota de montante e jusante, em m/m

As Figuras 5 a 9 apresentam os perfis longitudinais dos talwegues principais e a Tabela 4 apresenta um resumo dos perfis longitudinais.

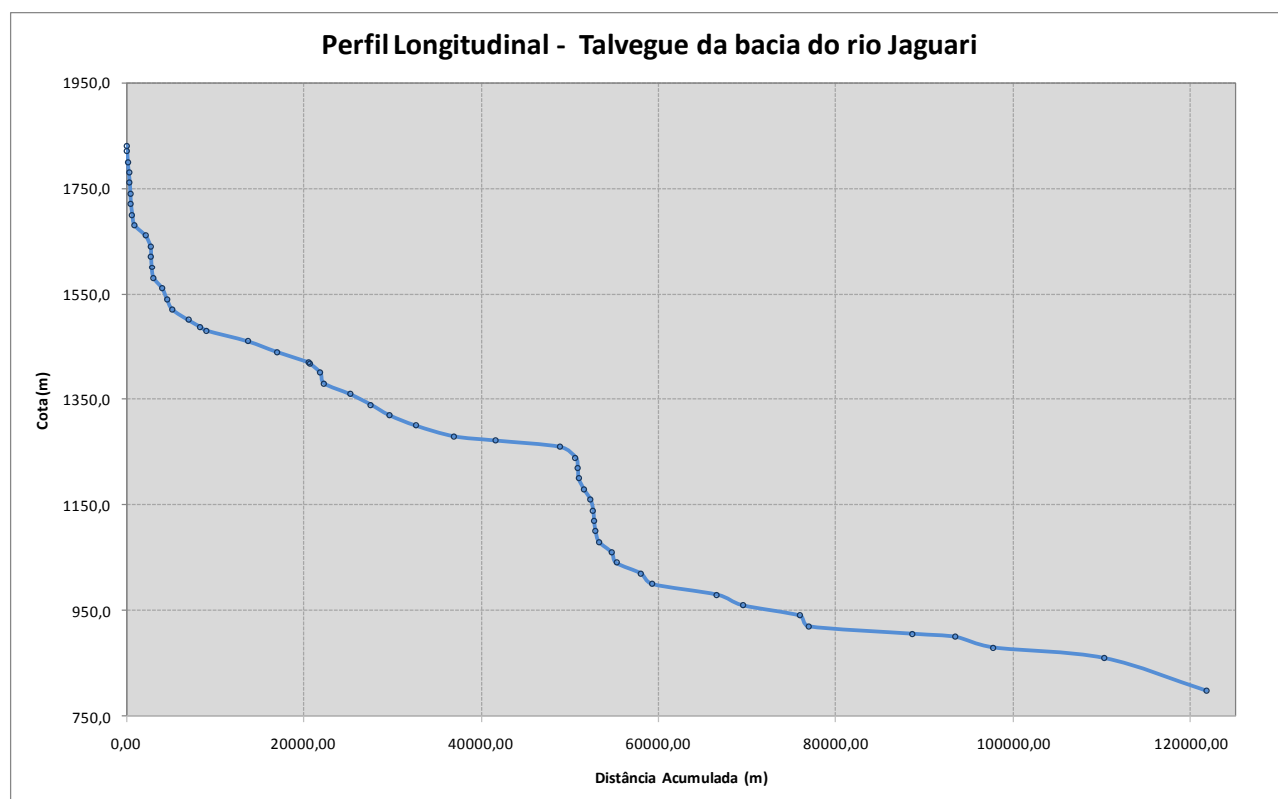
A caracterização potamográfica básica dos principais cursos d'água dessas bacias é apresentada na Tabela 4 por meio de alguns de seus parâmetros:

**TABELA 4 – PARÂMETROS POTAMOGRAFICOS BÁSICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS**

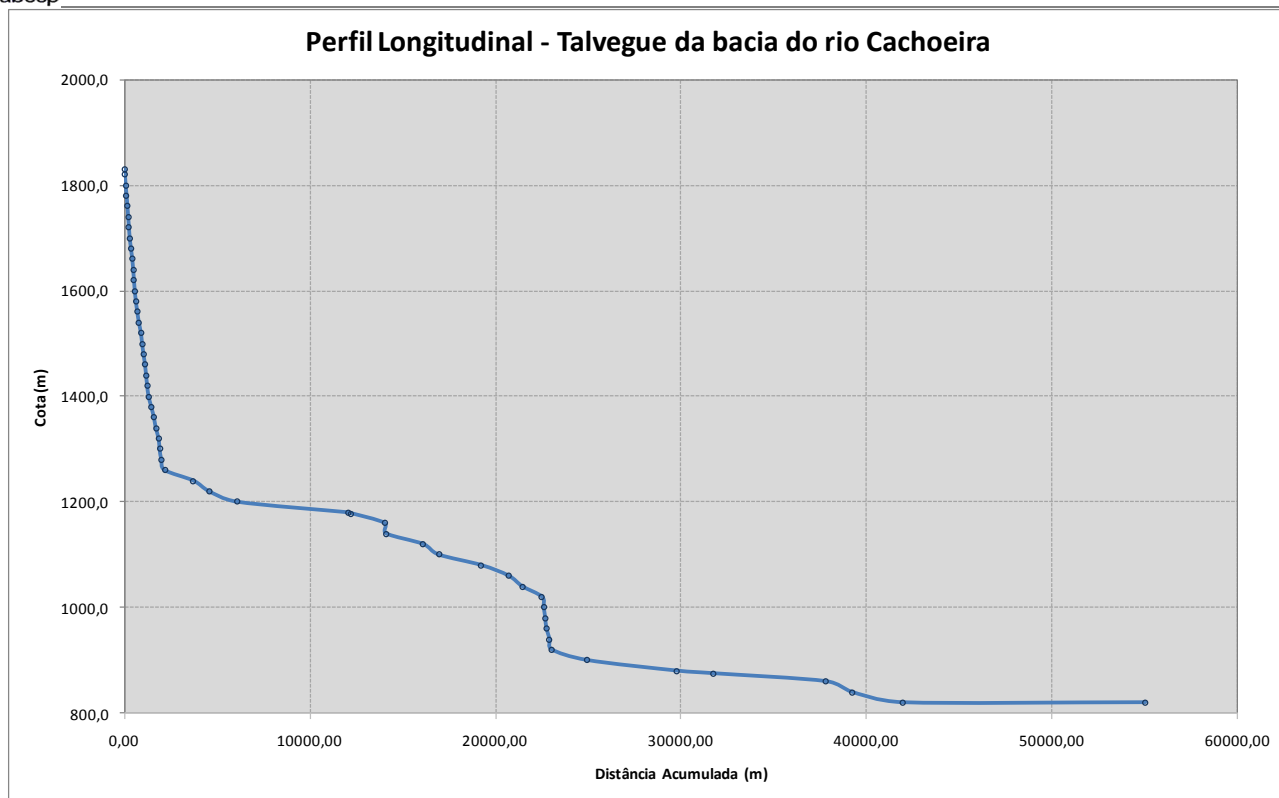
Talvegues das bacias	Extensão (km)	Declividade (m/m) (%) (*)
Rio Jaguari	121,8	0,0085 (0,85)
Rio Jacareí	36,1	0,0151 (1,51)
Rio Cachoeira	55,0	0,0184 (1,84)
Rio Atibainha	48,3	0,0115 (1,15)
Rio Juqueri	40,6	0,0160 (1,60)

(\*) Declividade obtida pela diferença de cotas de montante e jusante sobre a extensão

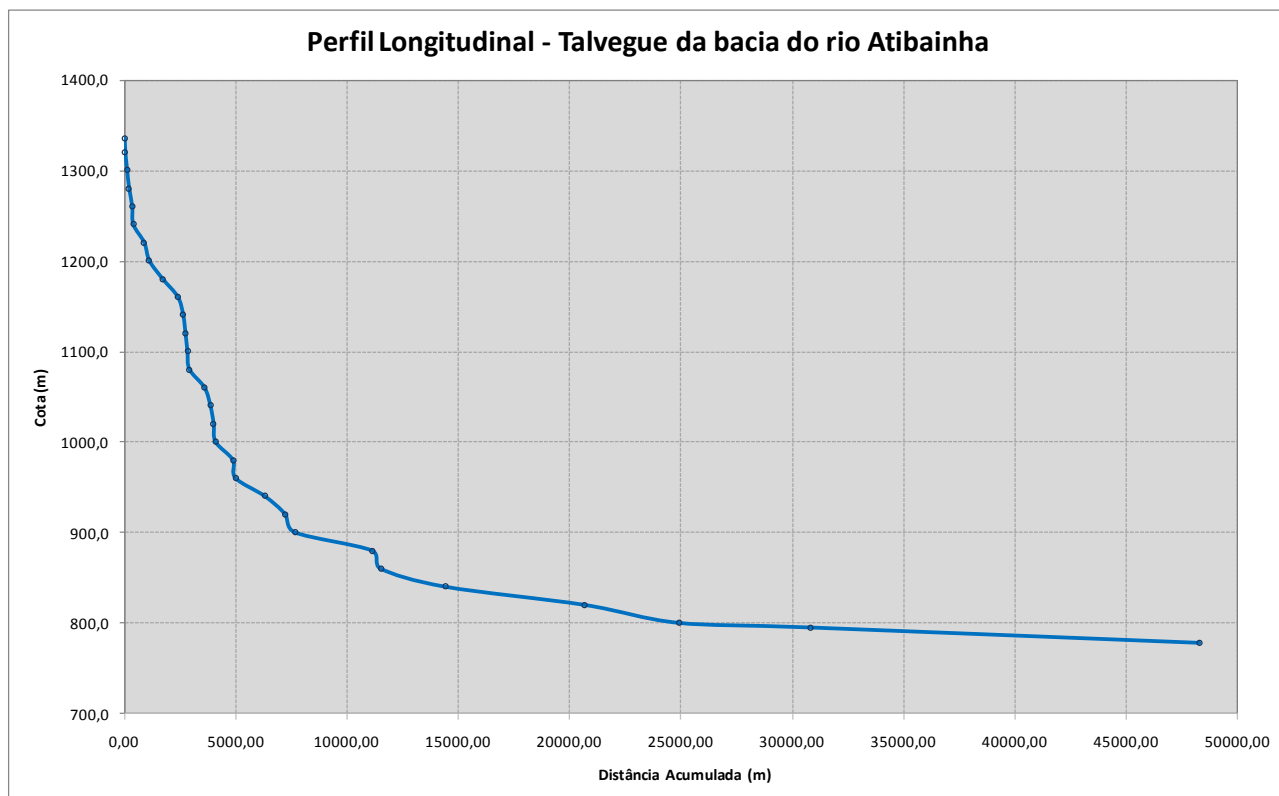
Os tempos de concentração obtidos para cada sub-bacia são apresentados no item 3.7 na tabela resumo das características fisiográficas das sub-bacias e bacias.



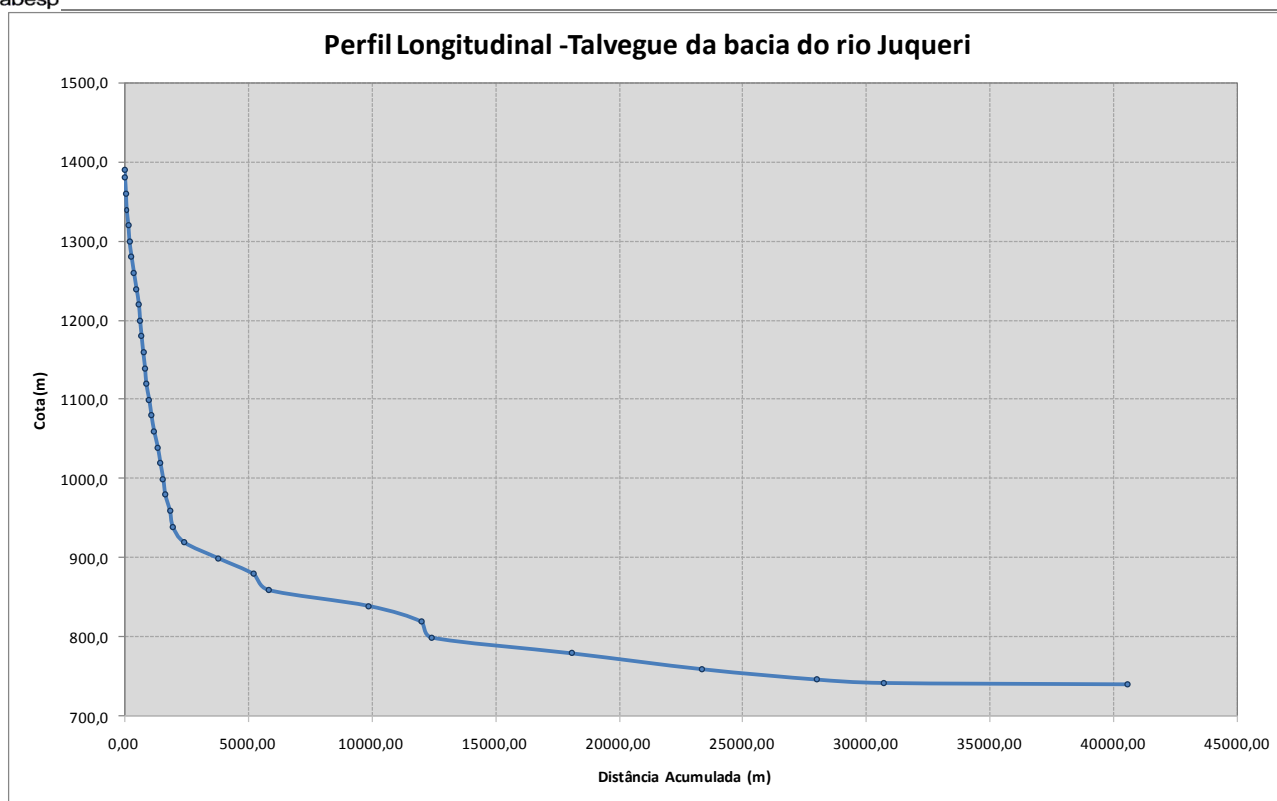
**FIGURA 5 –PERFIL LONGITUDINAL – TALVEGUE DA BACIA DO RIO JAGUARI**



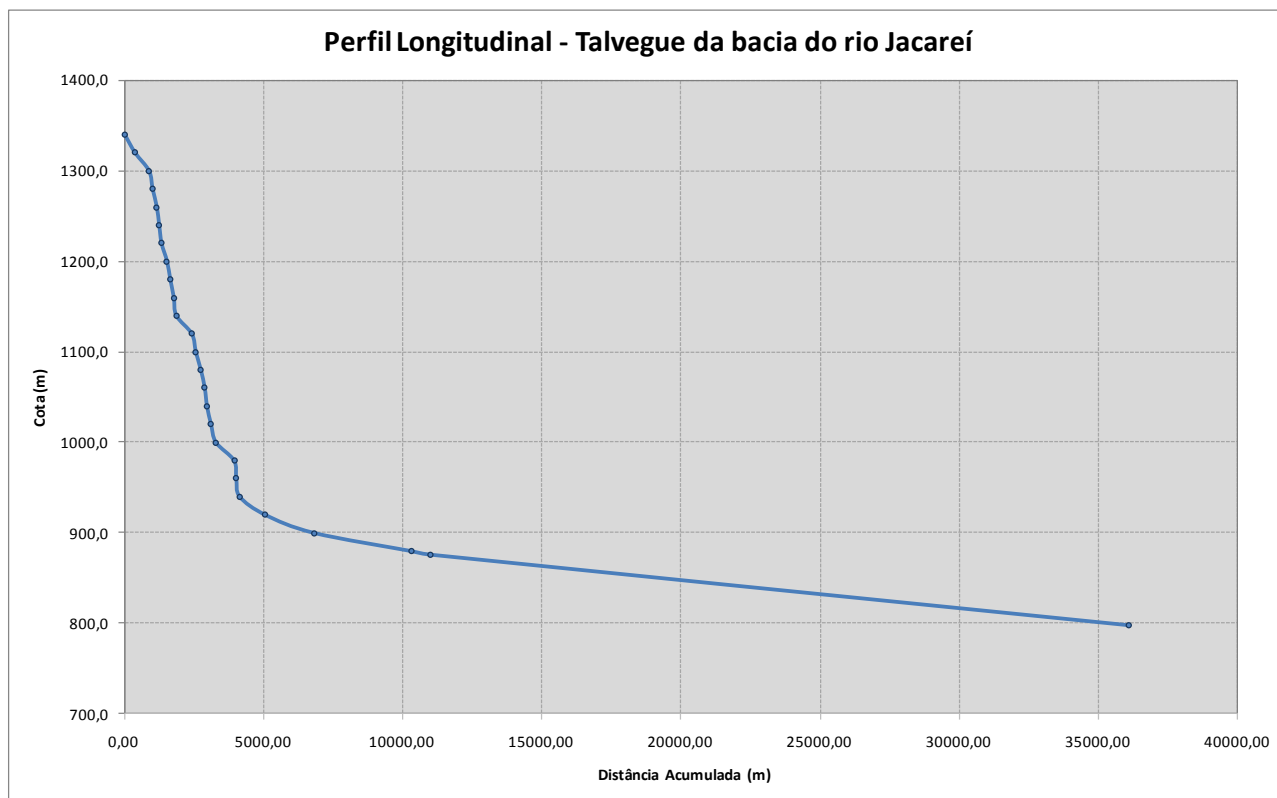
**FIGURA 6 – PERFIL LONGITUDINAL – TALVEGUE DA BACIA DO RIO CACHOEIRA**



**FIGURA 7 – PERFIL LONGITUDINAL – TALVEGUE DA BACIA DO RIO ATIBAINHA**



**FIGURA 8 – PERFIL LONGITUDINAL – TALVEGUE DA BACIA DO RIO JUQUERI**



**FIGURA 9 – PERFIL LONGITUDINAL – TALVEGUE DA BACIA DO RIO JACAREÍ**

### 3.4. Caracterização do Uso e Ocupação do Solo

Os dados de uso e ocupação dos solos na área de abrangência das bacias dos rios Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos foram obtidos da classificação realizada pelo ISA - Instituto Socioambiental (Whately, 2007).

A caracterização do uso e ocupação do solo é necessária e importante para que juntamente com a análise geológica da área de abrangência, seja possível determinar as condições de permeabilidade do solo, ou da capacidade de infiltração, parâmetro importante na modelagem de transformação chuva-vazão.

As principais classes de uso do solo encontradas na região são as seguintes (Whately, 2007):

- Ocupação Dispersa: núcleos urbanos e residenciais dispersos, inclui áreas de condomínio;
- Ocupação urbana de Média Densidade: áreas urbanas em formação ou crescimento;
- Ocupação urbana de alta densidade;
- Agricultura;
- Campo antrópico: áreas de pastagem ou abandonadas e sem outros usos definidos;
- Indústria;
- Lazer: clubes e áreas de lazer;
- Mineração;
- Reflorestamento: cobertura florestal não nativa, silvicultura de pinus e eucalipto;
- Solo exposto: áreas desprovidas de qualquer vegetação protetora, nativa ou plantada;
- Campo de altitude;
- Campo cerrado;
- Várzea;
- Vegetação secundária em estágio médio ou inicial de regeneração: Mata Atlântica nos referidos estágios de regeneração e conservação;
- Vegetação secundária em estágio avançado de regeneração ou primária: Mata Atlântica nos referidos estágios de regeneração e conservação;
- Reservatório;
- Água (lagos, lagoas, açudes – naturais ou artificiais);
- Afloramento rochoso;
- Nuvem e sombra.

Para a finalidade deste trabalho foi realizada uma síntese da caracterização do uso e ocupação do solo por sub-bacias, utilizando-se para isso os recursos de ferramentas de geoprocessamento. A síntese do uso e ocupação do solo por sub-bacias é necessária para a determinação do coeficiente CN (“Curve Number” ou Número da Curva), parâmetro que retrata as condições de escoamento superficial e de infiltração ocorrentes nessas áreas.

O critério utilizado na análise dos usos por sub-bacias é descrito a seguir:

- Foram consideradas apenas as áreas de solo, ou seja, as áreas dos reservatórios, lagos e lagoas não foram consideradas para a determinação do CN;
- Considerou-se que as áreas cobertas por nuvens e sombras correspondem ao uso predominante ao das áreas no entorno.

Há uma predominância na região de campos antrópicos e vegetação, ou seja, pode-se constatar que a área é rural, como pode ser observado na Figura 10.

No item referente à determinação do CN é apresentada uma tabela resumo com os principais usos por sub-bacia.

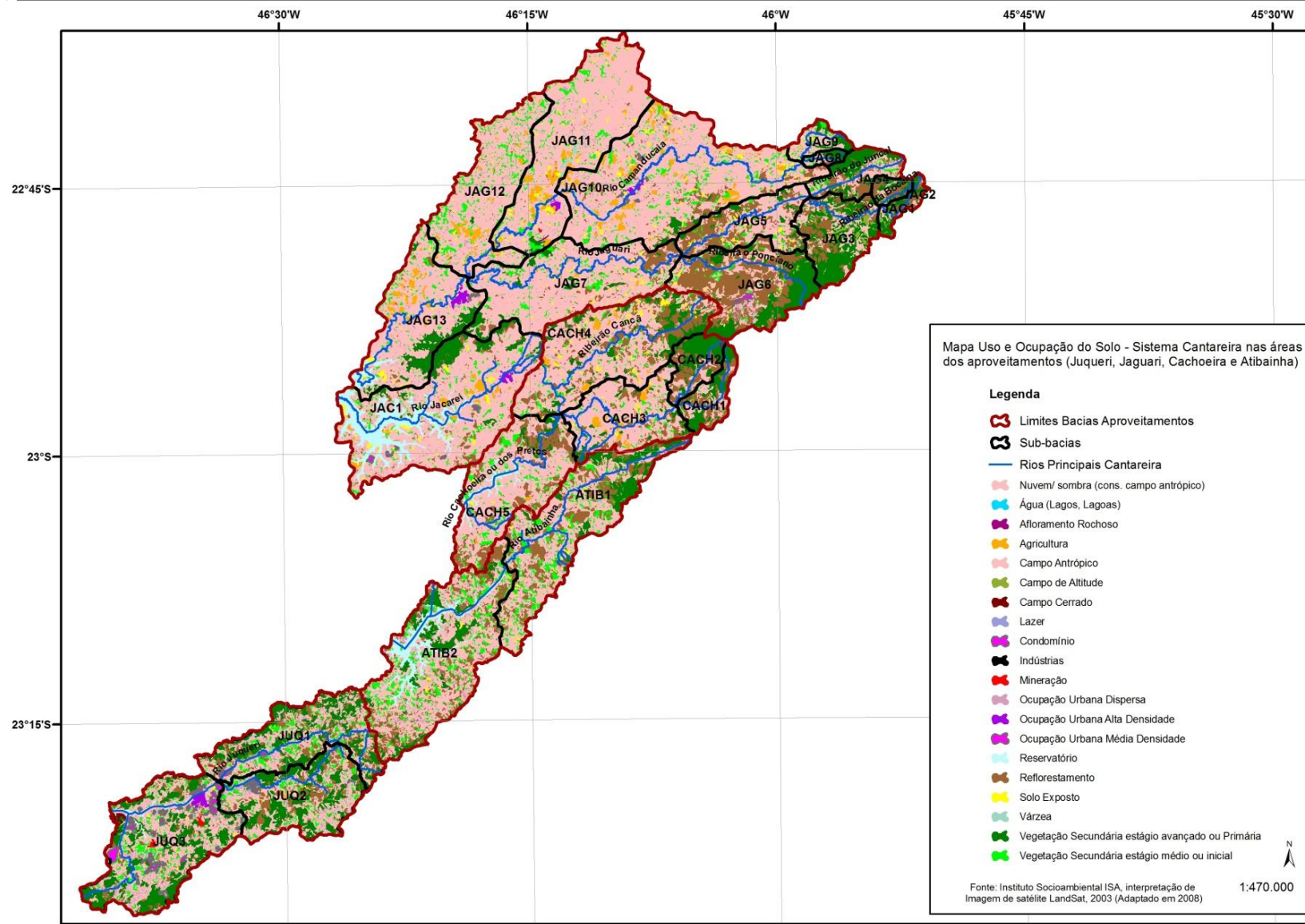


FIGURA 10 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA CANTAREIRA



### 3.5.Caracterização Hidrogeológica do Solo

Os estudos hidrológicos envolvendo a caracterização de bacias hidrográficas utilizam, como um dos parâmetros mais importantes no processo de transformação chuva-vazão, o denominado coeficiente CN (“Curve Number”); este parâmetro, conforme conceituado pelo método do USSCS – U. S. Soil Conservation Service, retrata muito adequadamente as condições de escoamento superficial e de infiltração ocorrentes nessas áreas.

As condições de escoamento superficial e de infiltração numa bacia hidrográfica dependem, além dos gradientes topográficos, do grau de uso e ocupação da área e da natureza dos solos constituintes, se mais ou menos percoláveis.

Para se proceder à quantificação de um parâmetro que retrate tal propriedade num determinado solo dispõe-se da classificação dos grupos hidrológicos de solos do SCS-Soil Conservation Service (1951). Conjugando-se esta classificação com a tipologia de solos apresentada no trabalho desenvolvido por Setzer & Porto (1979) e, posteriormente, por Kutner et al. (2001), há condições para se adaptar adequadamente o sistema classificatório do SCS aos solos ocorrentes em climas tropicais, onde os processos de intemperismo das rochas diferem radicalmente, daqueles do hemisfério norte, por sua natureza, intensidade e amplitude.

Para a caracterização pedológica das bacias hidrográficas que abastecem o Sistema Cantareira procedeu-se à análise geológica da área a fim de se identificar e mapear os principais litotipos ocorrentes e, portanto dos solos texturalmente mais significativos, resultantes diretos que são dos processos de intemperismo que atuam sobre as rochas.

#### 3.5.1.Caracterização da área de estudo

As bacias hidrográficas contribuintes do Sistema Cantareira, abrangendo as bacias integrais dos rios Jaguari, Atibainha, Cachoeira e o trecho superior da bacia do rio Juqueri foram compartimentadas em sub-bacias tendo-se procedido à medição das áreas e à identificação dos litotipos constituintes.

Quanto à compartimentação, necessária para a análise geológica mais abrangente das bacias hidrográficas, a bacia do rio Jaguari foi subdividida em 13 sub-bacias, a do rio Jacareí 1 sub-bacia, a do rio Cachoeira em 5 sub-bacias, a do rio Atibainha em 2 sub-bacias e a porção superior do

rio Juqueri em 3 sub-bacias. Apresenta-se na Tabela 3, item 3.2 a compartimentação adotada bem como as respectivas áreas de drenagem dessas sub-bacias.

Quanto aos litotipos constituintes, que implica na avaliação da composição pedológica textural dos solos da área de abastecimento hídrico do Sistema Cantareira, a análise realizada revelou a presença de uma grande variedade de espécies rochosas. A área de estudo é considerada extremamente complexa sob o ponto de vista geológico, pois resultou da ação de sucessivos e intensos processos orogênicos relacionados com processos da escala de colisões crustais. A área possui diversas entidades tectono-estratigráficas, em sua maioria datadas do Proterozóico Superior, ou Neoproterozóico, sendo entretanto dominada pelo chamado Nappe Socorro-Guaxupé, feição estrutural muito complexa que consiste de um imenso dobramento semi-horizontal, de amplitude quilométrica. Com tal deformação, de âmbito regional, a seqüência estratigráfica destas rochas foi totalmente alterada, fato este que por si só seria irrelevante para os objetivos do presente estudo. Ressalta-se por outro lado que a grande variabilidade acima apontada dos litotipos existentes é uma das principais conseqüências da ação daqueles processos geológicos tão intensos. Mencionam-se os diversos magmatismos ocorridos na área (geração de rochas ígneas), assim como os inúmeros tipos de rochas metamórficas ali ocorrentes em conseqüência dos variados graus de metamorfismo a que as rochas então presentes foram submetidas durante o processo. Outro efeito é a grande deformação, por dobramentos e por cisalhamentos, que os maciços rochosos apresentam. Como conseqüência direta, o elevado grau de descontinuidades dos maciços interfere diretamente na intensidade do intemperismo a que essas rochas são submetidas, gerando solos mais espessos e mais desenvolvidos.

A fim de ilustrar a grande diversidade litológica da área, apresentam-se nas Tabela 5 e 6 a relação dos litotipos constituintes da área de estudo, abrangendo os Estados de São Paulo e de Minas Gerais. Na última coluna “Grupos Litológicos” menciona-se a classificação a ser adotada neste trabalho reunindo litologias de solos afins.

Para fins de uniformização foram utilizados os mapeamentos geológicos executados pela CPRM em ambos os Estados, respectivamente em escalas 1:750.000 e 1:1.000.000, o que garantiu uma maior uniformidade, tanto das classificações litológicas, como das nomenclaturas geológicas adotadas em ambas as áreas. Tais mapeamentos são referidos na bibliografia anexa. A Figura 11 apresenta o mapa geológico na área de abrangência dos estudos.

**TABELA 5 – OCORRÊNCIAS LITOLÓGICAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SISTEMA CANTAREIRA – NA PORÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Codificação no Mapa Geológico	Litotipos Característicos	Unidade/Designação Petrográfica	Evento/Grupo/Complexo	Idade	Grupo Litológico
NP3pg_2mi	Granitóides foliados calcoalcalinos	Morro Azul - Igaratá	Orógeno Paranapiacaba	NPrzoico	1
NP3pg_2sl	Granitóides foliados	Granito Sa. do Lopo	Posicionam. Estratigráf. Impreciso	NPrzoico	1
NP3pg_2ju	Granitóides foliados	Granito Jundiuvira			
NP3pg_2mc	Granitóides foliados indiferenciados	Morro Claro / Imbiruçu			
NP3pg_2gu	Granitóides foliados indiferenciados	Granito Gussoroca			
NP3pg_2pa	Granitóides foliados indiferenciados	Granito Pau Pedra			
NP3pg_2Stb	Granitóides foliados peraluminosos	Granito Terra Boa			
NP3sg_3Apc	Granitoides	Granito Piracaia	Orógeno  Socorro –  Guaxupé	NPrzoico	1
NP3sg_3Ast	Granitoides	Granito Atibaia			
NP3sg_2bv	Granitos foliados peralcalinos	Granito Sa. Boa Vista			
NP3sg_2Cfx	Granitoides	S. Francisco Xavier			
NP3sg_2lpe	Granitoides	Gran. Pedra Branca			
NP3sg_2Ssi	Granitoides	Gran. Sa. dos Índios			
NP3sg_1lbb	Granitóides foliados calcialcalinos	Granitóides Sa. Do Barro Branco			
NP3sg_1lbp	Granitóides foliados	Suíte Brag. Paulista			
NP3sg_1lcr	Granitóides foliados	Granito Cantareira			

Codificação no Mapa Geológico	Litotipos Característicos	Unidade/Designação Petrográfica	Evento/Grupo/Complexo	Idade	Grupo Litológico
NP3sg_1lma	Granitóides foliados	Granito Mairiporã	(Província Tocantins)		
NP3sg_1lmp	Granitóides foliados	Granito Mo.do Pão			
NP3sg_1lmt	Granitóides foliados	Granito Mato Mole			
NP3sg_1lsp	Granitóides foliados	Granito Sa. Preta			
NP3sg_1Sgo	Granitóides foliados	Granito Gonçalves			
NP3sg_1Snp	Granitóides foliados	Granito Nazaré Paulista			
NP3sg_1Sqc	Granitóides foliados peraluminosos	Quatro Cantos			
NP3sg_1Stt	Granitóides foliados	Tico-Tico			
NP3srbt	Metapelitos e anfibolitos	Fm. Boturuna	Grupo São Roque	NPrzoico	2
NP3srer	Filitos, anfibolitos e Metarenitos finos	Fm. Estrada dos Romeiros			
NPvm	Paragnaisses migmatizados	Unid. Paragnais. migmatít. Superior	Complexo Varginha / Guaxupé	NPrzoico	3
NPvog	Ortognaisses Migmatíticos	Unidade Ortoganais. migmatíticos			
MP2si	Micaxistos, Metapelitos e Quartzitos		Grupo Sa. do Itaberaba	MsPrzoico	4

Fonte: Mapa Geológico do Estado de São Paulo - CPRM – v 2.0- Esc. 1:750.000 - 2006

**TABELA 6 – OCORRÊNCIAS LITOLÓGICAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SISTEMA CANTAREIRA – NA PORÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Codificação no Mapa Geológico	Litotipos Característicos	Unidade/Designação Petrográfica	Evento/Grupo/Complexo	Idade	Grupo Litológico
NP3sg_2 (102)	Granitóides indiferenciados		Orógeno Paranapiacaba – Ribeira (Prov. Mantiqueira)	NPrzoico	1
NP3sg_3A (21)	Granitóides subalcalinos		Complexo Socorro / Guaxupé  (Província Tocantins)	NPrzoico	1
NP3sg_1S (17)	Granitóides foliados				
NP3sg_1C (14)	Charnockitoides foliados e Ortognaisses				
NP3sg_1I (12)	Granitoide foliados calcialcalinos e Ortognaisses				
NPvm	Paragnaisses migmatizados		Complexo Varginha / Guaxupé	NPrzoico	3
NPVog	Ortognaisses migmatíticos				

Fonte: Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais - CPRM/COMIG - Esc. 1: 1.000.000

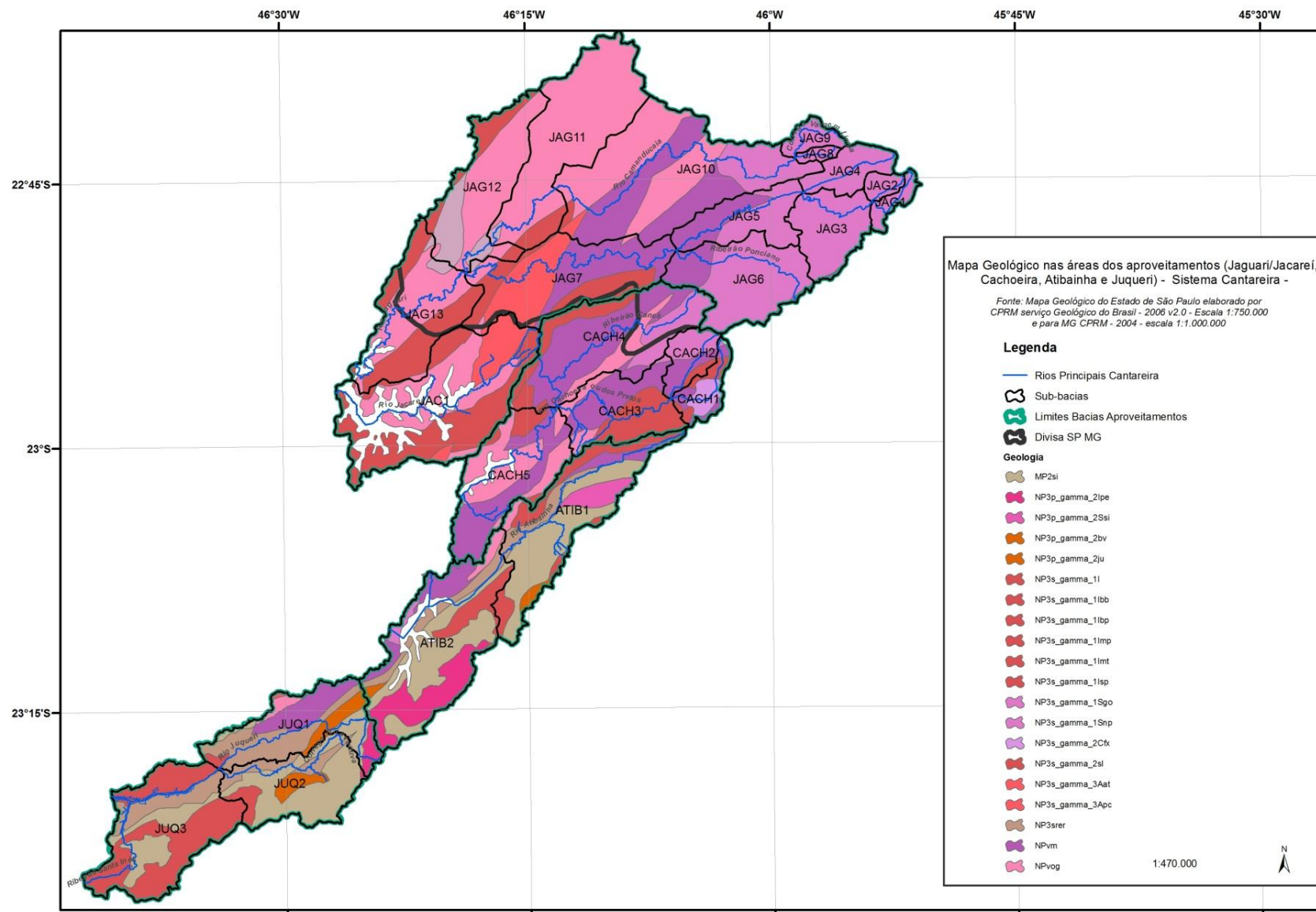


FIGURA 11 – GEOLOGIA NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA CANTAREIRA

### 3.5.2.Considerações sobre o Grupo de Solos Ocorrentes

A fim de permitir a análise proposta, esse conjunto de rochas foi dividido em grupos com o objetivo de tipificar os solos deles decorrentes para assim melhor avaliá-los quanto ao comportamento hidráulico-hidrológico das bacias hidrográficas.

Apresentam-se a seguir os Grupos em que o conjunto dos litotipos ocorrentes foi subdividido; considera-se que tais grupos representem os litotipos mais significativos sob o ponto de vista do comportamento hidráulico-hidrológico de seus solos:

- Grupo 1 – Englobando rochas designadas genericamente como Granitóides, em grande parte pertencentes ao Orógeno Socorro-Guaxupé, sendo representadas principalmente por granitos, adamelitos, sienitos, tonalitos e charnockitos;
- Grupo 2 – Primariamente representado pelos filitos, metapelitos e metarritmitos do Grupo São Roque. Há também outros litotipos minoritários;
- Grupo 3 – Reúne primariamente os gnaisses e migmatitos do Complexo Varginha- Guaxupé;
- Grupo 4 – Grupo muito heterogêneo, datado do Mesoproterozoico, mais antigo, geologicamente denominado Gpo. Serra do Itaberaba, abrangendo primariamente micaxistos, podendo também apresentar afloramentos de anfibolitos, metandesitos, quartzitos, extrusivas metamorfisadas etc.

Além destes litotipos, de ampla ocorrência na área, há que se mencionar também outros, de incidência muito comum. Trata-se dos sedimentos aluviais, não detectados neste levantamento, em parte em virtude da escala dos mapeamentos adotados. São datados do Quaternário e ocorrem recobrando as planícies aluviais, ou de inundação, e também sob a forma de cordões fluviais de mesma origem. Estima-se porém que as áreas de ocorrência destes solos, e portanto sua influência no escoamento das bacias, deva ser mínima pois a área em estudo encontra-se em fase de entalhamento dos seus vales, ou seja, com predomínio de processos erosivos. Mapeamentos geomorfológicos efetuados na área indicam declividades das encostas superiores a 20% e 30%, com predomínio de atividades erosivas classificadas como *fortes a agressivas*. Há, em consequência, uma elevada tendência de movimentos de massa dos solos. Tais características reduzem substancialmente as condições para as deposições e formação de planícies aluviais razão pela qual tais solos podem ser minimizados na área de estudo.

Uma vez identificados quatro grupos englobando os principais litotipos presentes quantificou-se, em cada uma das sub-bacias acima definidas, suas ocorrências em termos de áreas territoriais ocupadas e nas percentagens de ocorrência de cada um desses grupos de litotipos em cada sub-bacia.

Apresenta-se na Figura 12 que abrange a área de estudo, além das diversas sub-bacias em que a área foi dividida, uma síntese geológica destacando-se as áreas de ocorrência dos Grupos Litológicos - Tipo geradores dos solos mais significativos sob o ponto de vista hidrológico.

Neste ponto é fundamental assinalar que cada um destes litotipos gera, através dos processos de intemperismo atuantes, mantos de solos texturalmente muito variáveis, desde os mais arenosos (mais permeáveis e percoláveis), até os argilosos (menos permeáveis e, portanto, com maiores índices de escoamento superficial); entre estes dois extremos há toda uma gama de solos decorrentes da miscigenação destas texturas extremas.

Conforme já mencionado, a caracterização e a quantificação do comportamento hidráulico dos solos pode ser feita por meio de sistemas de classificação específicos. Dois destes sistemas destacam-se por suas abrangências: o do “Soil Conservation Service” – SCS (1951) e o de Setzer & La Laina Porto (1979).

O sistema de classificação do SCS divide os solos em 4 Grupos Hidrológicos: esta classificação utiliza como principal critério a composição textural dos solos e oferece, como grande vantagem, boa abrangência e aplicabilidade em relação aos tipos de cobertura e usos do solo, aliás da forma tradicional como comumente são feitos, em virtude da maior disponibilidade destes dados.

Conforme também já analisado, o sistema de classificação elaborado por Setzer & La Laina (1979), tomando por base algumas das características pedológicas mais marcantes comumente apresentadas pelos solos em climas tropicais, classifica-os em 5 Grupos Hidrológicos. Por se referir ao nosso meio físico-químico é melhor correlacionável com os litotipos ocorrentes na área de interesse.



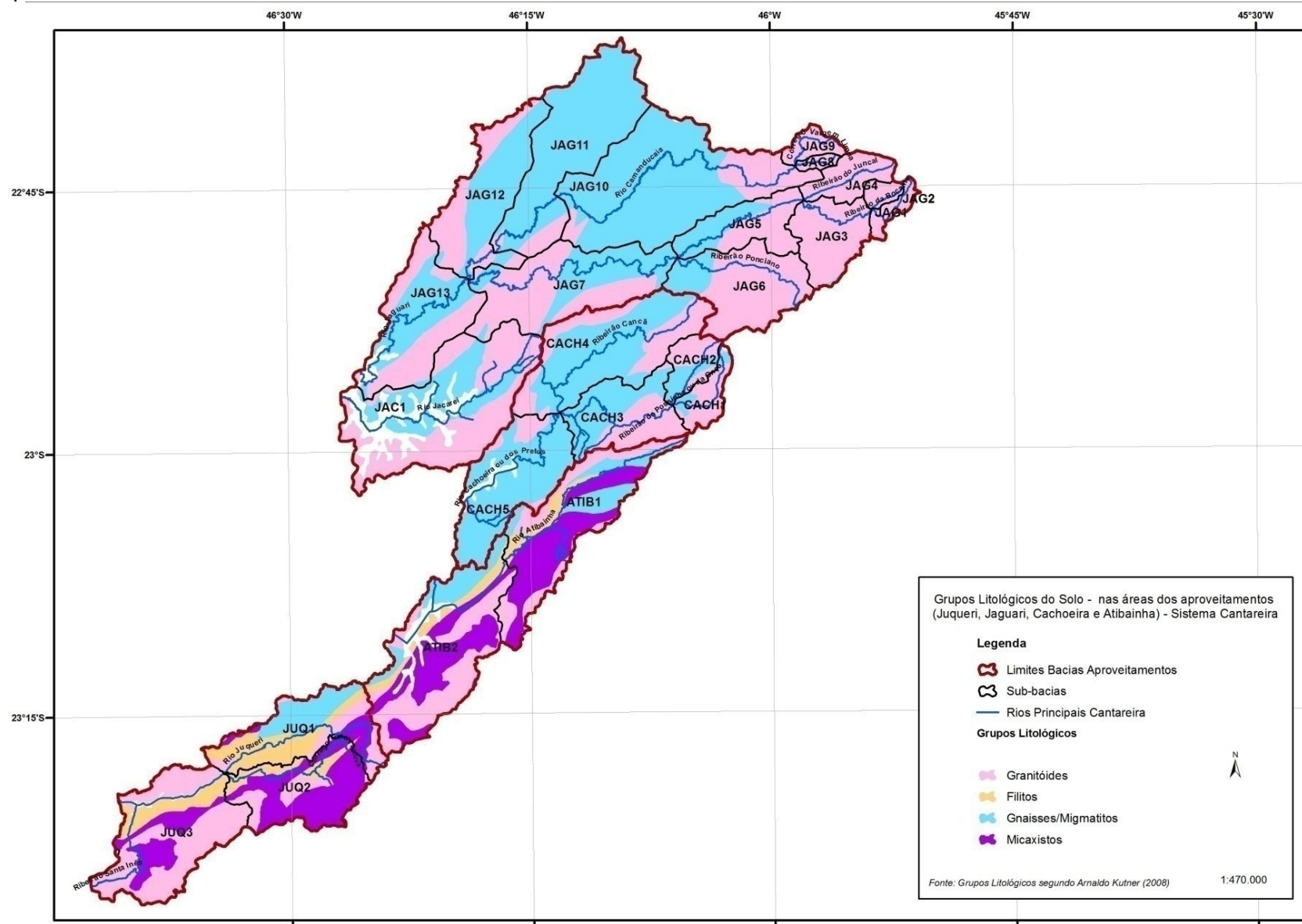


FIGURA 12 – GRUPOS LITOLÓGICOS – TIPO OCORRENTES NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA CANTAREIRA

Apresentam-se, a seguir, ambos os sistemas de classificação dos solos para fins hidrológicos:

**SISTEMA CLASSIFICATÓRIO DOS SOLOS, segundo o SCS (1951):**

- Grupo A - Solos de mais baixo potencial de deflúvio; são solos profundos, de constituição arenosa, com pouco silte e argila. Podem também ser constituídos por cascalhos, de alta permeabilidade.
- Grupo B – Solos com potencial de escoamento (“runoff”) moderadamente baixo. Predominam solos arenosos, menos profundos e menos agregados que o acima (A); o Grupo, como um todo, apresenta, após seu intenso umedecimento, capacidade de infiltração acima da média.
- Grupo C – Solos com potencial de escoamento moderadamente alto. Compreende solos rasos e solos contendo consideráveis teores de argilas e colóides, porém inferiores ao Grupo D. Este solo tem infiltração abaixo da média após saturação.
- Grupo D – Solos com o mais alto potencial de escoamento. Inclui a maioria das argilas e também solos rasos com subhorizontes impermeáveis próximos à superfície.

**GRUPOS HIDROLÓGICOS DOS SOLOS, segundo Setzer e La Laina Porto (1979):**

- Grupo A - Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%; não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%
- Grupo B – Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas (\*) este limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.

(\*) solos de rochas efusivas da Fm. Serra Geral, não ocorrentes na bacia

- Grupo C – Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas (ver observação acima), estes dois limites máximos podem ser 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de

0,6m de profundidade camada mais densificada do que no grupo B, sem contudo poder ser considerado impermeável.

- Grupo D – Solos argilosos (30 – 40% de argila total) e ainda com camada densificada a 0,50 m de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.
- Grupo E – Solos barrentos como o C, mas com camada argilosa impermeável ou com pedras. Ou sem tal camada, mas o teor total de argila supera 40%. No caso de terras roxas (ver observação acima) este teor pode subir a 60% (no caso D, 45%)

Kutner et al (2001) adotou a combinação de ambas as classificações, visando uma maior abrangência do método de estudo então proposto.

O fato acima já destacado de que cada litotipo gera um solo típico e característico, principalmente quanto à sua textura, tendo em vista as peculiaridades mineralógicas de cada um destes litotipos e o processo de intemperismo atuante, implica também no fato que os solos de cada litotipo consistam de misturas dos solos dos diversos Grupos Hidrológicos mencionados nos Sistemas Classificatórios. Em outros termos: o solo de cada litotipo é, a rigor, constituído pela mistura dos vários Grupos Hidrológicos de Solos.

Adotando-se os critérios de Classificação Hidrológica dos Solos de Setzer & La Laina (1979), do SCS e de Kutner et.al, (2001) pode-se compor a Tabela 7 a seguir, o qual apresenta as participações percentuais dos vários grupos hidrológicos de solos para cada um dos diferentes litotipos ocorrentes nas bacias do Sistema Cantareira.

**TABELA 7 – COMPOSIÇÃO PORCENTUAL PROPOSTA PARA OS DIFERENTES GRUPOS DE SOLOS EM CADA UM DOS GRUPOS LITOLÓGICOS TIPO OCORRENTES NA BACIA DO SISTEMA CANTAREIRA**

GRUPO LITOLÓGICO	GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS			
	A	B	C	D
1- Grupo das rochas Granitoides	15	45	15	25
2- Grupo dos Filitos	0	0	50	50
3- Grupo dos Gnaisses e Migmatitos	15	35	25	25
4- Grupo dos Micaxistos	5	10	35	50

É importante assinalar que, dada a extrema variabilidade dos litotipos constituintes num mesmo Grupo Litológico, como é o caso da área de interesse no presente estudo, poderá vir a ser

necessária uma reavaliação da distribuição percentual dos Grupos Hidrológicos de Solos que compõem cada um destes litotipos, remetendo portanto a um eventual processo de re-calibragem.

### 3.5.3. Litotipos e Grupos Hidrológicos de Solos Ocorrentes na Bacia do Sistema Cantareira

Apresentam-se na Tabela 8 as participações percentuais de cada Grupo Litológico – Tipo em cada uma das sub-bacias, relativamente à área total desta sub-bacia. De posse também da constituição percentual dos diversos Grupos Hidrológicos de Solos por Grupo Litológico Tabela 7 calculou-se para cada sub-bacia a participação percentual que cada Grupo Hidrológico de Solo tem nessa sub-bacia. Cabe observar que nas sub-bacias que contém as represas Jaguari (JAG13), Jacareí (JAC1), Cachoeira (CACH6), Atibainha (ATIB2), Cascata (JUQ1) e Paiva Castro (JUQ3) foram descontadas as áreas das represas, obtendo-se os grupos hidrológicos apenas da área de solos. Na tabela estas sub-bacias estão destacadas na cor azul.

**TABELA 8 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS LITOTIPOS OCORRENTES E DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS CONSTITUINTES DAS SUB-BACIAS**

Sub-Bacias	Áreas das Sub-bacias (km²)	*Áreas das Sub bacias (km²)	LITOTIPOS PRIMÁRIOS / PERCENTAGENS, POR LITOTIPO, DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS CONSTITUINTES DOS SOLOS																						PERCENTAGENS DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS POR SUB - BACIA HIDROGRÁFICA								
			GNAISSSES / MIGMATITOS		A	B	C	D	MICAXISTOS		A	B	C	D	FILITOS		A	B	C	D	GRANITÓIDES		A	B	C	D	ÁREAS INUNDADAS						
			(km²)	%	15	35	25	25	(km²)	%	5	10	35	50	(km²)	%	0	0	50	50	(km²)	%	15	45	15	25	(km²)	%	A	B	C	D	
JAG 1	12,15																				12,15	100,0	15,0	45,0	15,0	25,0			15,0	45,0	15,0	25,0	
JAG 2	9,57																				9,57	100,0	15,0	45,0	15,0	25,0			15,0	45,0	15,0	25,0	
JAG 3	57,49																				57,49	100,0	15,0	45,0	15,0	25,0			15,0	45,0	15,0	25,0	
JAG 4	32,25																				32,25	100,0	15,0	45,0	15,0	25,0			15,0	45,0	15,0	25,0	
JAG 5	57,99		24,4	42,1	6,3	14,7	10,5	10,5													33,6	57,9	8,7	26,0	8,7	14,5			15,0	40,8	19,2	25,0	
JAG 6	99,45		19,6	19,7	3,0	6,9	4,9	4,9													79,9	80,3	12,1	36,2	12,1	20,1			15,0	43,1	17,0	25,0	
JAG 7	136,02		55,0	40,5	6,1	14,2	10,1	10,1													81,0	59,6	8,9	26,8	8,9	14,9			15,0	41,0	19,0	25,0	
JAG 8	5,71																				5,71	100,0	15,0	45,0	15,0	25,0			15,0	45,0	15,0	25,0	
JAG 9	15,24																				15,24	100,0	15,0	45,0	15,0	25,0			15,0	45,0	15,0	25,0	
JAG 10	218,94		177,8	81,2	12,2	28,4	20,3	20,3													41,1	18,8	2,8	8,4	2,8	4,7			15,0	36,9	23,1	25,0	
JAG 11	157,13		144,2	91,8	13,8	32,1	22,9	22,9													12,9	8,2	1,2	3,7	1,2	2,0			15,0	35,8	24,2	25,0	
JAG 12	111,13		64,8	58,3	8,7	20,4	14,6	14,6													46,3	41,7	6,3	18,8	6,3	10,4			15,0	39,2	20,8	25,0	
JAG 13	114,17	109,50	51,6	47,1	7,1	16,5	11,8	11,8													57,9	52,9	7,9	23,8	7,9	13,2	4,7	4,1	15,0	40,3	19,7	25,0	
JAC1	202,76	170,71	52,5	30,8	4,6	10,8	7,7	7,7													118,2	69,2	10,4	31,2	10,4	17,3	32,1	15,8	15,0	41,9	18,1	25,0	
CACH 1	25,74		5,0	19,5	2,9	6,8	4,9	4,9													20,7	80,4	12,1	36,2	12,1	20,1			15,0	43,0	16,9	25,0	
CACH 2	28,12		11,1	39,5	5,9	13,8	9,9	9,9													17,0	60,5	9,1	27,2	9,1	15,1			15,0	41,1	19,0	25,0	
CACH 3	76,98		41,9	54,5	8,2	19,1	13,6	13,6													35,0	45,5	6,8	20,5	6,8	11,4			15,0	39,5	20,4	25,0	
CACH 4	147,63		96,7	65,5	9,8	22,9	16,4	16,4													50,9	34,5	5,2	15,5	5,2	8,6			15,0	38,4	21,6	25,0	
CACH 5	113,54	107,18	96,1	89,6	13,4	31,4	22,4	22,4													11,1	10,4	1,6	4,7	1,6	2,6	6,4	5,6	15,0	36,0	24,0	25,0	
ATIB 1	138,76		27,0	19,4	2,9	6,8	4,9	4,9	61,2	44,1	2,2	4,4	15,4	22,0	12,8	9,2	0,0	0,0	4,6	4,6	37,8	27,2	4,1	12,3	4,1	6,8			9,2	23,5	29,0	38,3	
ATIB 2	173,24	155,43	25,4	16,3	2,5	5,7	4,1	4,1	53,1	34,2	1,7	3,4	12,0	17,1	14,9	9,6	0,0	0,0	4,8	4,8	62,1	40,0	6,0	18,0	6,0	10,0	17,8	10,3	10,2	27,1	26,8	35,9	
JUQ 1	108,68	108,48	31,0	28,6	4,3	10,0	7,1	7,1	14,2	13,1	0,7	1,3	4,6	6,5	40,3	37,2	0,0	0,0	18,6	18,6	23,0	21,2	3,2	9,6	3,2	5,3	0,2	0,2	8,1	20,9	33,5	37,6	
JUQ 2	104,19								67,9	65,2	3,3	6,5	22,8	32,6	17,9	17,2	0,0	0,0	8,6	8,6	18,4	17,7	2,7	8,0	2,7	4,4			5,9	14,5	34,0	45,6	
JUQ 3	156,13	152,32							31,7	20,8	1,0	2,1	7,3	10,4	22,1	14,5	0,0	0,0	7,3	7,3	98,5	64,6	9,7	29,1	9,7	16,2	3,8	2,4	10,7	31,2	24,2	33,8	
Total	2303,00																																

\* Áreas descontando-se a área das represas

### 3.6.Determinação do CN ("Curve Number")

Um dos parâmetros mais importantes no processo de transformação chuva-vazão, o denominado coeficiente CN ("Curve Number"); conforme conceituado pelo método do USSCS – U. S. Soil Conservation Service, retrata as condições de escoamento superficial e de infiltração ocorrentes nos solos das bacias hidrográficas.

Em função dos principais usos encontrados nas sub-bacias, fez-se uma associação destes usos aos valores de CN encontrados na literatura<sup>2</sup>. A Tabela 9 apresenta os valores de CN por uso e ocupação.

**TABELA 9 – VALORES DE CN EM FUNÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Usos e Ocupação	CN por grupo hidrológico de solo			
	A	B	C	D
Afloramento rochoso	98	98	98	98
Agricultura	39	61	74	80
Campo Antrópico	57	73	82	86
Campo de Altitude	57	73	82	86
Campo cerrado	57	73	82	86
Lazer	39	61	74	80
Indústria	81	88	91	93
Mineração	98	98	98	98
Ocupação Dispersa	57	72	81	86
Ocupação Urbana de Alta Densidade	77	85	90	92
Ocupação Urbana de Média Densidade	61	75	83	87
Reflorestamento	39	61	74	80
Solo exposto	77	86	91	94
Vegetação Secundária em estágio avançado de regeneração ou primária	30	48	65	73
Vegetação Secundária em estágio médio ou inicial de regeneração	48	67	77	83

A Tabela 10 apresenta uma síntese dos usos e ocupação dos solos encontrados nas sub-bacias. Estes valores são apresentados como porcentagem de ocorrência pela área total da sub-bacia. Nesta tabela também é apresentado o valor de CN obtido por sub-bacia.

<sup>2</sup> Hydrology Handbook. Second Edition. ASCE – American Society of Civil Engineers. Manuals and Reports on Engineering Practice No. 28.

Os valores de CN para cada sub-bacia foram determinados utilizando-se o seguinte procedimento:

- Determinou-se para cada sub-bacia as porcentagens de uso e ocupação do solo em relação a sua área, utilizando-se para isso as ferramentas de geoprocessamento. Um resumo dos principais usos encontrados em cada sub-bacia é apresentado na Tabela 10;
- Cada uso encontrado na sub-bacia foi associado ao respectivo grupo hidrológico de solo apresentado na Tabela 8 e aos correspondentes valores de CN apresentados na Tabela 9. Isto permitiu determinar o valor de CN por uso;
- Após a determinação do CN para cada uso e ocupação encontrado na sub-bacia, determinou-se o CN total da sub-bacia, somando-se o CN obtido para cada uso e ocupação.

Cabe ressaltar que o CN apresentado na Tabela 10 foi obtido para a parte coberta por solos, não foram consideradas as áreas das represas.



TABELA 10 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS USOS E OCUPAÇÃO DE SOLOS POR SUB-BACIA E CN RESULTANTE POR SUB-BACIAS

SÍNTESE DOS PRINCIPAIS USOS																			CN
Bacia	Sub-Bacias	Áreas de drenagem (km²)	Usos e ocupação (%)																
			Afl. rochoso	Agricultura	Campo Antrópico	Campo de Altitude	Campo cerrado	Lazer	Indústria	Mineração	Ocupação Dispersa	Ocupação Urb. de Alta Densidade	Ocupação Urb. de Média Densidade	Reforest.	Solo exposto	várzea	Veg. Sec. em est. avançado de regeneração ou primária	Veg. Sec. em estágio médio ou inicial de regeneração	
Jaguari	JAG 1	12,15			14,64	6,70								29,11			49,54		62
	JAG 2	9,57			12,37	7,32								41,22			39,09		62
	JAG 3	57,49			22,47	6,59					0,20			25,23	0,08		44,82	0,60	63
	JAG 4	32,25			33,03	0,63					1,07			24,93	0,04		33,82	6,48	65
	JAG 5	57,99		0,27	47,59						1,08			36,29	2,67		6,75	5,32	70
	JAG 6	99,45	0,07		19,86	0,23					1,94		1,10	46,97	1,04		25,82	2,95	65
	JAG 7	136,02	0,05	0,63	75,51				0,00		1,80			8,80	1,48	0,12	5,16	6,41	73
	JAG 8	5,71			32,58						1,81			13,51	1,26		40,53	10,31	65
	JAG 9	15,24		0,57	56,42						2,00			2,75	2,98		23,42	11,87	70
	JAG 10	218,94		5,62	68,54				0,18		1,82	0,46	0,33	11,39	2,28	0,53	1,28	7,50	73
	JAG 11	157,13	0,19	13,84	71,50				0,15	0,07	2,23	0,46		0,47	2,58	1,29	0,80	6,35	73
	JAG 12	111,13	0,09	4,47	72,88				0,07		2,98			1,04	0,90		0,38	17,18	74
	JAG 13	114,17	0,21	4,10	64,61				0,51		2,20	1,65	0,19	2,07	1,72		13,03	5,52	69
	Tot. Jaguari	1027,24	0,12	4,89	58,82	0,56	0,00	0,00	0,13	0,01	1,87	0,35	0,20	13,64	1,67	0,33	10,54	6,95	71
Jacarei	JAC1 (Jacarei)	202,76	0,11	2,23	60,51	60,51		0,03			1,86	0,53	0,55	4,77	1,83		6,95	4,69	61
Cachoeira	CACH 1	25,74	0,22		27,47									34,18			36,10	1,95	64
	CACH 2	28,12	0,52		18,13						0,05			35,66	0,07		44,59	0,26	62
	CACH 3	76,98		4,07	67,48						0,91			14,81	1,09		6,82	4,74	72
	CACH 4	147,63		1,70	57,85						0,85			20,97	2,57		11,41	4,62	71
	CACH 5	113,54		0,32	57,98						1,00			22,22	0,69		3,19	8,99	68
	Tot. Cachoeira	392,00	0,05	1,53	54,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00	22,04	1,38	0,00	12,13	5,42	69
Atibainha	ATIB 1	138,76		0,05	46,83	0,16					1,31			22,94	0,88		13,96	13,66	74
	ATIB 2	173,24		0,02	43,19						3,96		0,09	18,34	0,51		10,64	12,90	66
	Tot. Atibainha	312,00	0,00	0,04	44,81	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78	0,00	0,05	20,38	0,68	0,00	12,12	13,24	70
Juqueri	JUQ 1	108,68		0,02	37,84					0,12	4,73		0,90	17,23	0,19		28,75	9,80	72
	JUQ 2	104,19		0,24	38,97						5,16		1,48	16,52	0,24		28,63	8,46	74
	JUQ 3	156,13		0,18	39,43		1,73			0,68	6,86	1,26	4,78	7,27	0,57		27,00	7,38	70
	Tot. Juqueri	369,00	0,00	0,15	38,83	0,00	0,73	0,00	0,00	0,32	5,75	0,53	2,71	12,82	0,36	0,00	27,97	8,40	72
Total	Área Total	2.303,00																	

### 3.7. Resumo das Características Fisiográficas

A seguir é apresentada a Tabela 11 com um resumo de todas as características fisiográficas determinadas nas bacias e sub-bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira. A tabela apresenta os seguintes elementos:

- Identificação dos códigos atribuídos para cada Sub-bacia. Em destaque na cor verde estão as bacias totalizadas;
- Áreas de drenagem, em km<sup>2</sup>;
- Cota de montante, em metros;
- Cota de jusante, em metros;
- Comprimento do talvegue, em km;
- Tempo de concentração, em horas;
- Tempo de retardo, em minutos;
- Velocidade média, obtida da relação comprimento do talvegue sobre o tempo de concentração;
- Porcentagens dos grupos hidrológicos de solo (A, B, C e D) determinadas para cada sub-bacia;
- Uso e ocupação predominante;
- Valor de CN obtido considerando-se as áreas inundadas pelas represas. Neste caso o valor de CN adotado para estas áreas foi igual a 98;
- Valor de CN obtido considerando-se apenas as áreas de solos.

**TABELA 11 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DETERMINADAS NAS BACIAS E SUB-BACIAS DA ÁREA DE ABRANGÊNCIA**

Sub-Bacias	Áreas de drenagem (km <sup>2</sup> )	Cota de montante (m)	Cota de jusante (m)	Comprimento do talvegue (km)	Tempo de concentração (h)	Tempo de retardo (min)	Velocidade Média (m/s)	PERCENTAGENS DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS POR SUB - BACIA HIDROGRÁFICA				Uso e Ocupação Predominante	CN <sup>(1)</sup>	CN <sup>(2)</sup>
								A	B	C	D			
JAG 1	12,15	1830,0	1487,5	8,3	1,7	62,9	1,3	15,0	45,0	15,0	25,0	Rural	62	62
JAG 2	9,57	1860,0	1487,5	4,8	1,0	37	1,3	15,0	45,0	15,0	25,0	Rural	62	62
JAG 3	57,49	1915,0	1417,4	18,5	3,5	125	1,5	15,0	45,0	15,0	25,0	Rural	63	63
JAG 4	32,25	1785,0	1417,4	12,7	2,6	93	1,4	15,0	45,0	15,0	25,0	Rural	65	65
JAG 5	57,99	1670,0	1272,0	21,7	4,2	152	1,4	15,0	40,8	19,2	25,0	Rural	70	70
JAG 6	99,45	1780,0	1272,0	20,9	3,9	140	1,5	15,0	43,0	17,0	25,0	Rural	65	65
JAG 7	136,02	1620,0	906,0	47,1	7,9	285	1,7	15,0	40,9	19,1	25,0	Rural	73	73
JAG 8	5,71	1900,0	1513,0	5,3	1,1	40	1,3	15,0	45,0	15,0	25,0	Rural	65	65
JAG 9	15,24	1875,0	1513,0	9,1	1,9	68	1,3	15,0	45,0	15,0	25,0	Rural	70	70
JAG 10	218,94	1750,0	926,0	48,5	7,9	285	1,7	15,0	36,9	23,1	25,0	Rural	73	73
JAG 11	157,13	1490,0	920,0	40,0	7,1	254	1,6	15,0	35,8	24,2	25,0	Rural	73	73
JAG 12	111,13	1480,0	906,0	31,2	5,6	201	1,6	15,0	39,1	20,8	25,0	Rural	74	74
JAG 13	114,17	1355,0	798,0	37,7	6,7	241	1,6	15,0	40,3	19,7	25,0	Rural	72	69
JAGUARI	1027,24	1830,0	798,0	121,8	18,2	655	1,9					Rural	71	71
JAC1 (JACAREÍ)	202,76	1340,0	795,0	36,1	6,5	233	1,6	15,0	41,9	18,1	25,0	Rural	68	61
CACH 1	25,74	1830,0	1178,5	12,2	2,2	80	1,5	15,0	43,1	16,9	25,0	Rural	64	64
CACH 2	28,12	1770,0	1178,5	11,5	2,1	77	1,5	15,0	41,0	18,9	24,9	Rural	62	62
CACH 3	76,98	1485,0	875,0	22,2	4,0	144	1,5	15,0	39,5	20,4	25,0	Rural	72	72
CACH 4	147,63	1558,0	875,0	31,6	5,5	196	1,6	15,0	38,4	21,5	25,0	Rural	71	71
CACH 5	113,54	870,0	820,0	23,2	6,7	241	1,0	15,0	36,0	24,0	25,0	Rural	70	68
CACHOEIRA	392,00	1830,0	820,0	55,0	8,6	309	1,8					Rural	70	69
ATIB 1	138,76	1335,0	795,0	30,8	5,6	201	1,5	9,2	23,4	29,0	38,3	Rural	74	74
ATIB 2	173,24	1000,0	778,0	17,5	3,9	139	1,3	10,2	27,1	26,8	35,9	Rural	70	66
ATIBAINHA	312,00	1335,0	778,0	48,3	8,5	306	1,6					Rural	72	70
JUQ 1	108,68	1390,0	747,0	28,0	4,9	177	1,6	8,2	21,1	33,4	37,3	Rural	72	72
JUQ 2	104,19	1055,0	747,0	23,2	4,7	170	1,4	5,9	14,4	34,0	45,6	Rural	74	74
JUQ 3	156,13	1050,0	741,0	19,6	4,0	145	1,4	10,7	31,1	24,3	33,9	Rural	71	70
JUQUERI	369,00	1390,0	741,0	40,6	7,0	252	1,6					Rural	72	72

<sup>(1)</sup> CN foi calculado considerando-se as áreas inundadas da represa, conforme tabela abaixo

Represa	Sub-bacia	NA máx op	Área (km <sup>2</sup> )	fração da Atot
Jaguari	JAG13	844,00	11,76	0,10
Jacareí	JAC1	844,00	37,98	0,19
Cachoeira	CACH5	821,78	8,59	0,08
Atibainha	ATIB2	786,86	21,99	0,13
Juqueri	JUQ3	745,61	4,64	0,03

Áreas das represas foram obtidas do relatório Azimute - REL - 15607-07B

<sup>(2)</sup> CN foi calculado desconsiderando-se as áreas das represas. Foi considerada apenas a parte do solo.

## 4. Análise de Frequência de Chuvas Máximas

### 4.1. Séries de Chuvas Máximas de 1 Dia

As séries de totais precipitados diários dos postos pluviométricos pré-selecionados foram solicitados para a SABESP e EMAE. Além disso, foi solicitada uma atualização das séries dos postos do DAEE-CTH obtidas no site [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br). No entanto, até o momento da elaboração deste relatório o DAEE-CTH não forneceu as atualizações solicitadas.

As séries de precipitações máximas de 1 dia dos postos pluviométricos pré-selecionados foram determinadas através da identificação da máxima altura pluviométrica das séries de totais precipitados diários em cada ano hidrológico, com início em outubro de um ano e fim em setembro do ano subsequente. As precipitações máximas de 1 dia foram desconsideradas nos anos hidrológicos com falhas de observação no semestre chuvoso que cobre o período de outubro a março.

Inicialmente foi feita uma análise das extensões das séries de precipitações máximas de 1 dia dos postos pluviométricos. As séries de precipitações máximas de 1 dia com extensão inferior a 15 anos foram descartadas devido à pouca representatividade estatística para os objetivos deste estudo. Os postos pluviométricos cujas séries foram descartadas são: P-14 A, P-23, P-29, P-2A, P-30, 2346005, 2346305 e 2346273.

Complementarmente foi feita uma análise da representatividade do regime pluvial dos postos pluviométricos pré-selecionados. Esta análise considerou a posição geográfica em relação às sub-bacias dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri. Para isso foram utilizados os mapas das sub-bacias com a localização dos postos pluviométricos considerando uma faixa de 10 km no entorno. Através deste critério de seleção foram descartadas os postos pluviométricos E3-050, E3-227, P-25, 2346098, 2246036, 2246088, 2246092, 2246133, 2346007, 2246015, 2346025, 2346030, 2346031, 2346032, 2346036, 2346041, 2346044, 2346281, 2346306, 2346308, 2346309, 2346321, 2346325, 2346328, 2346360, 2346434, 2346154, 2346204, 2346222, 2346235 e 2346272.

Aplicados estes critérios foram selecionados 48 postos pluviométricos cuja localização pode ser verificada na Figura 1. As séries de precipitações máximas de 1 dia foram verificadas quanto à presença de “outliers” ou valores extraordinários através da metodologia Grubbs & Beck (1972), que é recomendada pelo United States Water Resources Council. Foram identificados alguns outliers que, conforme recomendado, foram retirados das séries.

O Anexo I apresenta as séries de precipitações máximas anuais de 1 dia nos 48 postos pluviométricos selecionados incluindo os principais parâmetros estatísticos como o número de elementos, a média, o mínimo, o máximo, o desvio-padrão e os coeficientes de assimetria e curtose. Os coeficientes de assimetria e curtose revelam as distribuições probabilísticas mais adequadas para representar as séries de precipitações máximas anuais de 1 dia.

Os coeficientes de assimetria estão situados entre -0,3 e 1,3, com uma média ponderada pela extensão da série de 0,6. Isto revela que as séries de precipitações máximas anuais de 1 dia têm baixa assimetria. Os coeficientes de curtose estão situados entre 1,9 e 5,7, com média ponderada pela extensão da série de 3,3. Isto indica que, na média, a distribuição das precipitações máximas anuais de 1 dia é mesocúrtica.

#### 4.2. Análise de Frequência de Chuvas Máximas de 1 Dia

A análise dos coeficientes de assimetria e curtose das séries de chuvas máximas de 1 dia permitiu antever que as distribuições probabilísticas mais adequadas seriam Gumbel, Extremos Generalizada, Pearson Tipo 3, Log-Pearson tipo 3 e Gama Generalizada. Desta forma foi escolhida a distribuição probabilística de Gumbel, recomendada pela Eletrobrás (1987) para séries com coeficientes de assimetria inferior a 1,0.

Para a análise regional das precipitações máximas de 1 dia foi utilizado o método do “index-flood”. Para a estimativa do “index-flood” foi utilizada a média amostral das séries de precipitações máximas de 1 dia. Por sua vez as probabilidades associadas a cada elemento das séries de precipitações máximas, usualmente denominadas de posições de plotagem ou probabilidade empírica, foram definidas conforme recomendado por Cunnane (1978). A Figura 13 apresenta, graficamente, as precipitações máximas de 1 dia normalizados pela respectiva média (index-flood) plotados segundo Cunnane.

A análise da Figura 13 mostra que há uma tendência comum da distribuição empírica das precipitações máximas anuais de 1 dia, confirmando a adequabilidade da metodologia regional proposta.

Para o ajuste da distribuição probabilística Gumbel às precipitações máximas anuais dos postos selecionados foi utilizado o método dos momentos-L introduzido por Hosking (1990). Esta opção seguiu a recomendação da nova edição do Handbook of Hydrology (Stedinger, 1992) que indica a utilização dos momentos-L para a estimativa dos parâmetros das distribuições probabilísticas na análise de frequência de eventos extremos.

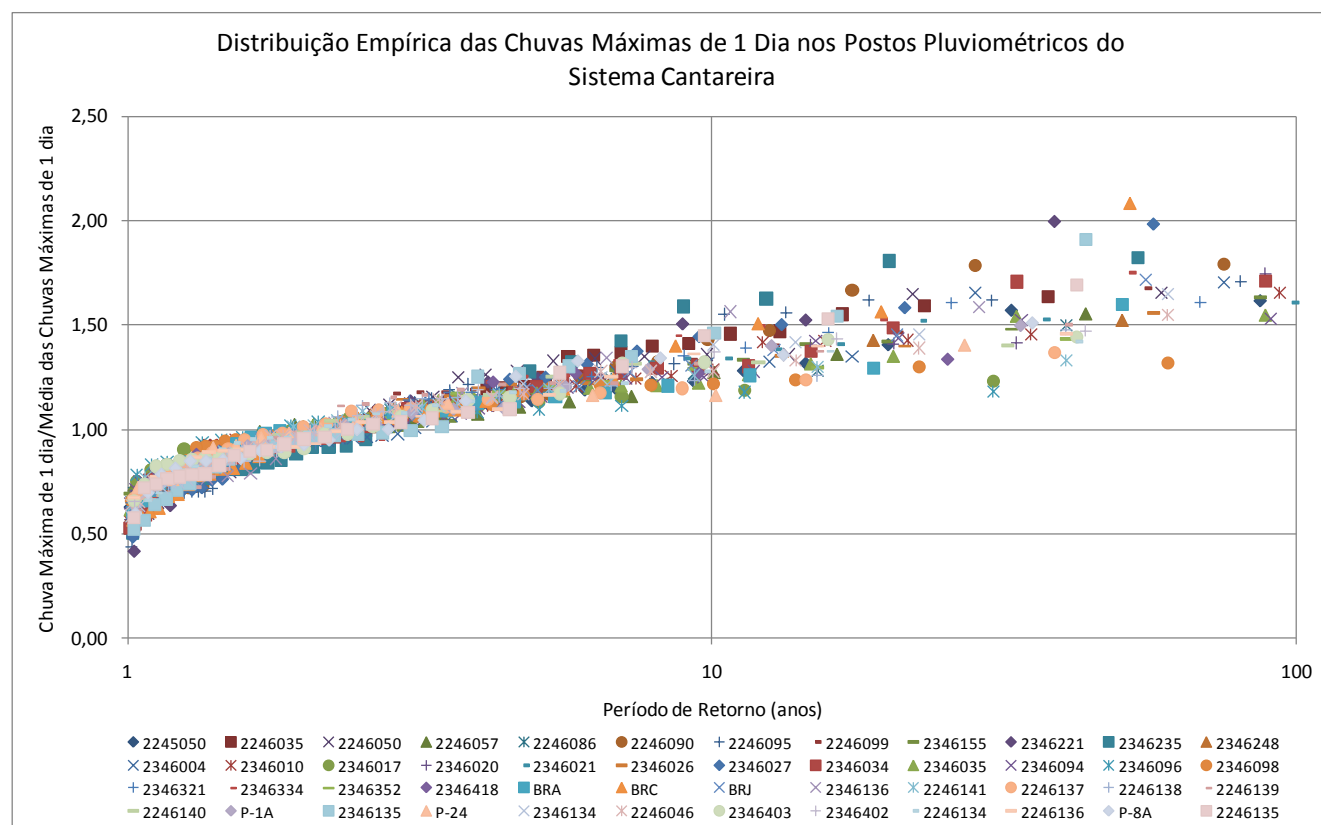


FIGURA 13

No entanto julgou-se mais adequado a aplicação desta metodologia para cada bacia utilizando os postos pluviométricos na sua área ou na imediata circunvizinhança. As Tabelas 12 a 15 apresentam os momentos-L e os coeficientes-L de variação e assimetria determinados para as séries de precipitações máximas de 1 dia normalizadas pelas respectivas médias.

Os parâmetros da distribuição Gumbel para cada série de precipitações máximas normalizadas de 1 dia foram determinados utilizando os momentos-L  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ . Finalmente os parâmetros da distribuição Gumbel regional foram determinados utilizando o método proposto por Wallis (1982). As Figuras 14 a 17 apresentam a distribuição probabilística regional Gumbel ajustada pelos momentos-L para as bacias dos rios Juqueri, Atibainha, Cachoeira e Jaguari-Jacaré.

As Tabelas 16 a 19 apresentam as precipitações máximas de 1 dia para as bacias dos rios Juqueri, Atibainha, Cachoeira e Jaguari-Jacaré para diversos períodos de retorno, obtidas pelo produto das ordenadas da distribuição probabilística Gumbel e da média amostral das séries. Em fundo azul estão destacadas as precipitações máximas de 1 dia dos postos pluviométricos selecionados associadas a períodos de retorno de 50, 100, 1.000 e 10.000 anos que serão utilizadas nos estudos de cheia.

**TABELA 12 – MOMENTOS-L E COEFICIENTES-L DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO JUQUERI**

	ELETROP	DAEE	DAEE	DAEE	DAEE	DAEE	DAEE	DAEE	DAEE	SABESP	SABESP	SABESP	SABESP	SABESP	SABESP
momentos ponderados de probabilidades	P12-097	E3-225	E3-005	E3-047	E3-083	E3-030	E3-082	E3-081	E3-262	BRJ	P-1	P-1A	P-2	P-24	P-3
	2346155	2346017	2346020	2346021	2346026	2346027	2346034	2346035	2346418		2346136		2346135		2346134
bo =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
b1 =	0,56	0,54	0,56	0,57	0,57	0,59	0,57	0,56	0,56	0,57	0,58	0,56	0,59	0,55	0,57
b2 =	0,40	0,37	0,40	0,40	0,40	0,43	0,41	0,40	0,40	0,41	0,42	0,40	0,43	0,39	0,41
momentos-L amostrais															
$\lambda_1 =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\lambda_2 =$	0,12	0,08	0,12	0,13	0,13	0,18	0,14	0,12	0,12	0,14	0,17	0,13	0,18	0,11	0,14
$\lambda_3 =$	0,03	0,00	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,03	0,00	0,02
coeficientes-L															
L-CV t2 =	0,12	0,08	0,12	0,13	0,13	0,18	0,14	0,12	0,12	0,14	0,17	0,13	0,18	0,11	0,14
L-assimetria t3 =	0,21	0,00	0,17	0,13	0,11	0,18	0,13	0,04	0,02	0,14	0,21	0,15	0,19	0,03	0,13

**TABELA 13 – MOMENTOS-L E COEFICIENTES-L DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO ATIBAINHA**

	DAEE	ELETROP	ELETROP	DAEE	ANA	DAEE	SABESP	SABESP	SABESP
momentos ponderados de probabilidades	D3-070	P8-191	P12-081	E3-099		E3-250	BRA	P-5	P-6
	2246086	2346221	2346248	2346010	2346096	2346352		2346403	2346402
bo =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
b1 =	0,56	0,60	0,56	0,56	0,53	0,56	0,56	0,56	0,57
b2 =	0,40	0,44	0,40	0,40	0,37	0,40	0,39	0,40	0,40
momentos-L amostrais									
$\lambda_1 =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\lambda_2 =$	0,12	0,20	0,13	0,13	0,07	0,12	0,12	0,12	0,14
$\lambda_3 =$	0,01	0,03	0,00	0,01	-0,01	0,01	0,00	0,03	0,02
coeficientes-L									
L-CV t2 =	0,12	0,20	0,13	0,13	0,07	0,12	0,12	0,12	0,14
L-assimetria t3 =	0,11	0,17	0,02	0,06	-0,08	0,04	0,04	0,21	0,14

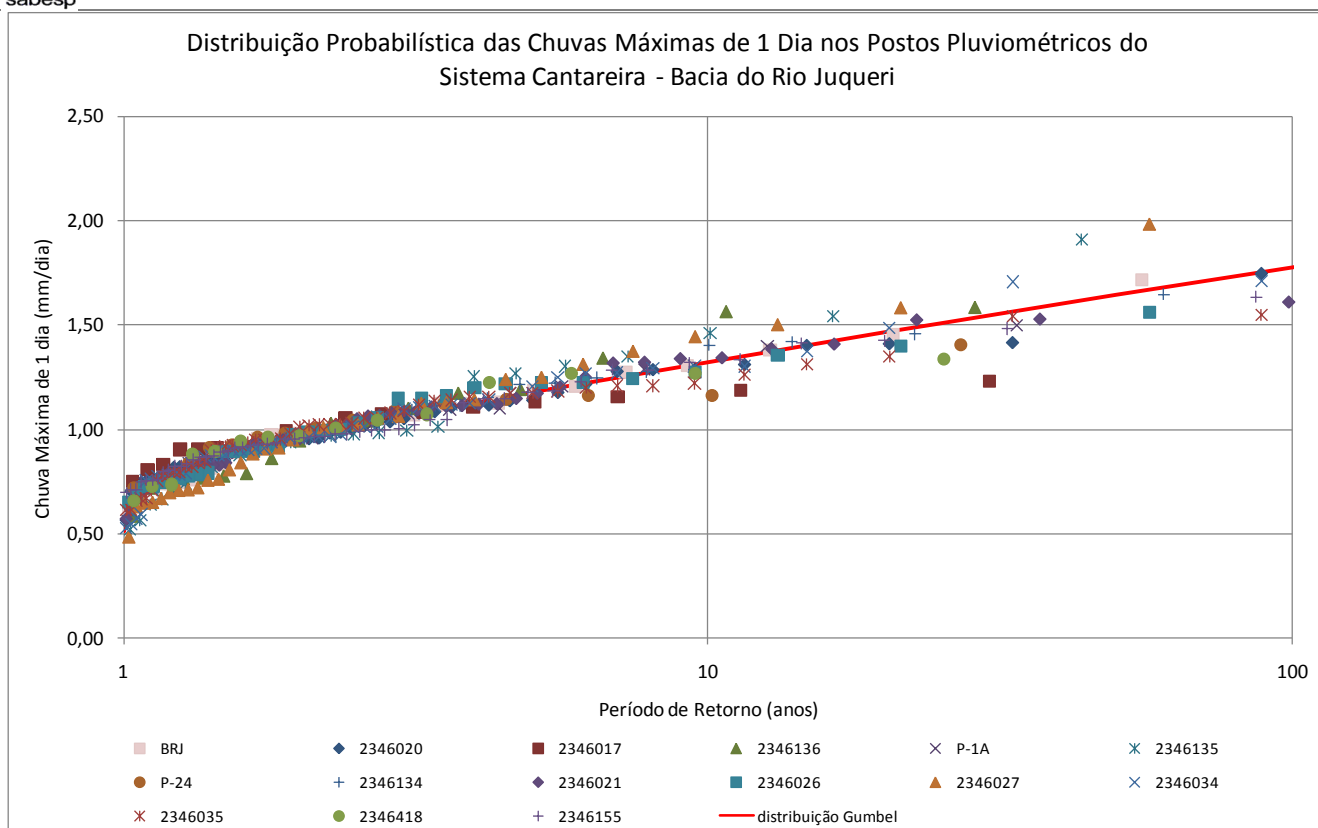
**TABELA 14 – MOMENTOS-L E COEFICIENTES-L DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO CACHOEIRA**

momentos ponderados de probabilidades	DAEE	DAEE	DAEE	ANA	DAEE	SABESP	SABESP	SABESP	SABESP
	D2-021	D3-019	E3-076	2346094	E3-229	BRC	P-15	P-7	P-4
	2245050	2246099	2346004	2346094	2346334		2246140	2246134	2246046
bo =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
b1 =	0,56	0,58	0,56	0,56	0,58	0,59	0,57	0,56	0,56
b2 =	0,40	0,42	0,40	0,39	0,42	0,43	0,40	0,40	0,40
momentos-L amostrais									
$\lambda_1$ =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\lambda_2$ =	0,12	0,16	0,13	0,11	0,16	0,18	0,13	0,12	0,13
$\lambda_3$ =	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,01
coeficientes-L									
L-CV t2 =	0,12	0,16	0,13	0,11	0,16	0,18	0,13	0,12	0,13
L-assimetria t3 =	0,12	0,09	0,23	0,18	0,20	0,19	0,04	0,01	0,08

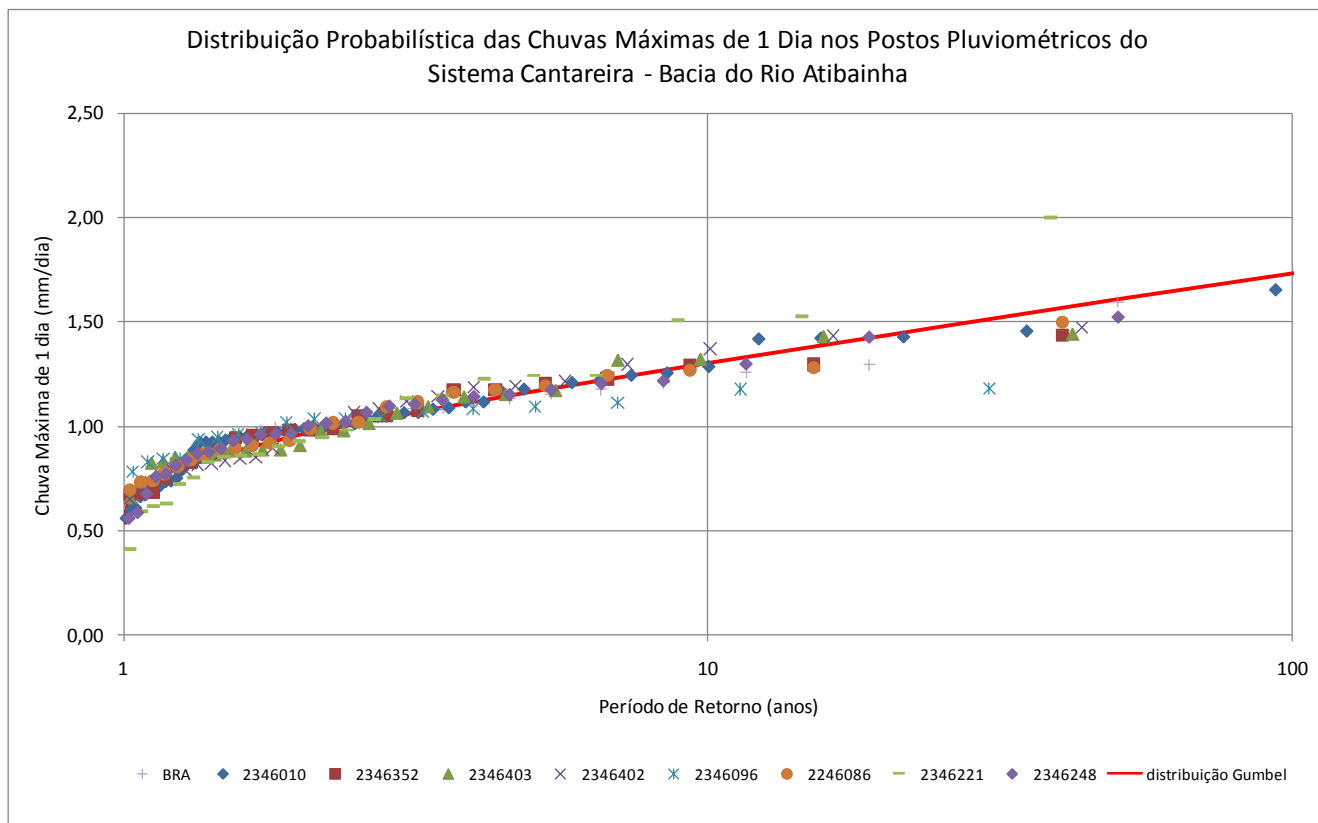
**TABELA 15 – MOMENTOS-L E COEFICIENTES-L DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO JAGUARI**

momentos ponderados de probabilidades	DAEE	ANA	ANA	DAEE	DAEE	SABESP	SABESP	SABESP	SABESP	SABESP	SABESP	SABESP
	D3-018			D3-054	D3-035	P-10	P-11	P-12	P-13	P-8	P-8A	P-9
	2246035	2246050	2246057	2246090	2246095	2246141	2246137	2246138	2246139	2246136		2246135
bo =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
b1 =	0,58	0,59	0,56	0,58	0,59	0,56	0,55	0,56	0,57	0,56	0,57	0,57
b2 =	0,42	0,42	0,39	0,42	0,42	0,39	0,39	0,40	0,41	0,40	0,40	0,41
momentos-L amostrais												
$\lambda_1$ =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\lambda_2$ =	0,17	0,17	0,11	0,16	0,18	0,11	0,11	0,12	0,15	0,12	0,13	0,15
$\lambda_3$ =	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03
coeficientes-L												
L-CV t2 =	0,17	0,17	0,11	0,16	0,18	0,11	0,11	0,12	0,15	0,12	0,13	0,15
L-assimetria t3 =	0,18	0,10	0,11	0,20	0,10	0,03	-0,05	0,01	0,02	0,18	0,17	0,23





**FIGURA 14**



**FIGURA 15**

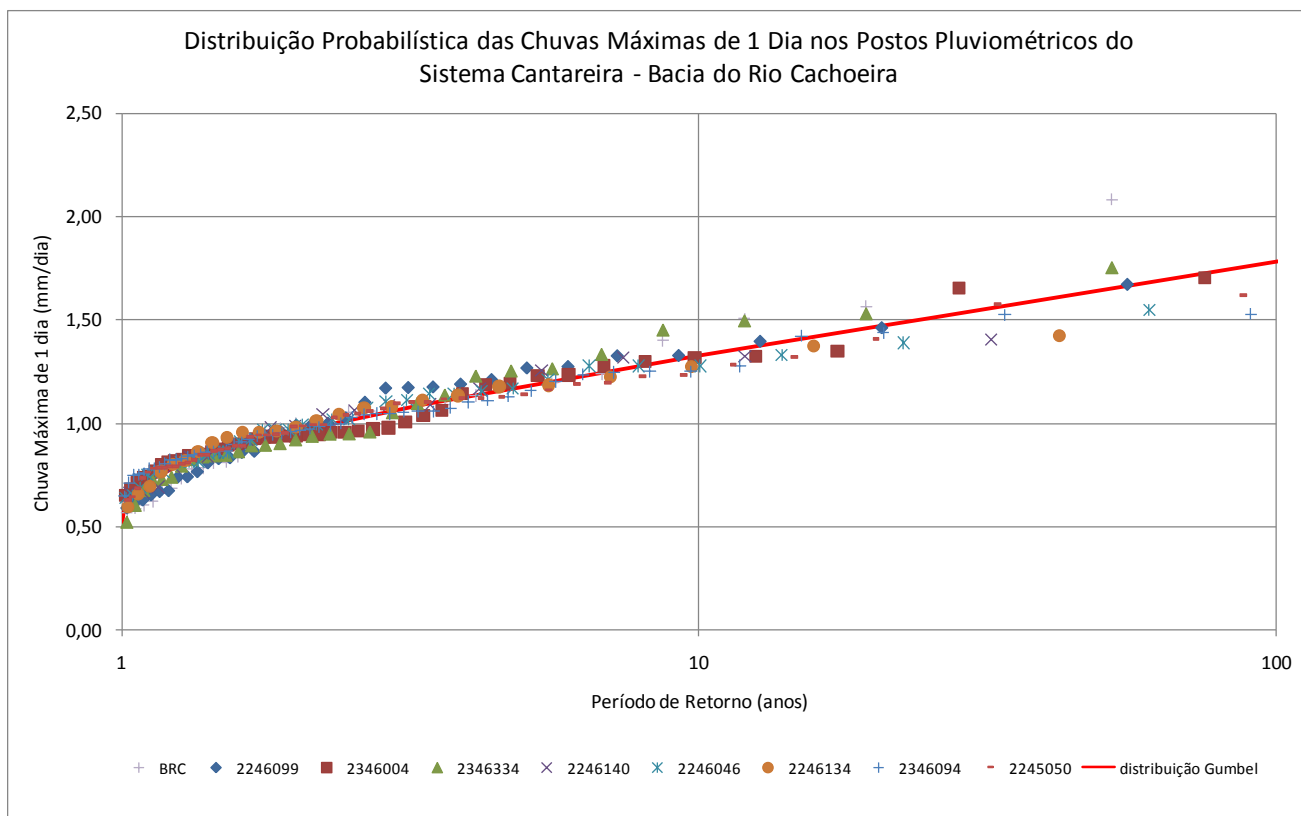


FIGURA 16

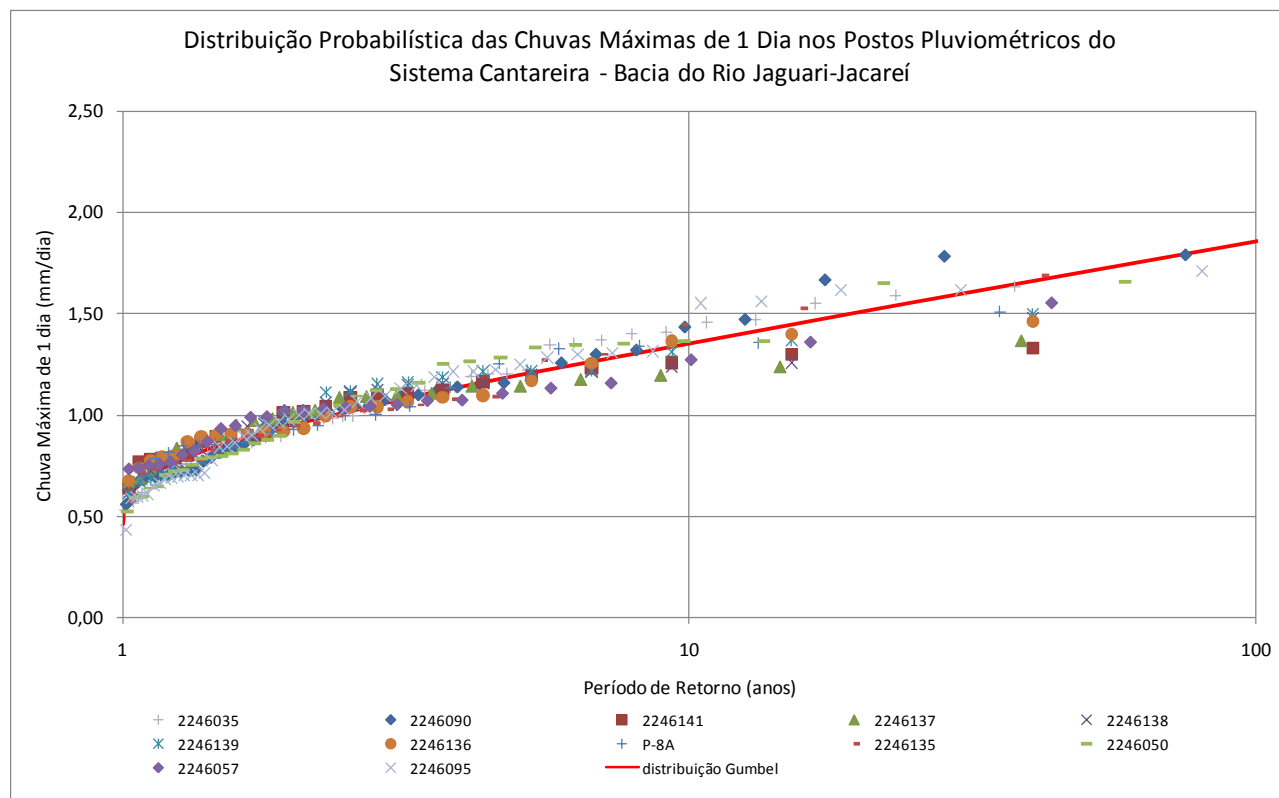


FIGURA 17

TABELA 16 – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO JUQUERI

Probabilidade de Excedência	Período de Retorno (anos)	Precipitação Máxima / Precipitação Média - distribuição Gumbel	Precipitação Máxima (mm)														
			P12-097	E3-225	E3-005	E3-047	E3-083	E3-030	E3-082	E3-081	E3-262	BRJ	P-1	P-1A	P-2	P-24	P-3
			2346155	2346017	2346020	2346021	2346026	2346027	2346034	2346035	2346418		2346136		2346135		2346134
0,0001	10.000	2,67	193	190	194	203	210	214	206	197	236	225	223	212	212	213	211
0,0005	2.000	2,36	170	168	171	179	185	189	182	174	208	199	197	187	187	189	186
0,001	1.000	2,23	160	159	161	169	175	178	172	164	197	187	186	176	177	178	175
0,005	200	1,91	138	136	139	145	150	153	148	141	169	161	160	152	152	153	151
0,01	100	1,78	128	127	129	135	140	142	137	131	157	150	149	141	141	142	140
0,02	50	1,64	118	117	119	125	129	132	127	121	145	138	137	130	131	131	129
0,04	25	1,51	109	107	109	114	118	121	116	111	133	127	126	119	120	120	119
0,05	20	1,46	105	104	106	111	115	117	113	108	129	123	122	116	116	117	115
0,1	10	1,32	95	94	96	101	104	106	102	97	117	111	111	105	105	106	104
0,2	5	1,18	85	84	85	89	93	94	91	87	104	99	98	93	94	94	93
0,3	3,33	1,09	78	77	79	83	85	87	84	80	96	92	91	86	86	87	86
0,5	2,00	0,96	69	68	69	73	75	77	74	71	85	81	80	76	76	77	76

TABELA 17 – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO ATIBAINHA

Probabilidade de Excedência	Período de Retorno (anos)	Precipitação Máxima / Precipitação Média - distribuição Gumbel	Precipitação Máxima (mm)								
			D3-070	P8-191	P12-081	E3-099	2346096	E3-250	BRA	P-5	P-6
			2246086	2346221	2346248	2346010	2346096	2346352		2346403	2346402
0,0001	10.000	2,58	206	250	191	185	177	192	186	220	207
0,0005	2.000	2,29	182	221	169	164	157	170	165	195	183
0,001	1.000	2,16	172	209	160	155	148	161	156	184	173
0,005	200	1,87	148	180	138	134	128	139	134	159	149
0,01	100	1,74	138	168	128	125	119	129	125	148	139
0,02	50	1,61	128	156	119	115	110	120	116	137	129
0,04	25	1,48	118	143	109	106	101	110	107	126	118
0,05	20	1,44	114	139	106	103	99	107	104	122	115
0,1	10	1,31	104	126	96	94	90	97	94	111	105
0,2	5	1,17	93	113	86	84	80	87	84	100	94
0,3	3,33	1,08	86	105	80	78	74	80	78	92	87
0,5	2,00	0,96	76	93	71	69	66	71	69	82	77

**TABELA 18 – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO CACHOEIRA**

Probabilidade de Excedência	Período de Retorno (anos)	Precipitação Máxima / Precipitação Média - distribuição Gumbel	Precipitação Máxima (mm)								
			D2-021	D3-019	E3-076	2346094	E3-229	BRC	P-15	P-7	P-4
			2245050	2246099	2346004	2346094	2346334		2246140	2246134	2246046
0,0001	10.000	2,68	217	195	190	183	204	226	202	205	218
0,0005	2.000	2,37	192	173	168	162	180	199	179	181	193
0,001	1.000	2,23	181	163	158	153	170	188	168	171	182
0,005	200	1,92	155	140	136	131	146	162	145	147	156
0,01	100	1,78	144	130	127	122	136	150	134	136	145
0,02	50	1,65	133	120	117	113	125	139	124	126	134
0,04	25	1,51	122	110	107	103	115	127	114	115	123
0,05	20	1,47	119	107	104	100	111	123	111	112	119
0,1	10	1,33	107	97	94	91	101	112	100	101	108
0,2	5	1,18	96	86	84	81	90	99	89	90	96
0,3	3,33	1,09	88	79	77	74	83	92	82	83	89
0,5	2,00	0,96	78	70	68	66	73	81	72	73	78

**TABELA 19 – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO JAGUARI**

Probabilidade de Excedência	Período de Retorno (anos)	Precipitação Máxima / Precipitação Média - distribuição Gumbel	Precipitação Máxima (mm)										
			D3-018	2246050	2246057	D3-054	D3-035	P-10	P-11	P-12	P-13	P-8	P-8A
			2246035	2246050	2246057	2246090	2246095	2246141	2246137	2246138	2246139	2246136	2246135
0,0001	10.000	2,84	191	208	203	203	184	195	195	223	207	200	198
0,0005	2.000	2,50	168	183	178	179	161	172	171	196	182	176	174
0,001	1.000	2,35	158	172	168	168	152	162	161	184	171	165	164
0,005	200	2,01	135	147	143	144	130	138	138	157	146	141	140
0,01	100	1,86	125	136	132	133	120	128	127	146	135	131	130
0,02	50	1,71	115	125	122	122	110	118	117	134	124	120	119
0,04	25	1,56	105	114	111	112	101	107	107	122	113	110	109
0,05	20	1,51	102	111	108	108	98	104	104	119	110	106	105
0,1	10	1,36	91	100	97	97	88	93	93	106	99	96	95
0,2	5	1,20	81	88	85	86	77	82	82	94	87	84	84
0,3	3,33	1,10	74	80	78	78	71	75	75	86	80	77	77
0,5	2,00	0,96	64	70	68	68	62	66	65	75	70	67	67

## 5. Metodologia e Critérios de Projeto

A metodologia utilizada para a determinação dos hidrogramas de projeto para avaliação dos volumes de espera requeridos nos aproveitamentos do Sistema Cantareira foi definida em função das características fisiográficas das bacias e da disponibilidade de dados hidrológicos. Uma vez que as bacias hidrográficas têm áreas de drenagem entre 312 e 1.230 km<sup>2</sup> e não dispõe de postos fluviográficos com séries longas de vazões optou-se pela aplicação de modelo chuva-vazão que utilize as precipitações máximas e permita a representação das características fisiográficas da bacia.

A metodologia para a determinação dos hidrogramas de projeto é composta pelas seguintes etapas:

- delimitação das bacias hidrográficas e das sub-bacias do rio Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri;
- determinação dos números da curva CN das sub-bacias hidrográficas em função da classificação hidrológica do solo e do uso e ocupação;
- determinação dos tempos de concentração das sub-bacias hidrográficas;
- determinação da chuva excedente através do método do “Soil Conservation Service Curve Number”;
- utilização do hidrograma unitário sintético do “Soil Conservation Service” para a transformação da chuva excedente em escoamento superficial;
- escolha da duração crítica das precipitações de projeto para as bacias hidrográficas em função do tempo de concentração;
- escolha das distribuições temporais das precipitações de projeto para as bacias hidrográficas que resultem em condições críticas para formação do escoamento superficial;
- modelagem matemática e computacional das bacias hidrográficas e sub-bacias;
- simulação do processo chuva-vazão para a ocorrência das precipitações de projeto obtendo os hidrogramas de projeto;
- modelagem matemática e computacional da operação de cheia dos aproveitamentos do Jaguari-Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro utilizando as relações cota x descarga dos vertedouros e as curvas cota x área x volume dos reservatórios;
- simulação da operação de cheia dos aproveitamentos do Jaguari-Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro para hidrogramas de projeto associados ao período de retorno de 1.000 e 10.000 anos para a verificação da segurança hidrológica das barragens;
- simulação da operação de cheia dos aproveitamentos do Jaguari-Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro para hidrogramas de projeto associados ao período de retorno de 50 e 100 anos para a verificação da capacidade de controle de cheias para diversas alternativas de vazões de restrição e volumes de espera;
- análise dos volumes de espera requeridos para a garantia da segurança da obra e controle de cheias a jusante dos aproveitamentos.

## 6. Tormentas de Projeto

### 6.1. Duração

A duração das chuvas ou tormentas de projeto dos aproveitamentos do Sistema Cantareira deve ser escolhida para garantir a plena contribuição das bacias hidrográficas e a formação de hidrogramas críticos ou de projeto para verificação da segurança hidrológica e da necessidade de utilizar volumes de espera. Uma vez que os aproveitamentos da bacia do rio Piracicaba – Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha – têm grandes áreas e volumes de reservatório para suas bacias hidrográficas há necessidade de utilizar de chuvas de projeto de longa duração que resultam em hidrogramas com maior volume e, portanto, mais críticos.

O tempo de concentração da bacia hidrográfica do rio Jaguari resultou em 18,2 horas. Por sua vez, os tempos de concentração das bacias dos rios Cachoeira, Atibainha e Juqueri resultaram em 8,6, 8,5 e 7,0 horas, respectivamente.

Desta forma, para atender as mencionadas diretrizes, foi escolhida uma duração da tormenta de projeto da bacia do rio Jaguari de 24 horas, enquanto para as bacias dos rios Cachoeira, Atibainha e Juqueri foi escolhida uma duração de 12 horas.

### 6.2. Distribuição Espacial

As bacias hidrográficas dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri têm áreas de drenagem de 1.230, 392, 312 e 369 km<sup>2</sup>. Em função desta característica foi necessário, também, considerar as sub-bacias para representar a distribuição espacial das precipitações nas bacias hidrográficas.

No entanto, os pluviômetros ou pluviógrafos registram as chuvas em um ponto ou local. As análises hidrometeorológicas demonstram que a chuva na área é inferior a chuva no ponto e que esta relação depende da área da bacia hidrográfica e da duração da tormenta.

Desconhecem-se estudos desta natureza para a região do Estado de São Paulo, razão pela qual foram utilizados as relações obtidas pelo National Environmental Research Council (1975). A aplicação desta referência indicou que as chuvas de projeto de 12 horas das bacias dos rios Juqueri e Cachoeira deveriam utilizar um fator de redução de 0,88, enquanto para a bacia do rio Atibainha o fator resultou em 0,89. Por sua vez as chuvas de projeto de 24 horas na bacia do rio Jaguari deveriam utilizar um fator de redução de 0,85.

### 6.3. Altura Pluviométrica

As precipitações máximas de 1 dia associadas a períodos de retorno de 100 e 1.000 anos nas sub-bacias foram obtidas com base nas respectivas precipitações máximas de 1 dia dos postos pluviométricos localizados no seu interior e/ou nas proximidades. No entanto, há necessidade de determinar as precipitações máximas de 12 e 24 horas para estas sub-bacias.

Diversos estudos apresentados em publicações nacionais (Occhipinti, 1966) e internacionais (Sherman, 1939) têm demonstrado que a chuva de 1 dia tem uma duração efetiva média de 12 horas. Portanto, foi adotado este critério, que possibilitou a determinação das chuvas máximas de 12 horas com base nas chuvas máximas de 1 dia.

As mencionadas publicações apresentam, também, as relações entre as precipitações máximas de 1 dia e 24 horas na cidade de São Paulo. Da mesma forma a publicação de Pfafstetter (1982) também permite avaliar esta relação em outros locais do Brasil. Estas publicações mostram que as precipitações máximas de 1 dia e 24 horas resultam, com muita frequência, em 0,88, indicando que a precipitação máxima do período de 24 horas contínuo é cerca de 13,6% superior à precipitação máxima observada diariamente. Desta forma foi utilizado este critério para a determinação das chuvas máximas de 24 horas com base nas chuvas máximas de 1 dia.

Finalmente foram aplicados os mencionados fatores de redução de área, permitindo obter as alturas pluviométricas ou precipitações máximas de projeto associadas a períodos de retorno de 100 e 1.000 anos nas sub-bacias das bacias hidrográficas dos rios Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira, apresentadas na Tabela 20. Em fundo azul estão as precipitações máximas de projeto.

### 6.4. Distribuição Temporal

A distribuição temporal dos volumes precipitados condiciona o volume infiltrado e a forma do hidrograma de escoamento superficial direto originado pela chuva excedente. As chuvas intensas apresentam distribuição temporal muito variada. Por esta razão, com base nas observações, foram estabelecidos padrões de distribuição das chuvas intensas que representam, satisfatoriamente, a cronologia da maior parte das tormentas.

Estas distribuições padronizadas incluem as intensidades máximas correspondentes ao período de retorno de projeto em uma seqüência cronológica mais crítica, responsável pela forma do hidrograma e sua vazão de pico de projeto.

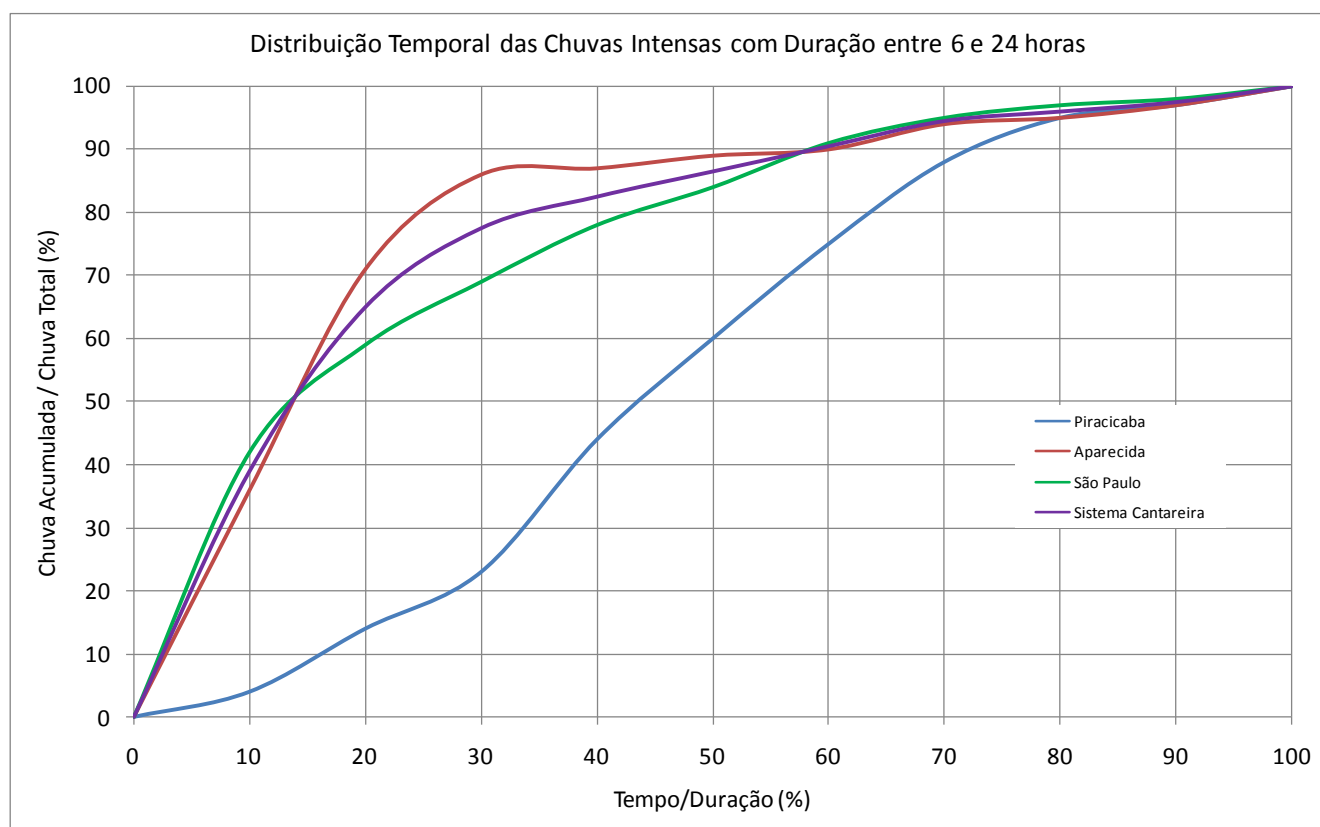
**TABELA 20 – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DE PROJETO NAS SUB-BACIAS**

Bacias e Sub-Bacias	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Chuva no Ponto de 1 dia ou 12 horas (mm)				Chuva no Ponto de 1 dia ou 24 horas (mm)				Chuva na Área de 1 dia ou 12 horas (mm)				Chuva na Área de 1 dia ou 24 horas (mm)			
		50 anos	100 anos	1.000 anos	10.000 anos	50 anos	100 anos	1.000 anos	10.000 anos	50 anos	100 anos	1.000 anos	10.000 anos	50 anos	100 anos	1.000 anos	10.000 anos
JUQ 1	108,7	117	127	159	190	133	144	180	216	103	112	140	168	122	132	165	198
JUQ 2	104,2	129	140	175	211	147	159	199	239	114	124	155	186	135	146	183	219
JUQ 3	156,1	118	127	159	191	134	145	181	218	104	113	141	169	123	133	166	200
JUQUERI	369,0									107	116	145	174				
ATIB 1	138,8	133	143	178	213	151	163	202	242	118	127	158	189	139	150	186	222
ATIB 2	173,2	122	132	164	196	139	150	186	223	108	117	145	174	128	138	171	205
ATIBAINHA	312,0									112	121	151	180				
CACH 1	25,7	128	139	174	209	146	158	197	237	113	122	153	184	134	145	181	217
CACH 2	28,1	134	145	181	218	152	165	206	247	118	128	160	192	139	151	189	227
CACH 3	77,0	131	142	177	213	149	161	201	242	115	125	156	188	136	147	184	222
CACH 4	147,6	124	134	168	202	141	153	191	230	110	119	148	178	129	140	175	210
CACH 5	113,5	130	141	176	212	148	160	201	241	115	124	156	187	136	147	184	221
CACHOEIRA	392,0									113	122	153	184				
JAG 1	12,2	124	135	171	207	141	154	194	235	105	114	145	175	125	136	172	208
JAG 2	9,6	124	135	171	207	141	154	194	235	105	114	145	175	125	136	172	208
JAG 3	57,5	124	135	171	207	141	154	194	235	105	114	145	175	125	136	172	208
JAG 4	32,3	124	135	171	207	141	154	194	235	105	114	145	175	125	136	172	208
JAG 5	58,0	124	135	171	207	141	154	194	235	105	114	145	175	125	136	172	208
JAG 6	99,5	129	141	178	215	147	160	202	244	109	119	150	182	130	142	179	216
JAG 7	136,0	119	130	164	198	136	147	186	225	101	110	139	168	120	131	165	200
JAG 8	5,7	124	135	171	207	141	154	194	235	105	114	145	175	125	136	172	208
JAG 9	15,2	124	135	171	207	141	154	194	235	105	114	145	175	125	136	172	208
JAG 10	218,9	121	132	167	201	138	150	189	229	102	111	141	170	122	133	168	203
JAG 11	157,1	117	127	161	195	133	145	183	221	99	108	136	165	118	128	162	196
JAG 12	111,1	126	137	174	210	144	156	197	239	107	116	147	178	127	138	175	212
JAG 13	114,2	118	129	163	197	134	146	185	224	100	109	138	166	119	130	164	198
JAC1 (JACAREÍ)	202,8	122	133	168	203	139	151	191	231	103	112	142	172	123	134	169	205
JAGUARI	1027,2																
JAGUARI- JACAREÍ	1230,0													123	134	169	204



Para este estudo optou-se por utilizar os gráficos adimensionais de altura pluviométrica acumulada em função da duração, definidos por Magni, N. L. G. e Mero, F. (1986). Na região do Sistema Cantareira os gráficos adimensionais são apresentados para São Paulo, Aparecida e Piracicaba. Nestes gráficos são destacadas a envoltória superior, que representa as chuvas que iniciam com grande intensidade diminuindo com o tempo, e a envoltória inferior que representa as chuvas que iniciam com pequena intensidade e aumentam gradativamente com o tempo. A Figura 18 apresenta as envoltórias superiores das distribuições temporais das chuvas intensas com duração superior a 6 horas para São Paulo, Aparecida e Piracicaba.

Para representar a distribuição temporal crítica das chuvas intensas nas bacias hidrográficas dos rios Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos do Sistema Cantareira optou-se por utilizar a média das distribuições temporais das chuvas intensas com duração superior a 6 horas para São Paulo e Aparecida devido à maior proximidade da região, representada na Figura 18.



**FIGURA 18**

## 7. Determinação dos Hidrogramas de Projeto

### 7.1. Método e Parâmetros para Propagação dos Hidrogramas

Os hidrogramas calculados nas sub-bacias de montante precisam ser propagados no trecho de rio a jusante para serem somados aos hidrogramas provenientes da área de contribuição da sub-bacia à jusante. Para esta propagação foi utilizado o método de Muskingum. Para a aplicação deste método foram determinados através de ferramentas de geoprocessamento o comprimento do talvegue do rio principal entre as seções de propagação. As Figuras 19 a 22 apresentam os destaques dos talvegues considerados entre as seções de interesse.

A Tabela 21 apresenta os dados e os parâmetros K, X e número de trechos determinados para a aplicação do método de Muskingum. A velocidade de escoamento foi obtida utilizando o comprimento do talvegue e o tempo de concentração da sub-bacia. A velocidade média da onda de translação foi obtida multiplicando por 5/3 a velocidade de escoamento considerando o canal com sendo retangular e largo. Desta forma, foi possível obter o tempo de translação da onda K utilizando a velocidade média da onda e o comprimento do talvegue do rio principal.

Foi adotado o valor de 0,2 para o parâmetro X do método de Muskingum, recomendado para canais em condições naturais.

O número de trechos foi obtido de forma a garantir a estabilidade numérica do método de Muskingum, para a qual o intervalo de tempo de simulação  $\Delta t$  deve ficar entre  $2KX$  e  $2K(1-X)$ . O intervalo de tempo de simulação  $\Delta t$  adotado foi de 6 minutos.

Ressalta-se que a propagação do hidrograma da sub-bacia ATIB2 para a seção da barragem do Atibainha foi desconsiderada uma vez que o braço do reservatório atinge seu exutório não havendo, na prática, trecho de translação.

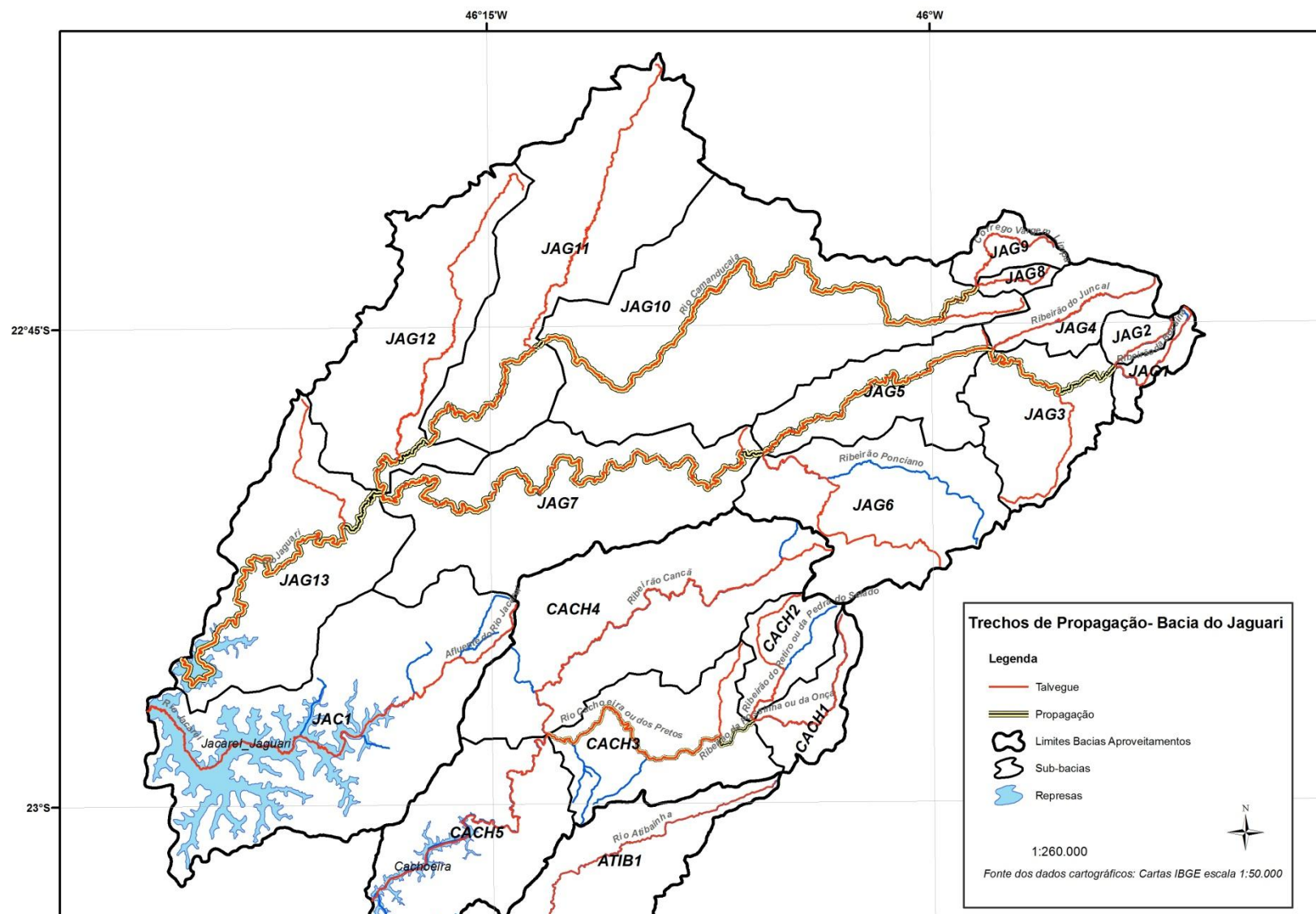


FIGURA 19 - TRECHOS CONSIDERADOS NA PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS NA BACIA DO RIO JAGUARI

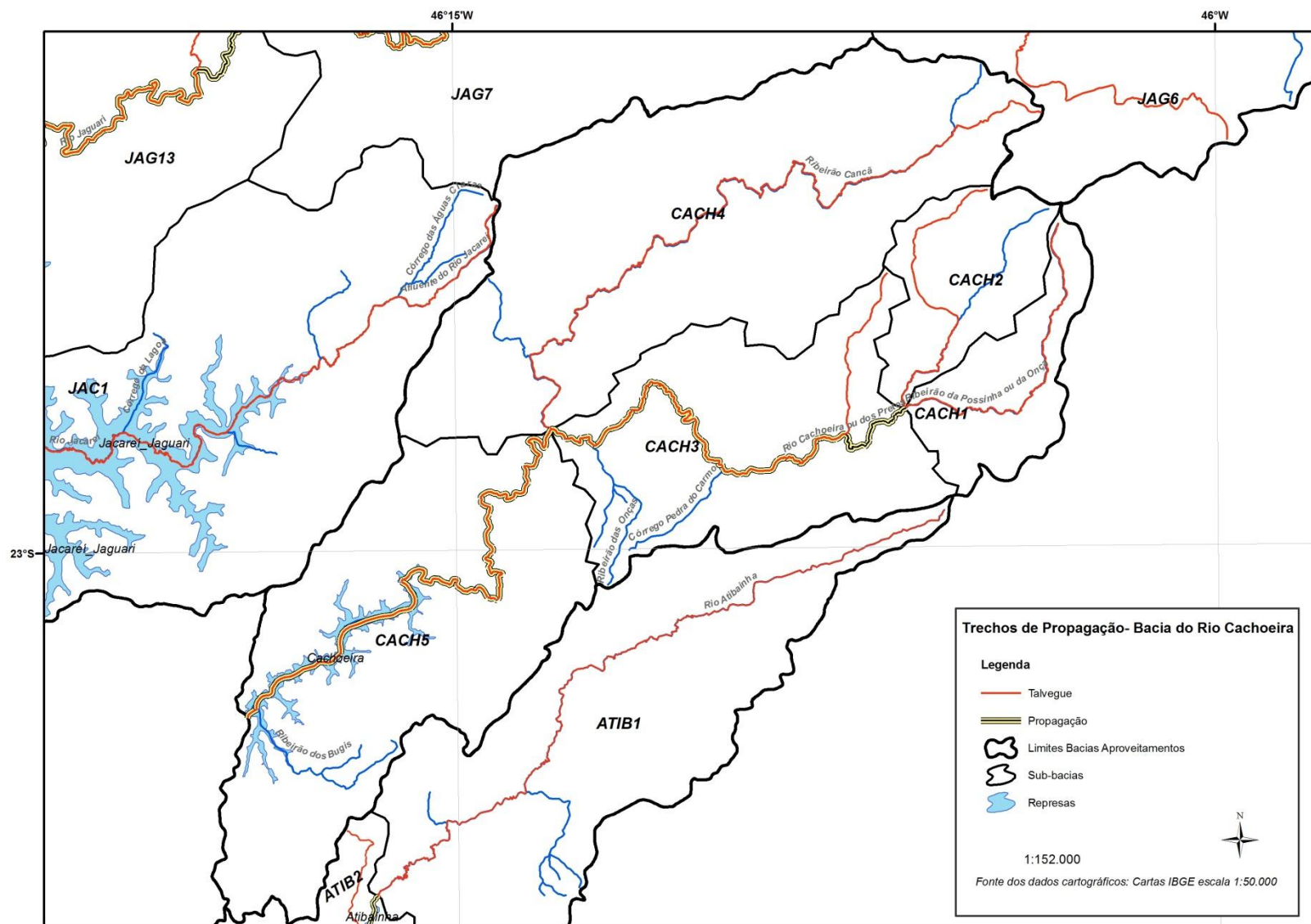


FIGURA 20 - TRECHOS CONSIDERADOS NA PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS NA BACIA DO RIO CACHOEIRA

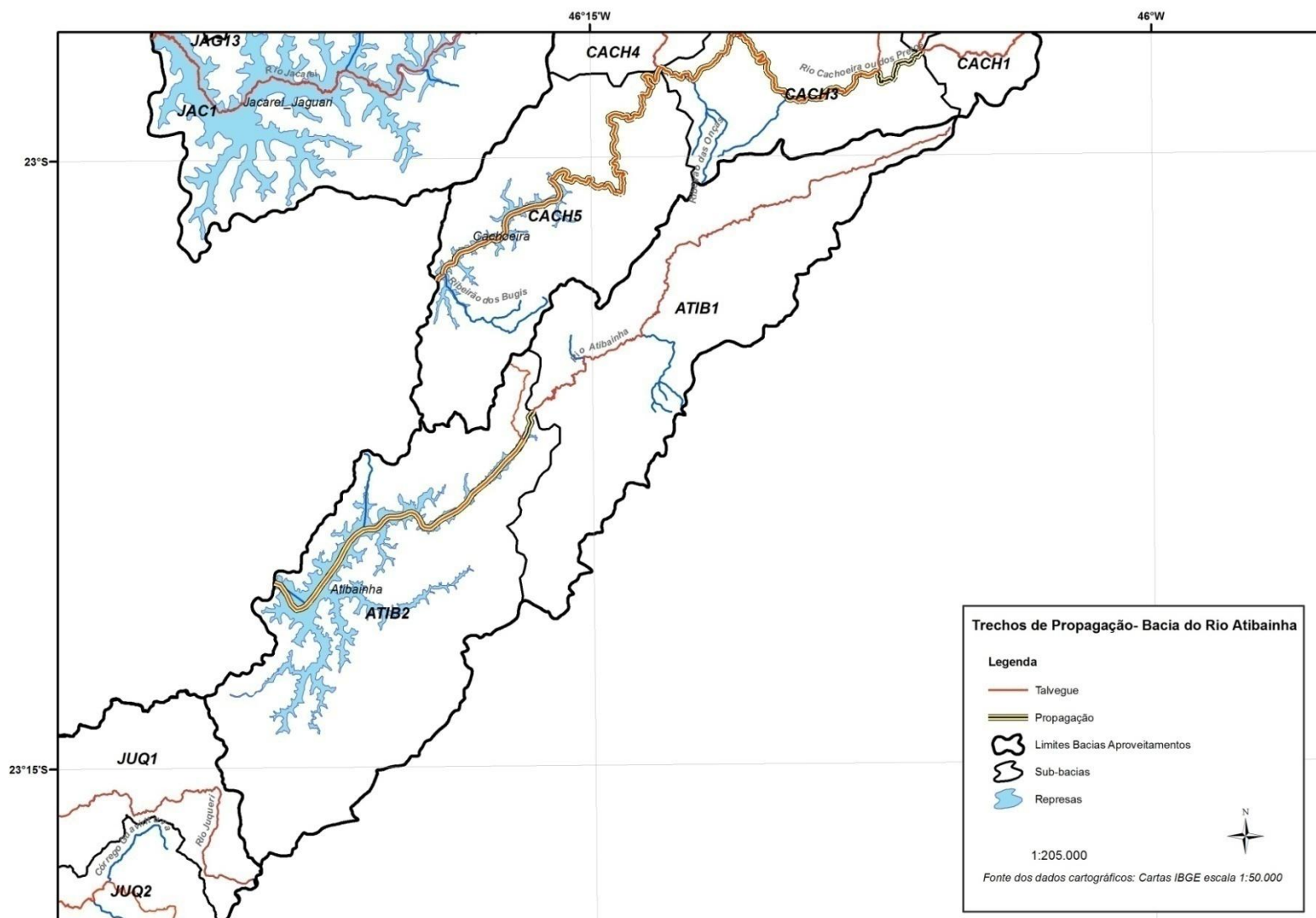


FIGURA 21 - TRECHOS CONSIDERADOS NA PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS NA BACIA DO RIO ATIBAINHA

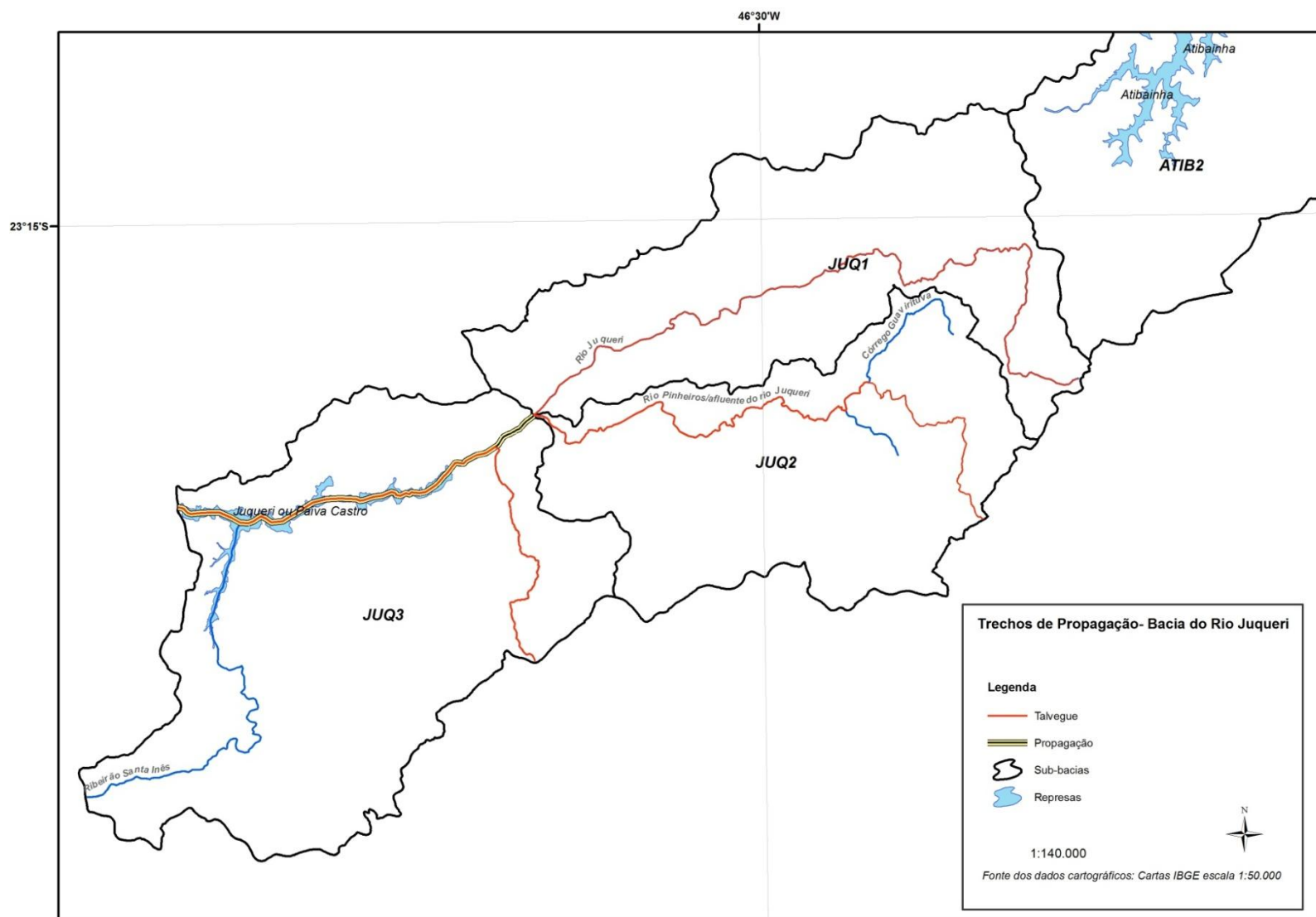


FIGURA 22 - TRECHOS CONSIDERADOS NA PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS NA BACIA DO RIO JUQUERI

TABELA 21 – PARÂMETROS DO MÉTODO DE MUSKINGUM

Composição dos hidrogramas das sub-bacias	Comprimento de	Hidrograma Resultante	Velocidade Média (m/s)	Velocidade Média da Onda (m/s)	Tempo de Translação da Onda K (h)	número de trechos	X	2KX (min)	2K(1-X) (min)
	propagação (km)								
(J1 + J2)	12,4	J1-2	1,5	2,5	0,18	8	0,2	4	17
J1-2 + (J3 + J4)	20,9	J1-2-3-4	1,4	2,4	0,15	16	0,2	4	15
J1-2-3-4 + (J5 + J6)	47,0	J1-2-3-4-5-6	1,7	2,8	0,20	24	0,2	5	19
JAG 8 + JAG 9	46,3	J8-9	1,7	2,8	0,19	24	0,2	5	18
J8-9 + JAG 10	16,0	J8-9-10	1,6	2,6	0,21	8	0,2	5	20
J8-9-10+ JAG 11	7,7	J8-9-10-11	1,6	2,6	0,21	4	0,2	5	20
J8-9-10-11 + JAG 7 + JAG 12	32,0	J8-9-10-11-7-12	1,6	2,6	0,21	16	0,2	5	20
Total (J8-9-10-11-7-12 + J13)		Jtotal							
JAC1 (JACAREÍ)		JACtotal							
C1 + C2	19,6	C1-2	1,5	2,6	0,21	10	0,2	5	20
C1-2 + C3 + C 4	23,2	C1-2-3-4	1,0	1,6	0,22	18	0,2	5	21
Total (C1-2-3-4 + C5)		Ctotal							
A1	17,5	AT1	1,3	2,1	0,19	12	0,2	5	19
Total (AT1+ A2)		Atotal							
JU1 + JU 2	12,6	JU1-2	1,4	2,3	0,19	8	0,2	5	19
Total (JU1-2+ JU3)		JUTotal							



## 7.2. Modelagem Computacional

A modelagem computacional foi desenvolvida utilizando o modelo HEC-HMS v. 3.2 desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center do US Corps of Engineers. A modelagem computacional considerou as sub-bacias representadas na Figura 4, com suas conexões representadas por trechos em canal.

Para a modelagem das sub-bacias hidrográficas foram fornecidas as características fisiográficas representadas pelas áreas de drenagem, o tempo de retardo e o número da curva CN, apresentados na Tabela 11. Para representar os trechos em canal foram fornecidos os parâmetros do método de Muskingum apresentados na Tabela 21.

As tormentas foram representadas fornecendo os totais precipitados máximos de 12 horas nas bacias dos rios Cachoeira, Atibainha e Juqueri e 24 horas na bacia do rio Jaguari, apresentados em fundo azul na Tabela 20. Os totais precipitados máximos foram distribuídos no tempo utilizando a distribuição temporal acumulada apresentada na Figura 18 com indicação “Sistema Cantareira”.

O intervalo de tempo de simulação adotado foi de 6 minutos. O período de simulação foi de 24 horas para as bacias dos rios Cachoeira, Atibainha e Juqueri e 48 horas para a bacia do rio Jaguari.

## 7.3. Hidrogramas de Projeto

As simulações do processo chuva-vazão das bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos foram desenvolvidas para as tormentas de projeto de 12 ou 24 horas de duração e períodos de retorno de 50, 100, 1.000 e 10.000 anos.

A Tabela 22 apresenta a síntese dos resultados das simulações do processo chuva-vazão das bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri, fornecendo para cada condição de projeto os totais precipitados, os totais infiltrados e os excedentes, bem como os volumes e as vazões de pico dos hidrogramas resultantes.

As Figuras 23 a 26 apresentam os hidrogramas de projeto associadas aos períodos de retorno de 50, 100, 1.000 e 10.000 anos das bacias dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos aproveitamentos.



**TABELA 22 – SÍNTESE DOS HIDROGRAMAS DAS BACIAS DO SISTEMA CANTAREIRA**

Resultados	Bacia do Rio Jaguari				Bacia do Rio Cachoeira				Bacia do Rio Atibainha				Bacia do Rio Juqueri			
	50 anos	100 anos	1.000 anos	10.000 anos	50 anos	100 anos	1.000 anos	10.000 anos	50 anos	100 anos	1.000 anos	10.000 anos	50 anos	100 anos	1.000 anos	10.000 anos
total precipitado (mm)	123	134	169	204	113	122	153	184	112	121	151	180	107	116	145	174
infiltração ou perda total (mm)	73	76	83	88	72	74	82	88	67	70	76	81	66	68	74	80
excedente total (mm)	50	58	86	116	41	48	71	96	45	51	74	99	41	48	70	94
total precipitado ( $10^3 \text{ m}^3$ )	151.291	164.356	207.889	250.921	44.296	47.977	60.060	72.128	34.944	37.853	47.071	56.160	39.483	42.626	53.339	64.206
infiltração ou perda total ( $10^3 \text{ m}^3$ )	90.356	93.338	102.530	108.782	28.052	29.140	32.102	34.312	20.994	21.826	23.859	25.178	24.365	24.999	27.430	29.476
excedente total ( $10^3 \text{ m}^3$ )	60.934	71.018	105.360	142.139	16.245	18.837	27.957	37.816	13.949	16.027	23.212	30.981	15.118	17.628	25.909	34.730
volume do hidrograma ( $10^3 \text{ m}^3$ )	60.934	71.018	105.360	142.139	16.245	18.837	27.957	37.816	13.949	16.027	23.212	30.981	15.118	17.628	25.909	34.730
Vazão de Pico ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1.426	1.677	2.543	3.482	566	662	1.006	1.383	539	625	926	1.257	608	716	1.077	1.467

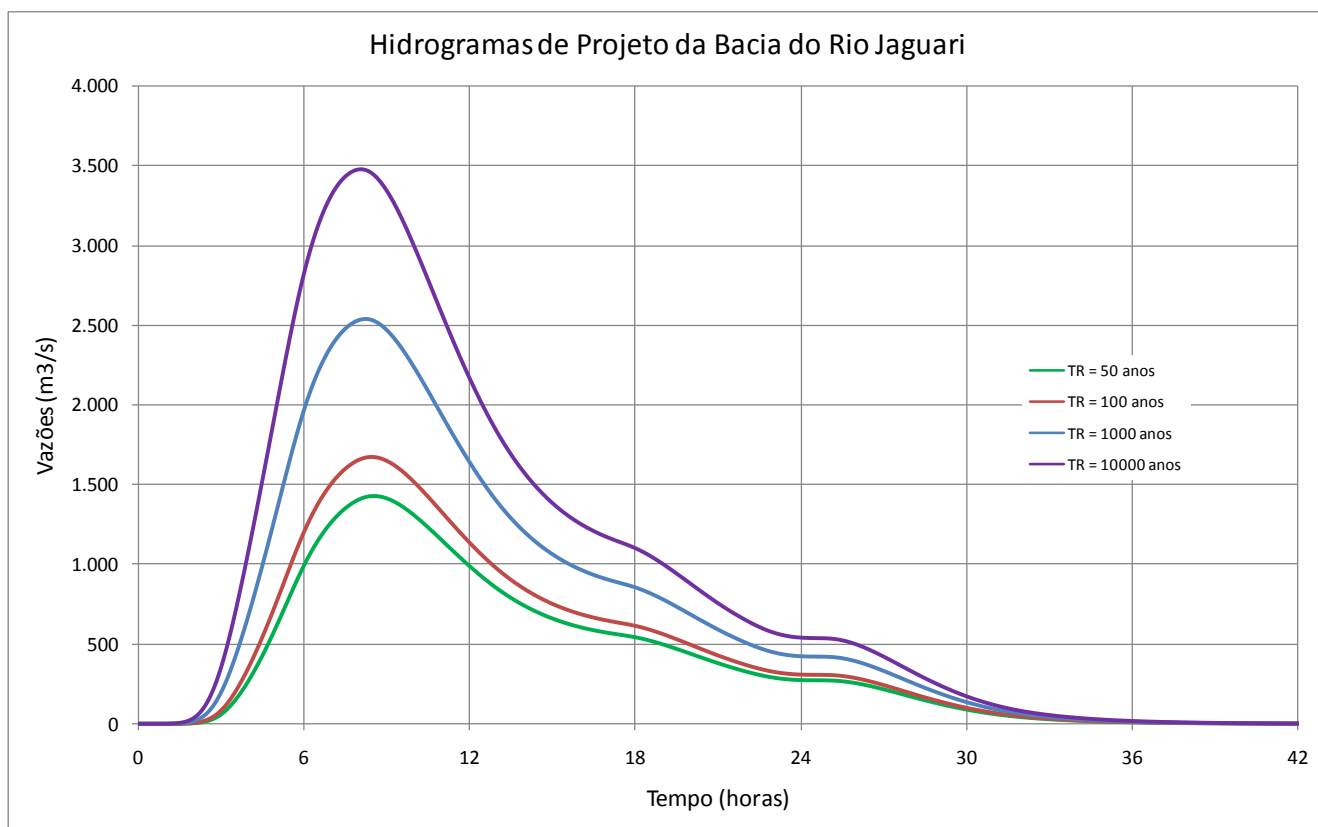


FIGURA 23

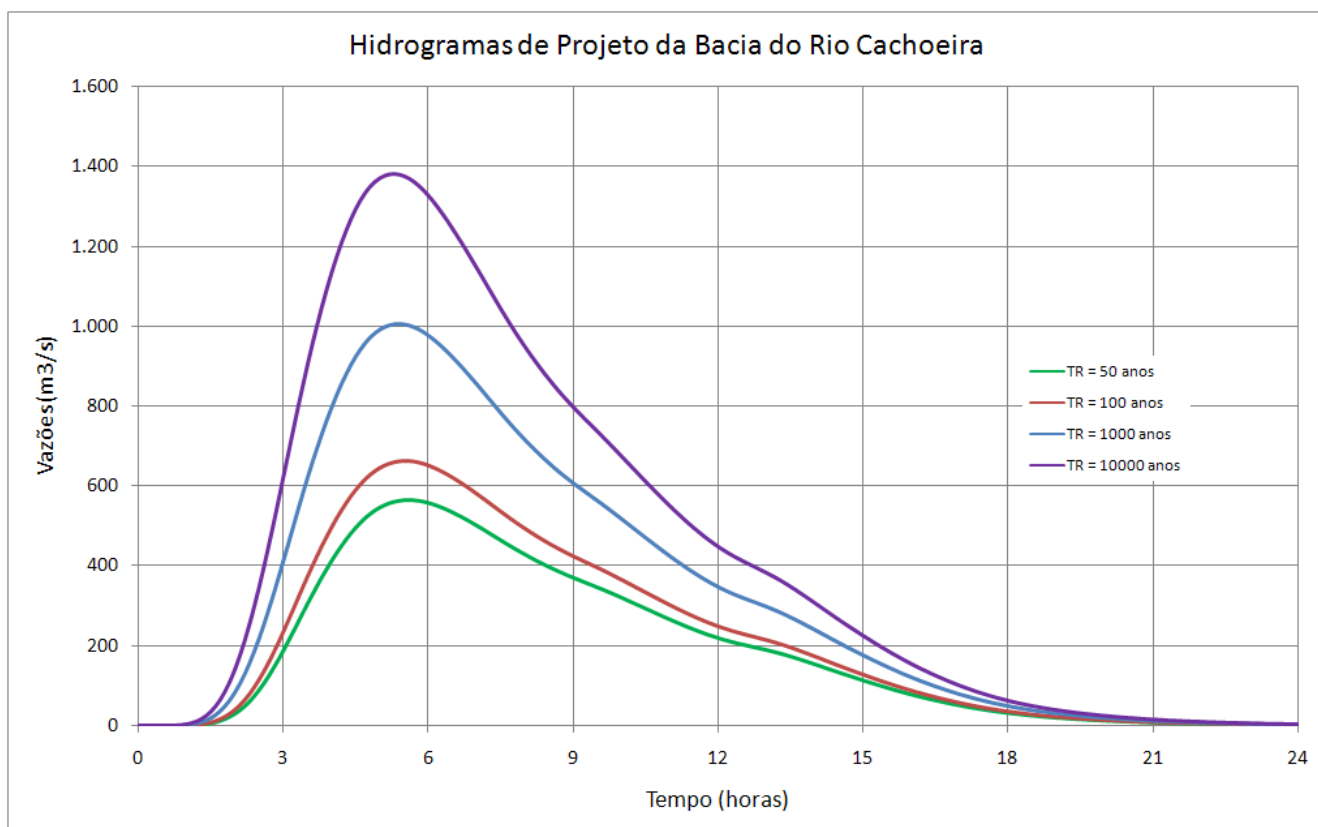
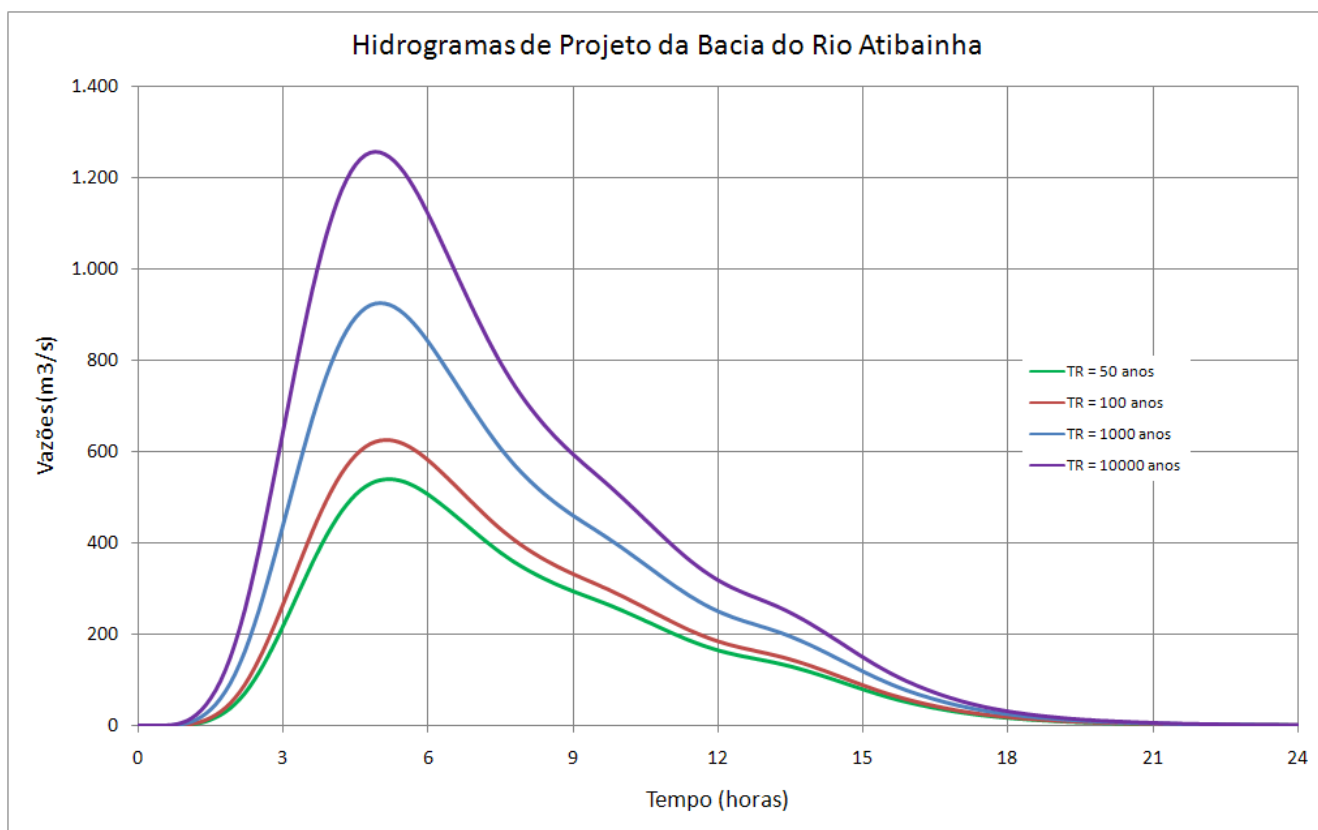
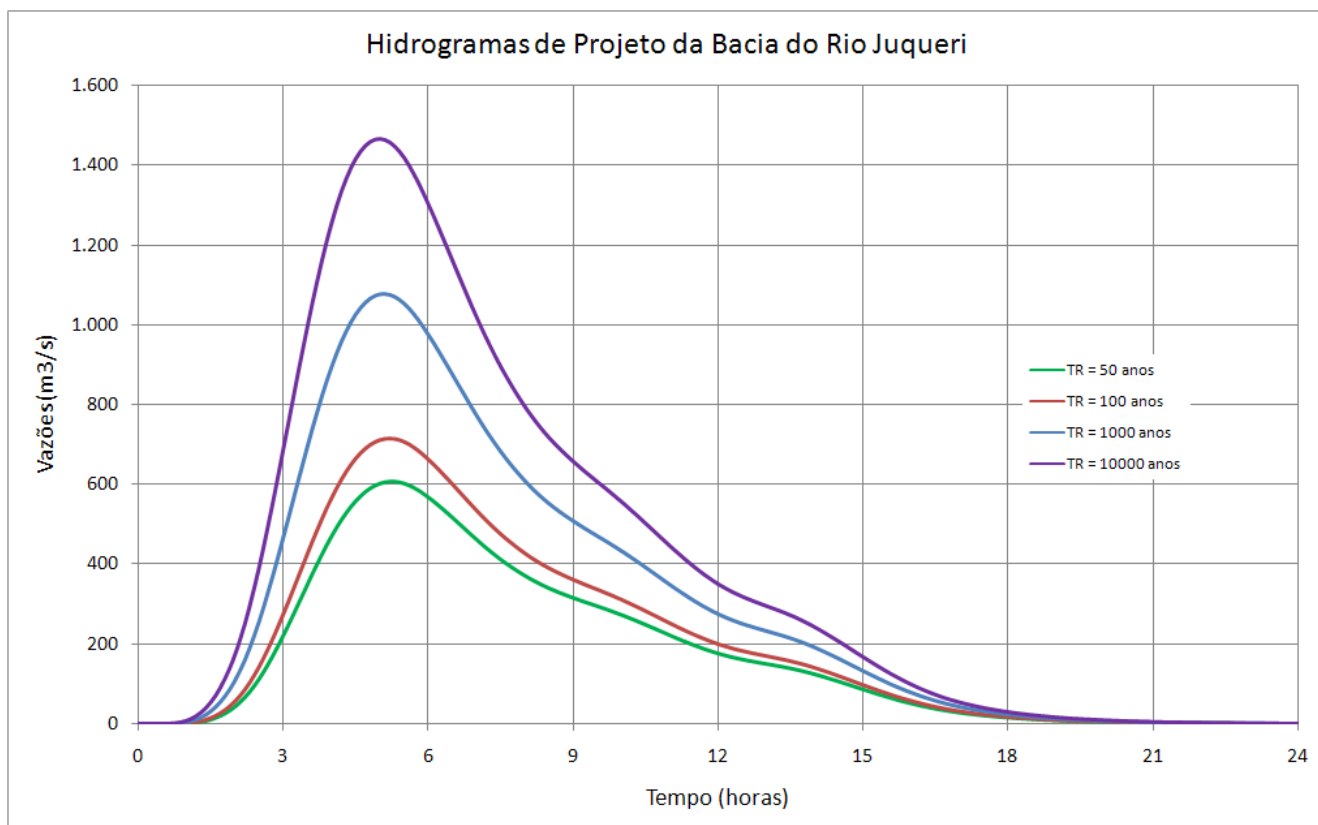


FIGURA 24



**FIGURA 25**



**FIGURA 26**

#### 7.4. Análise Comparativa dos Hidrogramas do Projeto

O relatório SABESP (1976) apresenta o projeto definitivo do sistema Cantareira enviado para o DNAEE em atendimento à Portaria nº 100 de 21 de agosto de 1975 para obter a concessão do uso das águas para o abastecimento da Grande São Paulo. Este documento apresenta um resumo dos estudos desenvolvidos, incluindo os estudos hidrológicos e o projeto hidráulico. Nas páginas 67, 92, 101 e 111 são apresentados os resumos dos estudos hidrológicos que determinaram os hidrogramas de projeto dos aproveitamentos (enchentes).

O relatório COMASP (1974) apresenta os estudos e projetos desenvolvidos para o sistema Cantareira para o pedido de concessão do uso das águas para o abastecimento da Grande São Paulo. Este documento apresenta, também, um resumo dos estudos hidrológicos e o projeto hidráulico. Nas páginas 104, 111, 119 e 128 são apresentados os desenhos com os hidrogramas de projeto dos aproveitamentos (enchentes).

A análise comparativa dos relatórios SABESP (1976) e COMASP (1974) revelam que houve uma diminuição significativa das vazões de projeto do aproveitamento Jaguari-Jacareí. No relatório da COMASP (1974) o hidrograma com período de retorno de 10.000 anos apresenta uma vazão de pico de 2.448 m<sup>3</sup>/s enquanto no relatório da SABESP (1976) houve uma redução para 1.473 m<sup>3</sup>/s.

A Tabela 23 apresenta um resumo das principais características dos hidrogramas de projeto obtidos neste estudo e apresentados no projeto do sistema Cantareira que consta do relatório SABESP (1976). A Tabela 23 foi elaborada para hidrogramas de projeto com mesmo período de retorno para permitir a comparação. Verifica-se que as vazões de pico obtidas neste estudo são significativamente superiores às de projeto. No entanto, os volumes dos hidrogramas resultantes dos estudos apresentados são menores que aqueles utilizados na fase de projeto.

**TABELA 23 – SÍNTESE DOS HIDROGRAMAS DAS BACIAS DO SISTEMA CANTAREIRA**

Aproveitamentos	Estudos Atuais			Projetos das Barragens do Cantareira		
	TR (anos)	Vazão de Pico Afluente (m <sup>3</sup> /s)	Volume do hidrograma (hm <sup>3</sup> )	TR (anos)	Vazão de Pico Afluente (m <sup>3</sup> /s)	Volume do hidrograma (hm <sup>3</sup> )
Jaguari-Jacareí	10.000	3.482	142	10.000	1.473	
Cachoeira	1.000	1.006	28	1.000	406	70
Atibainha	1.000	926	23	1.000	316	54
Juqueri	10.000	1.467	35	10.000	435	

## 8. Características Hidráulicas dos Aproveitamentos

### 8.1. Relações Cota x Área x Volume

O documento “Relatório de Consolidação das Principais Características Operacionais do Sistema Cantareira” apresentou a consolidação das relações cota x área x volume dos reservatórios do Sistema Cantareira. As Figuras 27 a 30 apresentam as relações cota x volume dos reservatórios dos aproveitamentos Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro.

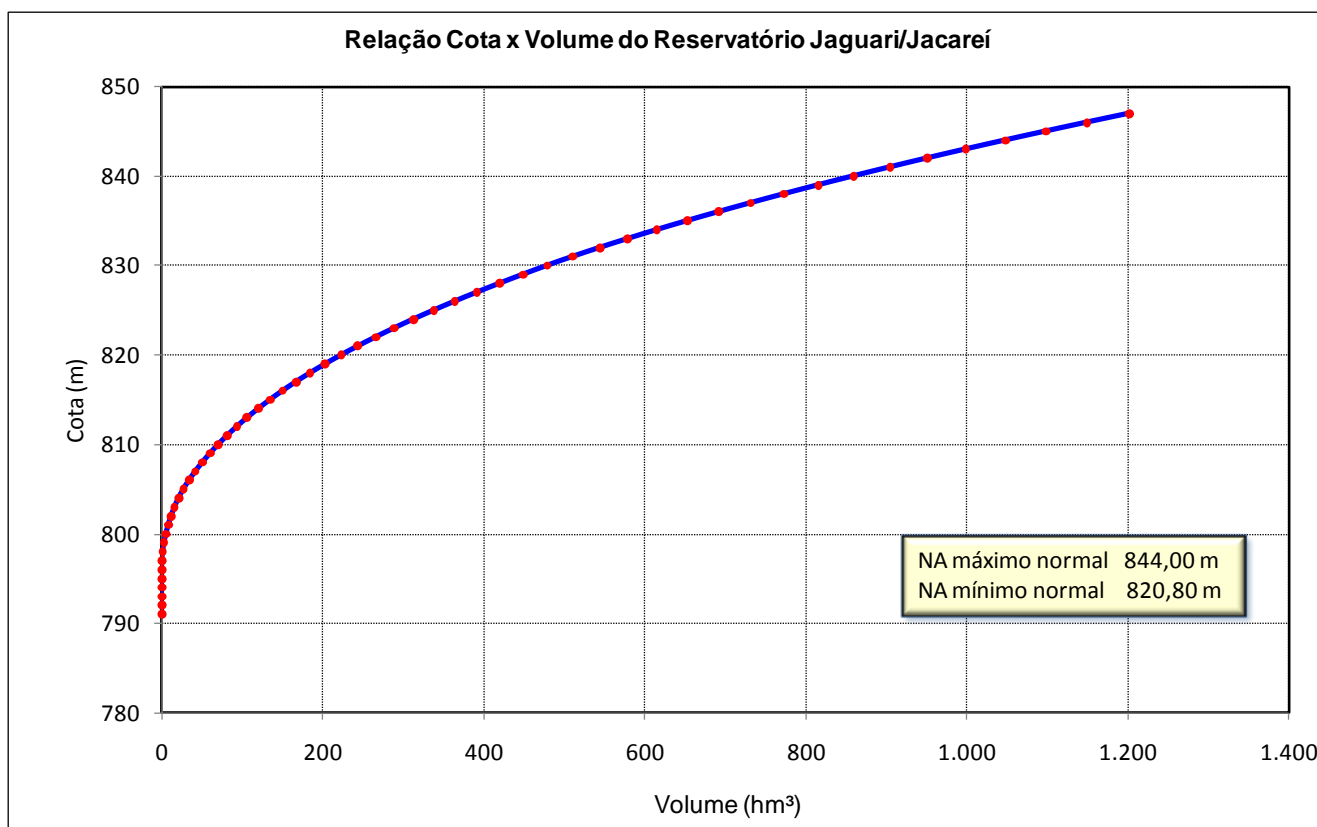


FIGURA 27

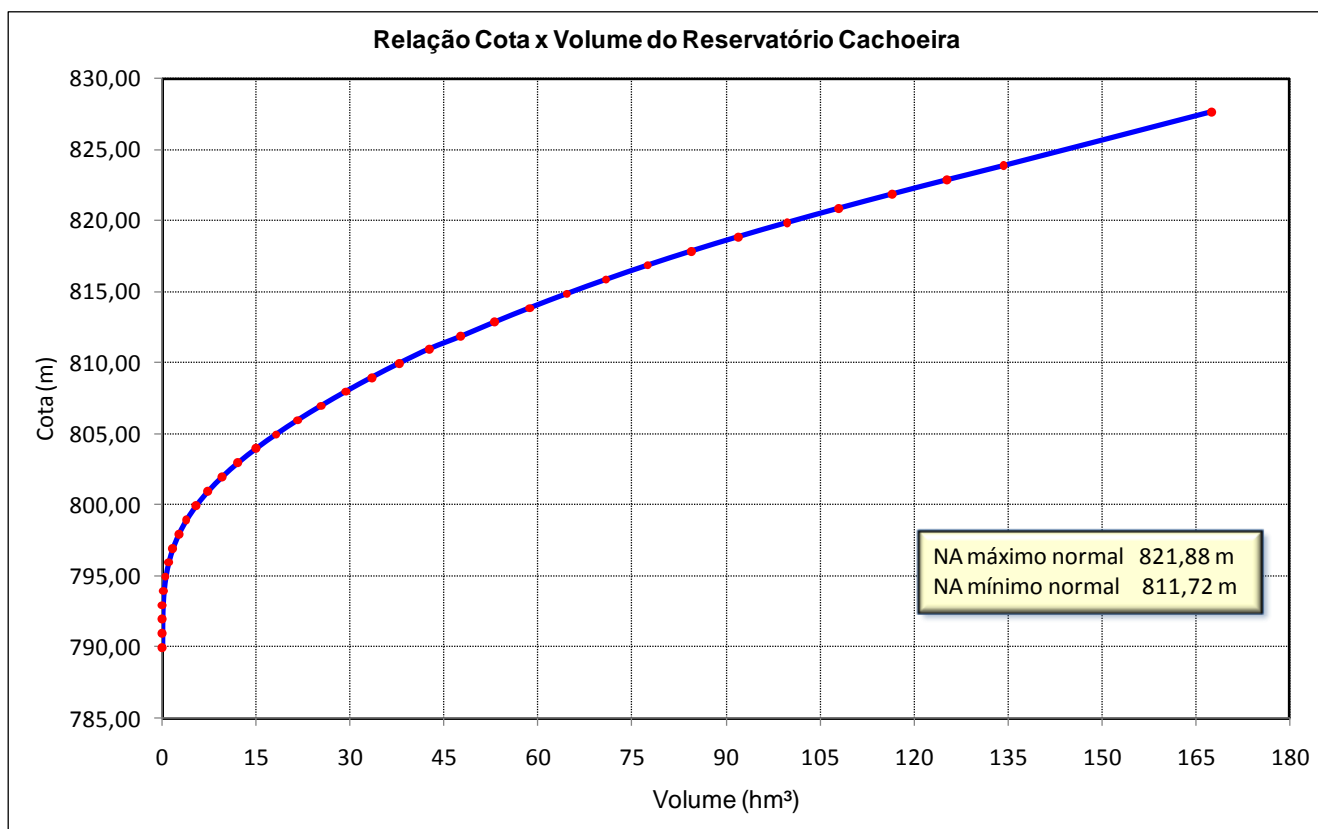


FIGURA 28

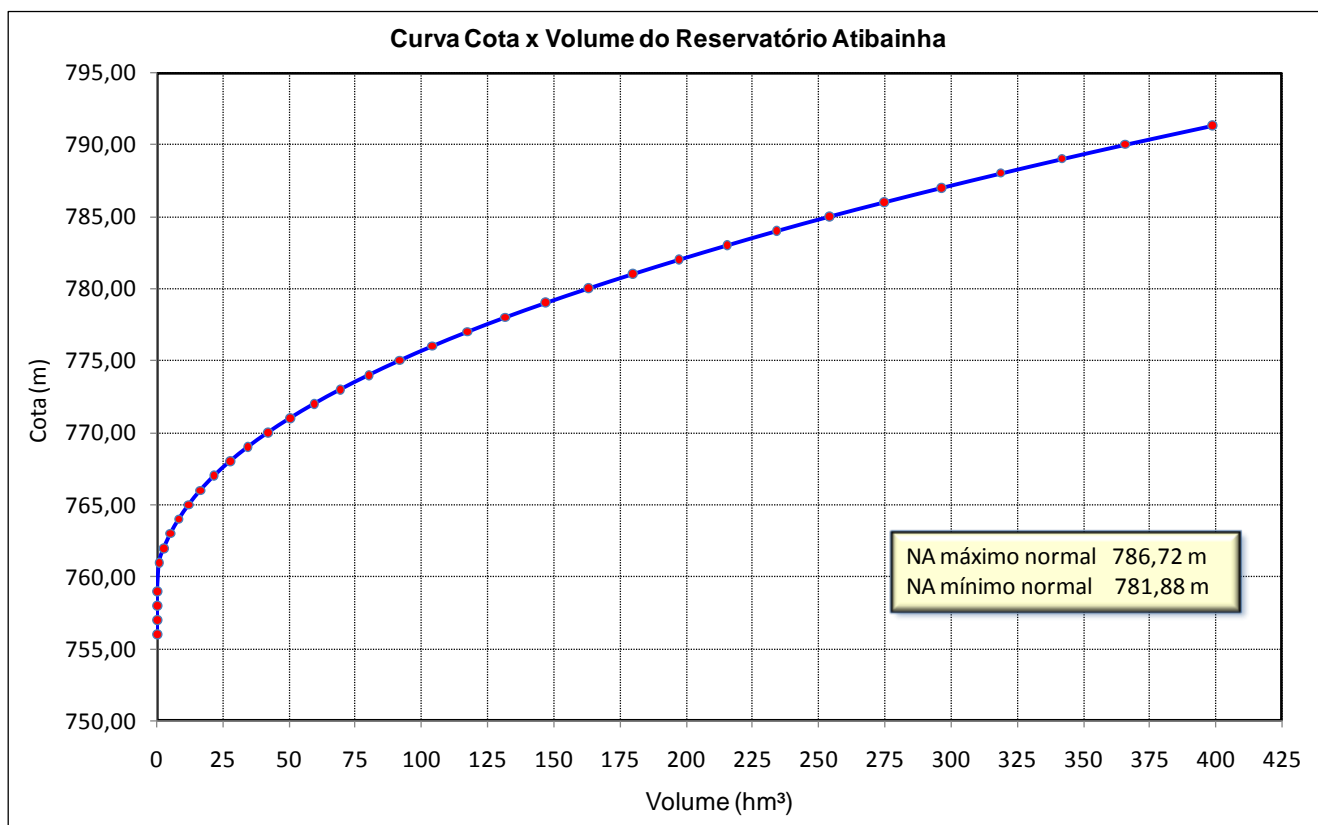
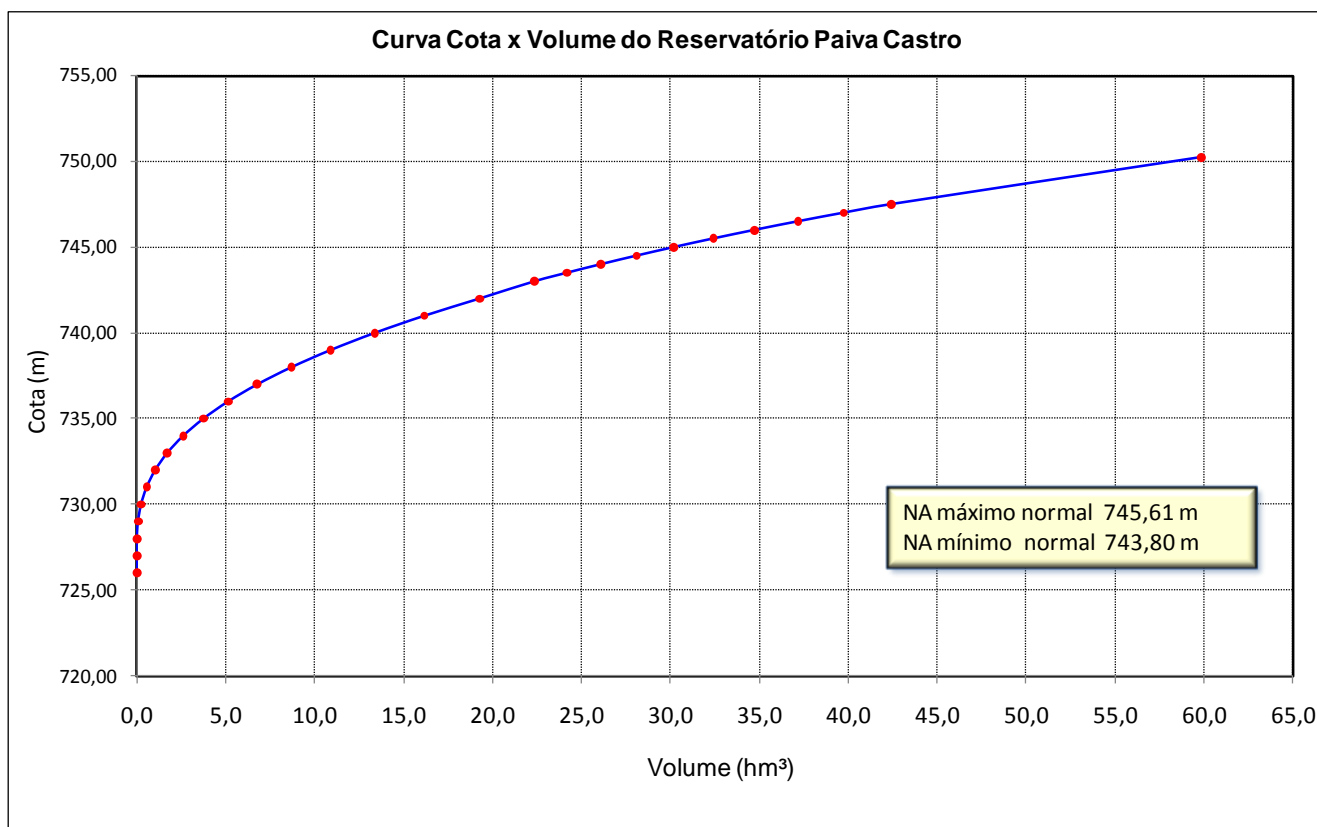


FIGURA 29

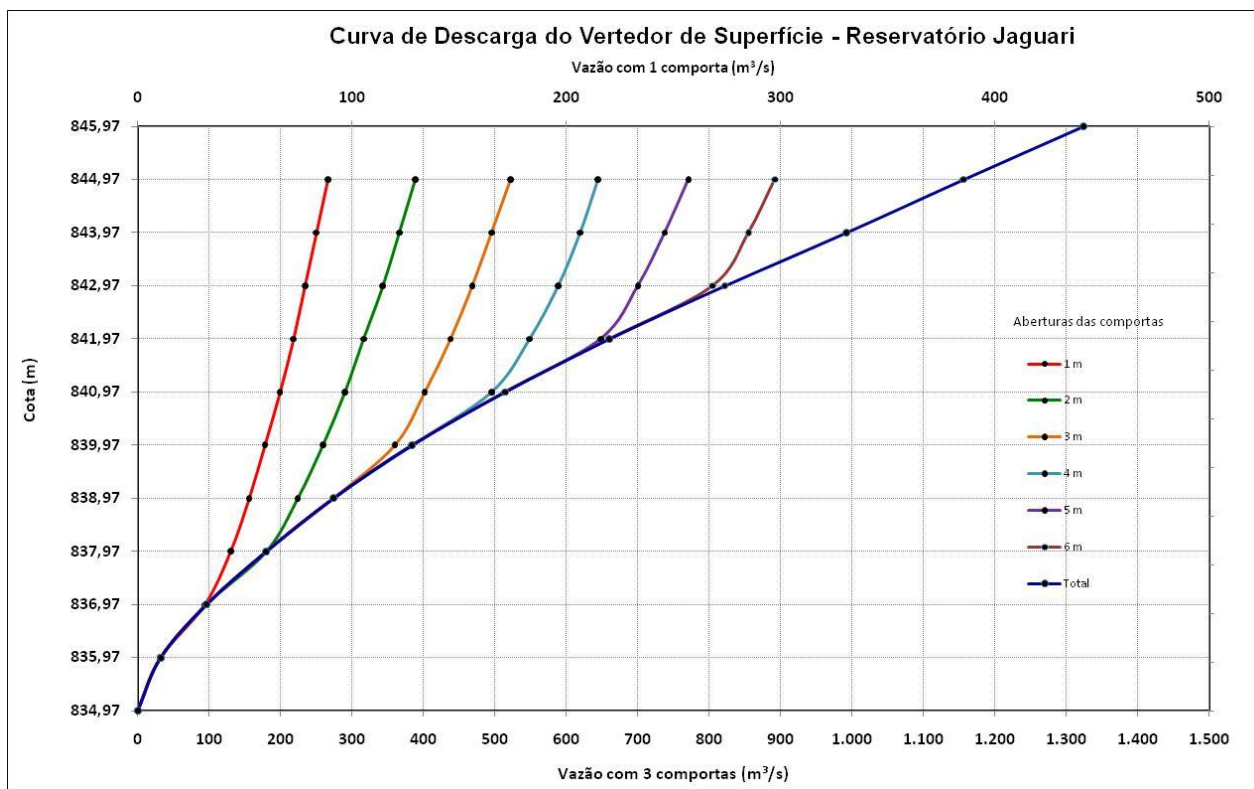


**FIGURA 30**

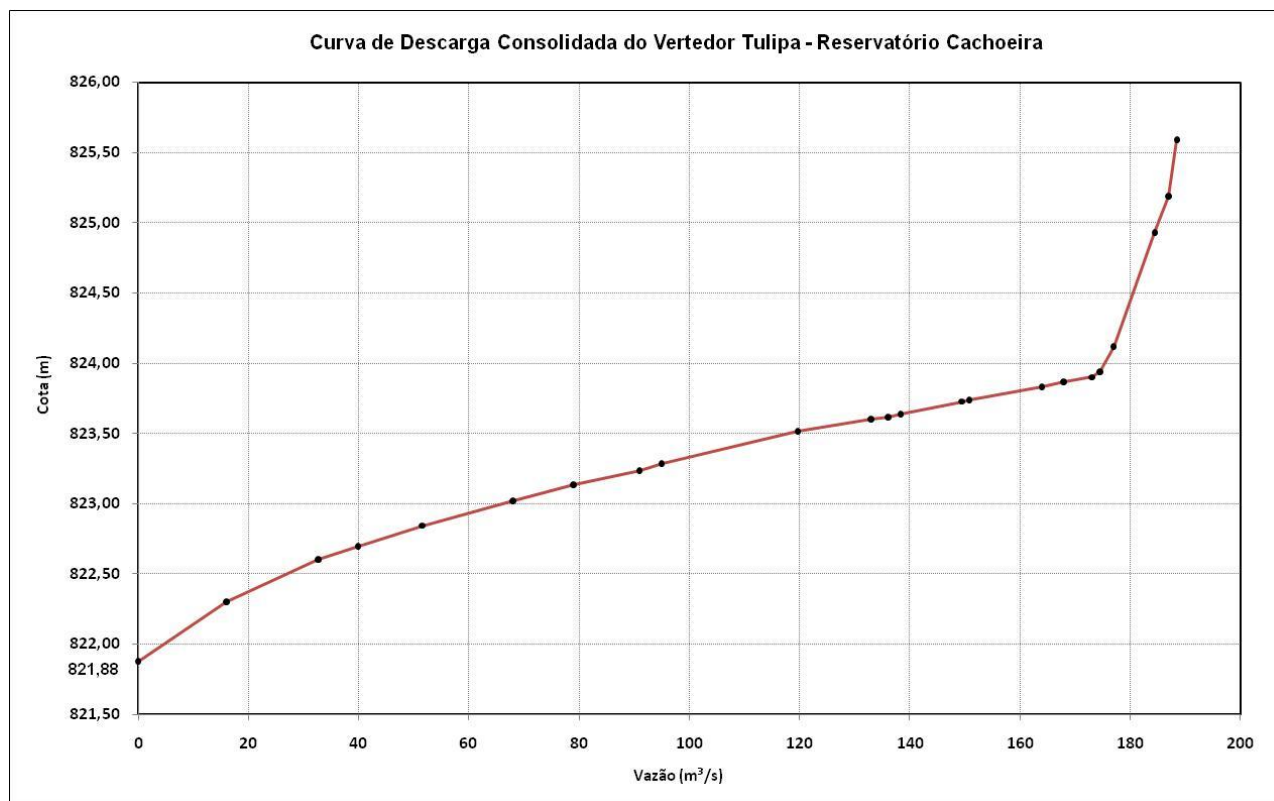
## 8.2. Relações Cota x Descarga dos Vertedouros

O documento “Relatório de Consolidação das Principais Características Operacionais do Sistema Cantareira” apresentou a consolidação das relações cota x descarga dos vertedouros dos reservatórios do Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro.

As Figuras 31 a 34 apresentam as relações cota x descarga máximas dos vertedouros dos aproveitamentos Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro, destacando a cota da soleira do vertedouro e o NA máximo normal do aproveitamento.

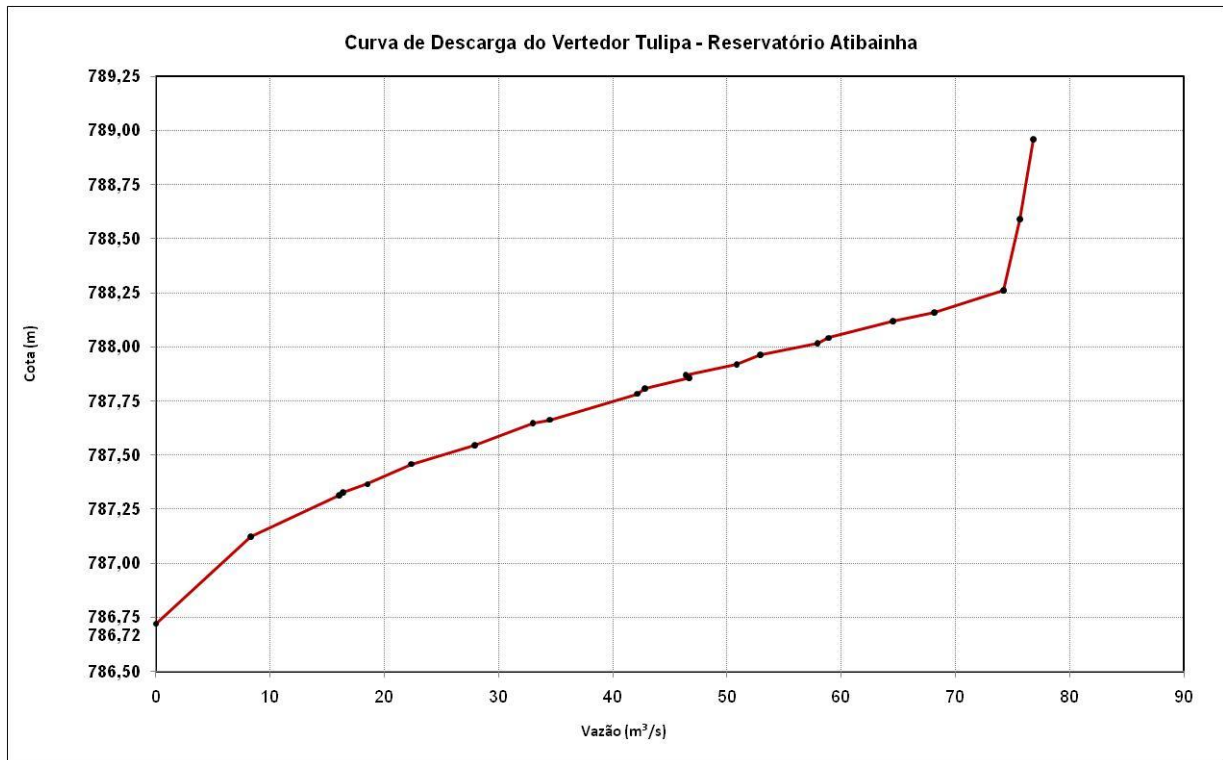


**FIGURA 31**

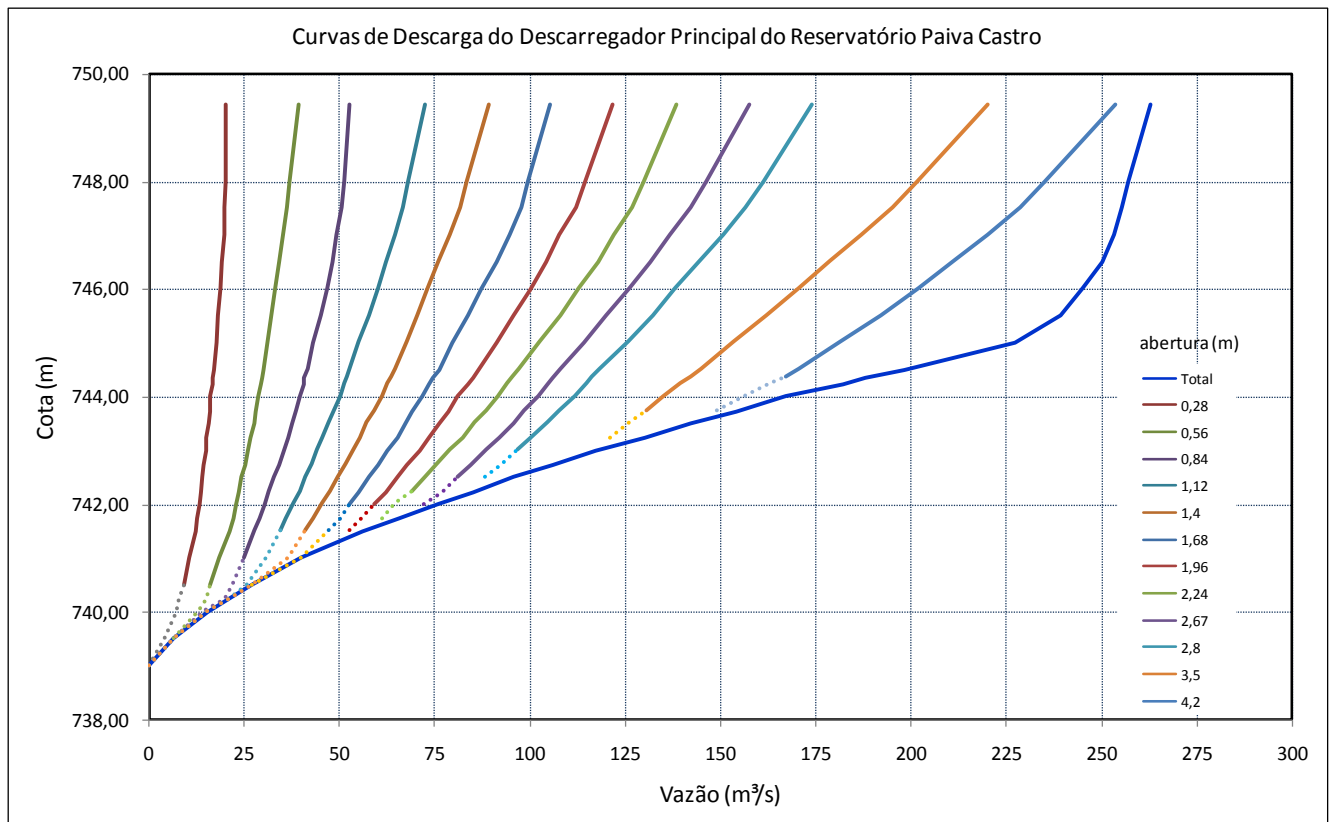


**FIGURA 32**





**FIGURA 33**



**FIGURA 34**

### 8.3.Dados Operacionais

Os dados operacionais dos aproveitamentos do Sistema Cantareira são apresentados na Tabela 24, incluindo as cotas de coroamento do vertedouro e da barragem, os NA mínimo e máximo normal e os volumes mínimo, máximo e útil dos reservatórios.

Os NA mínimo e máximo normal são aqueles consolidados no documento “Relatório de Consolidação das Principais Características Operacionais do Sistema Cantareira”. No caso dos aproveitamentos Cachoeira e Atibainha seus valores originais foram alterados em função dos levantamentos topográficos realizados.

Os NA mínimo e máximo operacionais poderão ser revisados em função dos estudos de cheias que serão apresentados neste relatório.

**TABELA 24 – DADOS OPERACIONAIS DOS APROVEITAMENTOS DO SISTEMA CANTAREIRA**

Parâmetros	Aproveitamentos do Sistema Cantareira			
	Jaguari/Jacaré	Cachoeira	Atibainha	Paiva Castro (Juqueri)
NA máximo normal (m)	844,00	821,88	786,72	745,61
NA mínimo normal (m)	820,80	811,72	781,88	743,80
Volume Máximo (hm <sup>3</sup> )	1047,5	116,6	290,3	32,9
Volume Mínimo (hm <sup>3</sup> )	239,4	46,8	195,0	25,3
Volume Útil (hm <sup>3</sup> )	808,1	69,8	95,3	7,6
Área Máxima (km <sup>2</sup> )	49,6	8,6	21,9	4,6
Área Mínima (km <sup>2</sup> )	21,2	5,2	18,0	3,8
Tipo de vertedor	Creager com comporta setor	Tulipa	Tulipa	Canal com comporta setor
Cota de referência da estrutura de descarga (m)	797,07	808,00	774,27	734,20
Cota de referência da estrutura de transferência (m)	818,00	807,80	775,20	735,00
Cota da crista do vertedor (m)	834,97	821,88	786,72	739,02
Cota de coroamento da barragem (m)	847,00	827,67	791,32	750,24

## 9. Análise da Segurança Hidrológica das Barragens

Os estudos hidrológicos para análise do volume de espera dos reservatórios do Sistema Cantareira foram iniciados considerando a garantia da segurança hidrológica dos aproveitamentos, entendida como àquela que evitaria acidentes decorrentes de cheias.

Para esta análise foram feitas a modelagem computacional e as simulações da operação dos reservatórios considerando os hidrogramas de cheia com períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos. Para a modelagem computacional foram utilizadas as relações cota x volume dos reservatórios e as relações cota x descarga máxima dos vertedouros.

As análises iniciais não consideraram volumes de espera nos reservatórios. Assim, a condição inicial dos reservatórios correspondeu ao NA máximo normal. Além disso não foram consideradas as transferências entre os aproveitamentos o que significa considerar vazões nula de transferência entre os reservatórios.

As Figuras 35 a 38 apresentam os hidrogramas afluentes e efluentes e o limnigrama dos reservatórios do Sistema Cantareira resultantes da operação para a cheia com período de retorno de 1.000 anos. As Figuras 39 a 42 apresentam os hidrogramas afluentes e efluentes e o limnigrama dos reservatórios do Sistema Cantareira resultantes da operação para a cheia com período de retorno de 10.000 anos.

As Tabelas 25 e 26 apresentam um resumo dos resultados das simulações da operação dos reservatórios para os hidrogramas de projeto com períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Os resultados indicam que os reservatórios do Sistema Cantareira provocam um amortecimento expressivo no hidrograma afluente, ficando entre 57 e 96 %. Este amortecimento é resultado da grande capacidade de armazenamento do reservatório e a limitação de descarga das estruturas de vertimento. Para os hidrogramas de projeto com período de retorno de 1.000 anos a sobrelevação dos reservatórios Jaguari-Jacareí e Atibainha fica abaixo de 1,0 m enquanto nos reservatórios Cachoeira e Paiva Castro atingem 2,4 e 2,6 m.

Quanto à segurança verifica-se que para hidrogramas com período de retorno de 1.000 anos os reservatórios do Sistema Cantareira mantém uma borda-livre, diferença entre a cota de coroamento da barragem e o NA máximo do reservatório, entre 2,0 e 3,6 m. Para hidrogramas com período de retorno de 10.000 anos a borda-livre fica entre 1,90 e 3,30 m, com exceção da barragem de Paiva Castro que resulta em 0,80 m.

A Tabela 27 apresenta um resumo das principais características da propagação dos hidrogramas de projeto nos reservatórios dos aproveitamentos resultado do presente estudo e da pesquisa dos documentos da fase de projeto SABESP (1976) e COMASP (1974). A análise da Tabela 27 permite concluir que:

- que as vazões de pico dos hidrogramas efluentes são muito semelhantes uma vez que correspondem à capacidade do vertedouro. A exceção é o aproveitamento Atibainha cuja vazão de pico do hidrograma efluente é cerca de metade da capacidade do vertedor. Isto ocorre porque o hidrograma da fase de projeto do aproveitamento Atibainha tem um volume 134 % superior ao hidrograma de projeto determinado neste estudo. Desta forma, a propagação atinge um NA máximo mais elevado aumentando a carga no vertedor e, conseqüentemente, a vazão de pico efluente;
- os NA máximos dos reservatórios Cachoeira e Atibainha obtidos neste estudo são cerca de 1 m inferiores àqueles obtidos na fase de projeto, uma vez que os volumes dos hidrogramas são menores;
- o NA máximo do reservatório do Juqueri é cerca de 1,5 m acima daquele obtido na fase de projeto;
- as vazões de pico dos hidrogramas de projeto dos aproveitamentos obtidos neste estudos são significativamente superiores àqueles obtidos na fase de projeto.

Conclui-se que:

- há segurança hidrológica nos aproveitamentos Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha para hidrogramas com períodos de retorno de até 10.000 anos;
- há segurança hidrológica no aproveitamento Juqueri para hidrogramas com períodos de retorno de até 1.000 anos. Para o hidrograma com período de retorno de 10.000 anos haverá ainda uma borda-livre de 80 cm. O reservatório tem uma área inferior a 5 km<sup>2</sup> e, portanto, não tem características para formação de ondas de grande altura. A barragem de Paiva Castro conta com descarregador de emergência composto por dois diques com nível da soleira na cota 743,20 m e crista nas cotas 747,30 e 747,75 m.

Portanto as análises apresentadas permitem concluir que não há necessidade de considerar volumes de espera para garantir a segurança das obras para hidrogramas de projeto associados a períodos de retorno de 10.000 anos.

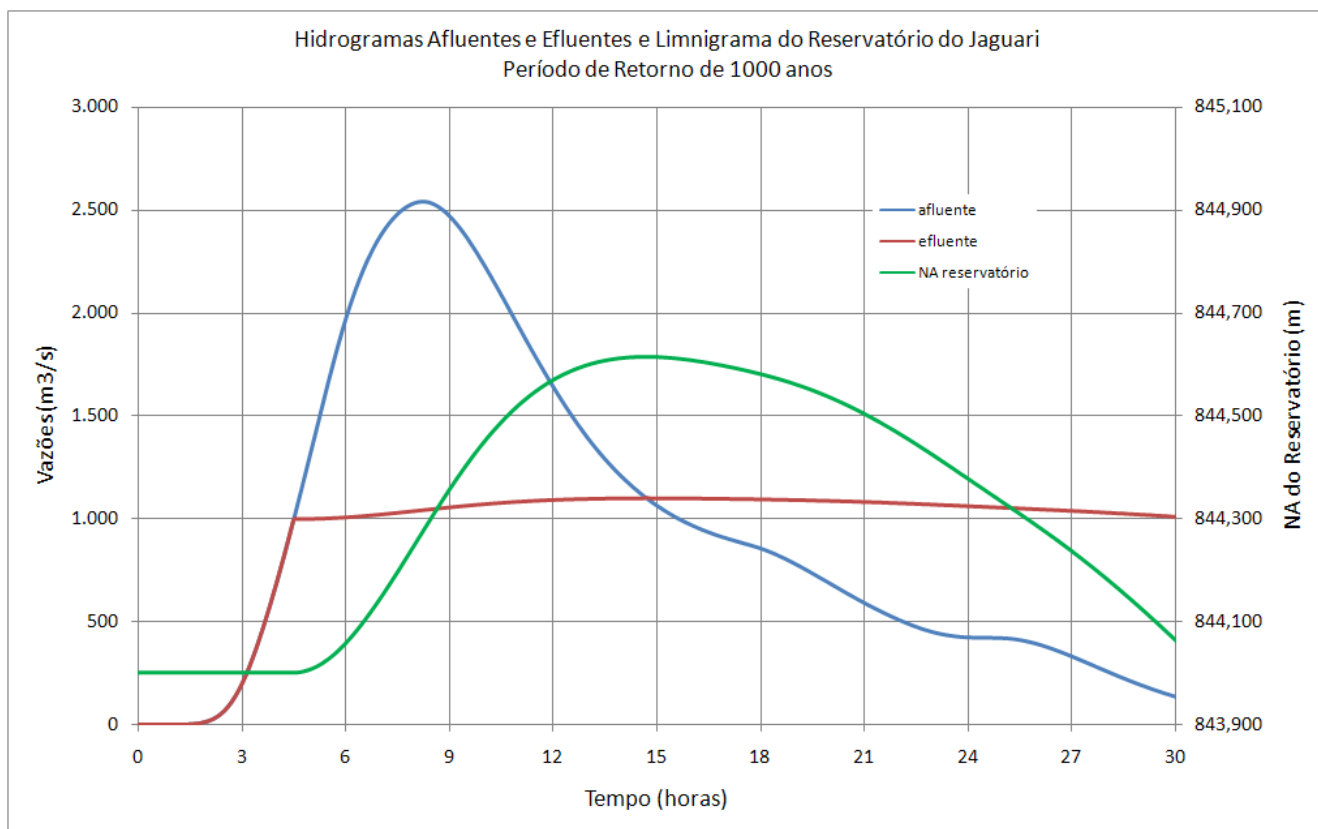


FIGURA 35

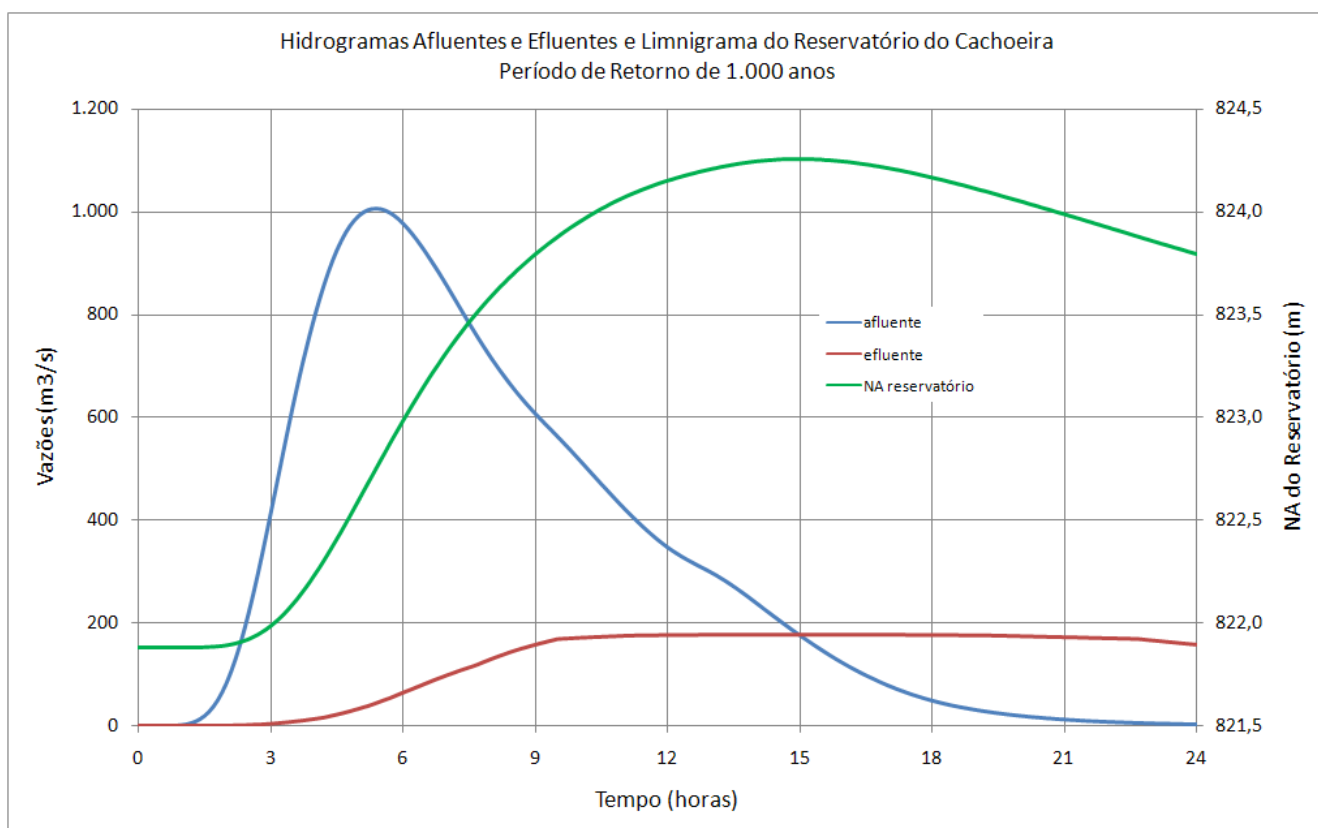


FIGURA 36

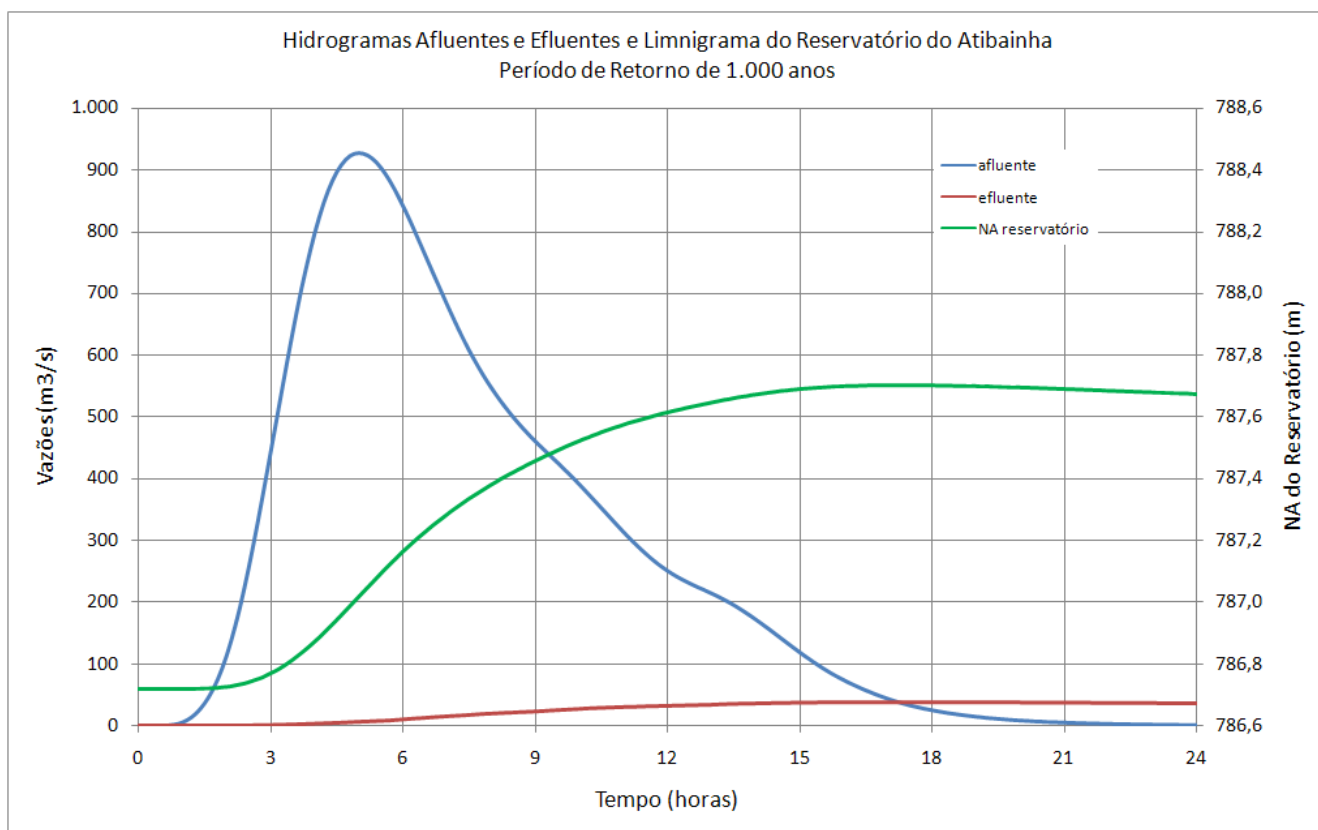


FIGURA 37

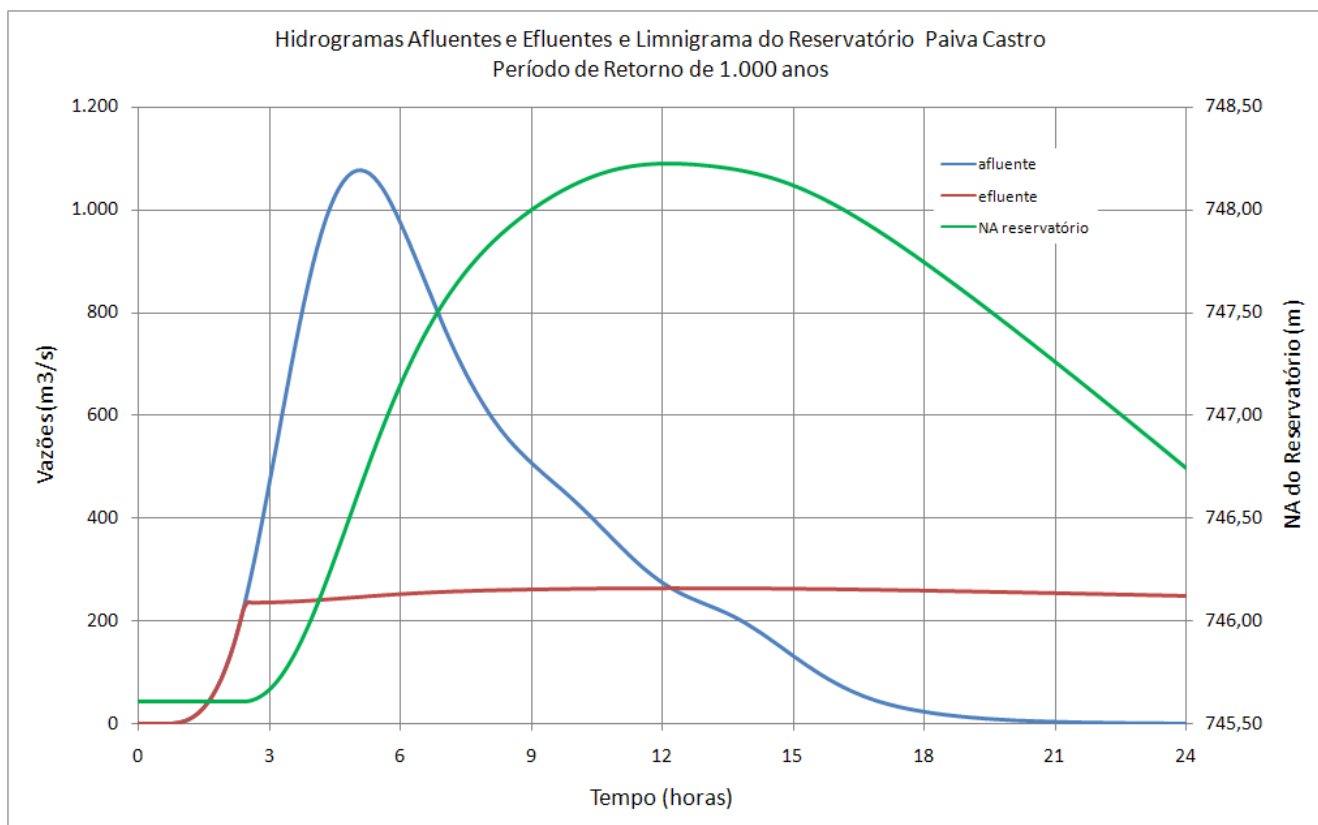


FIGURA 38

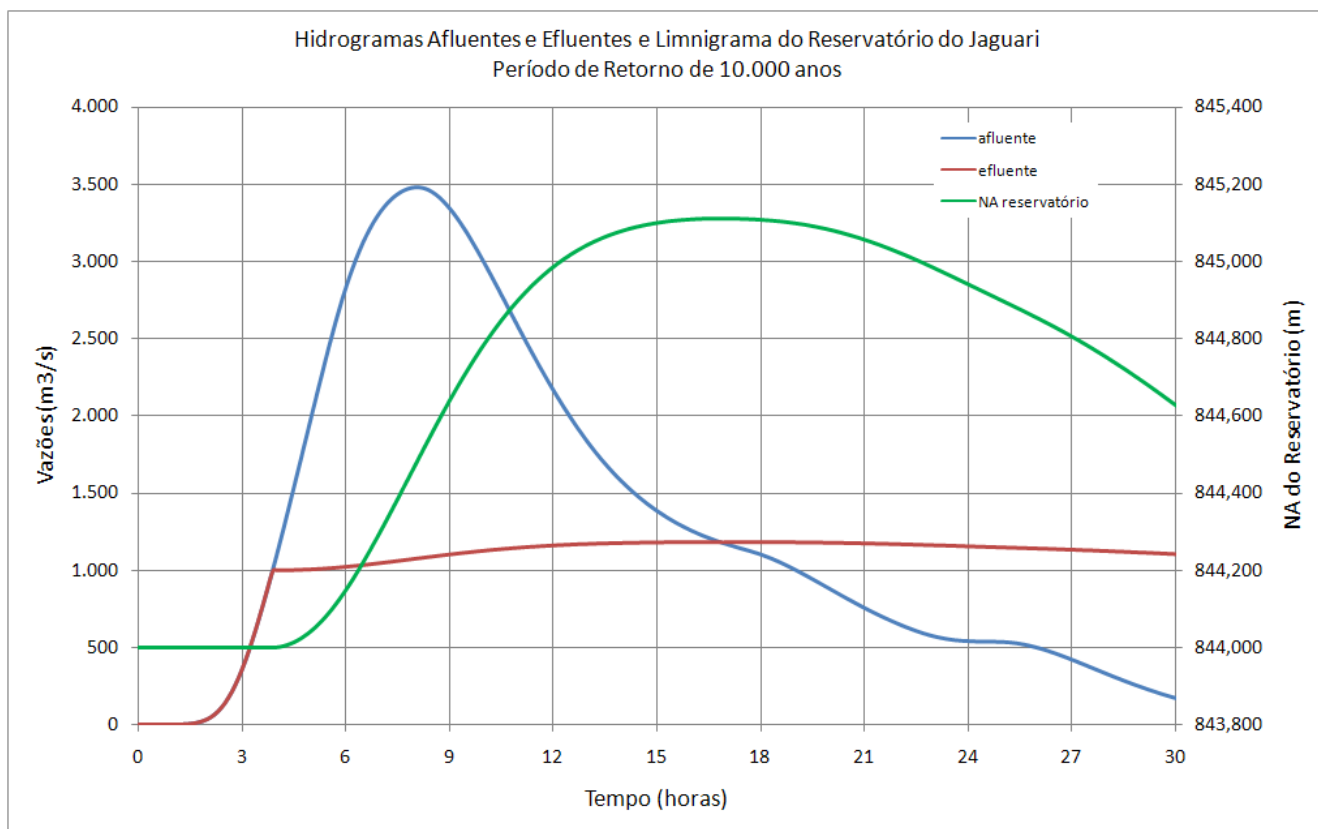


FIGURA 39

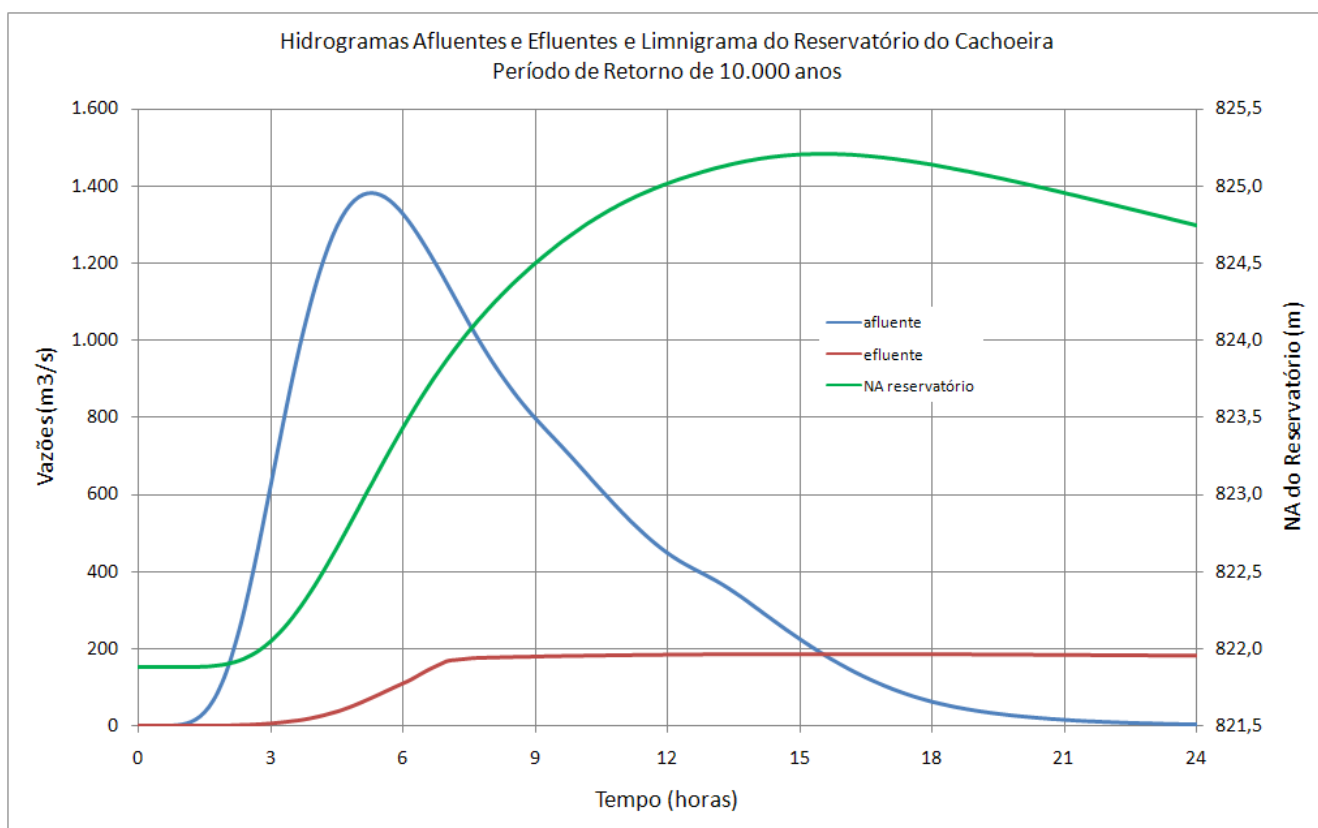


FIGURA 40

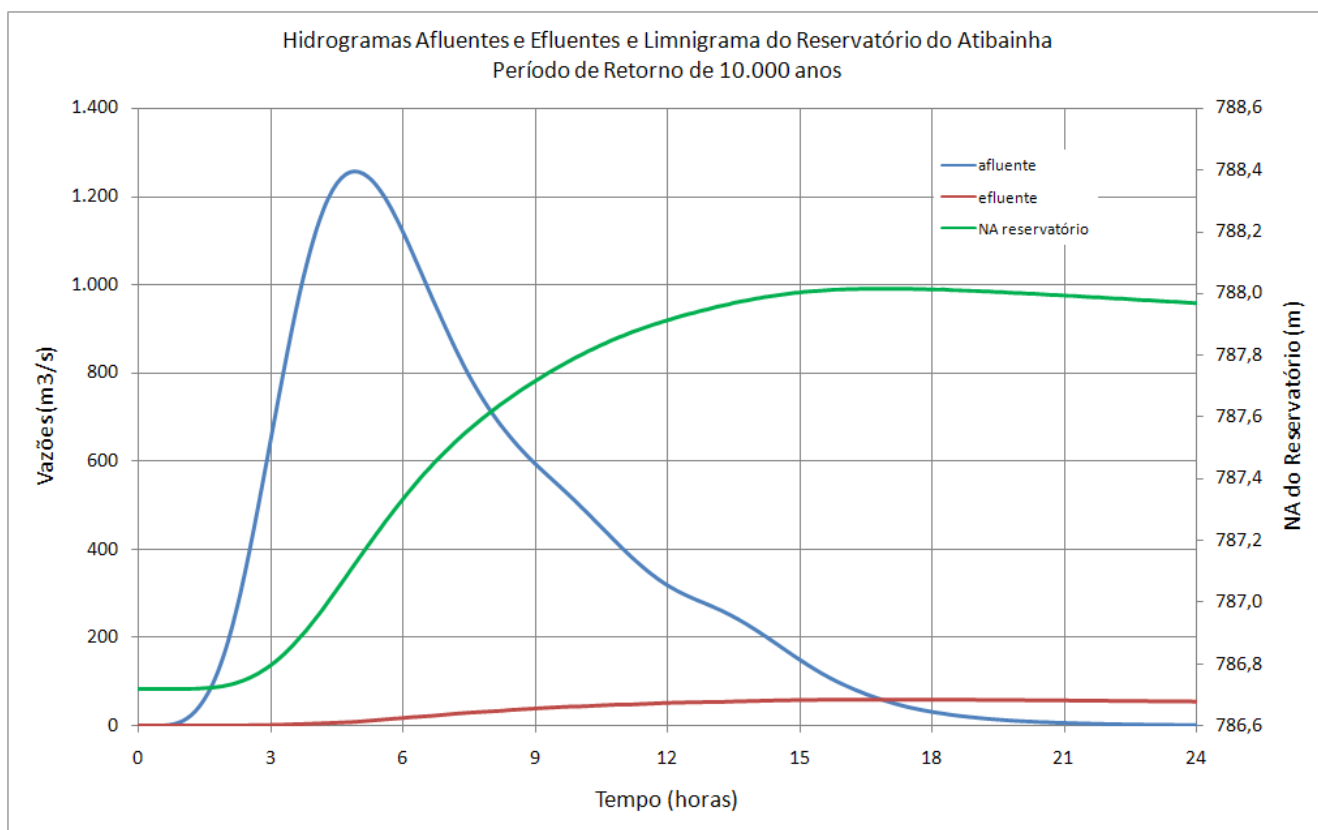


FIGURA 41

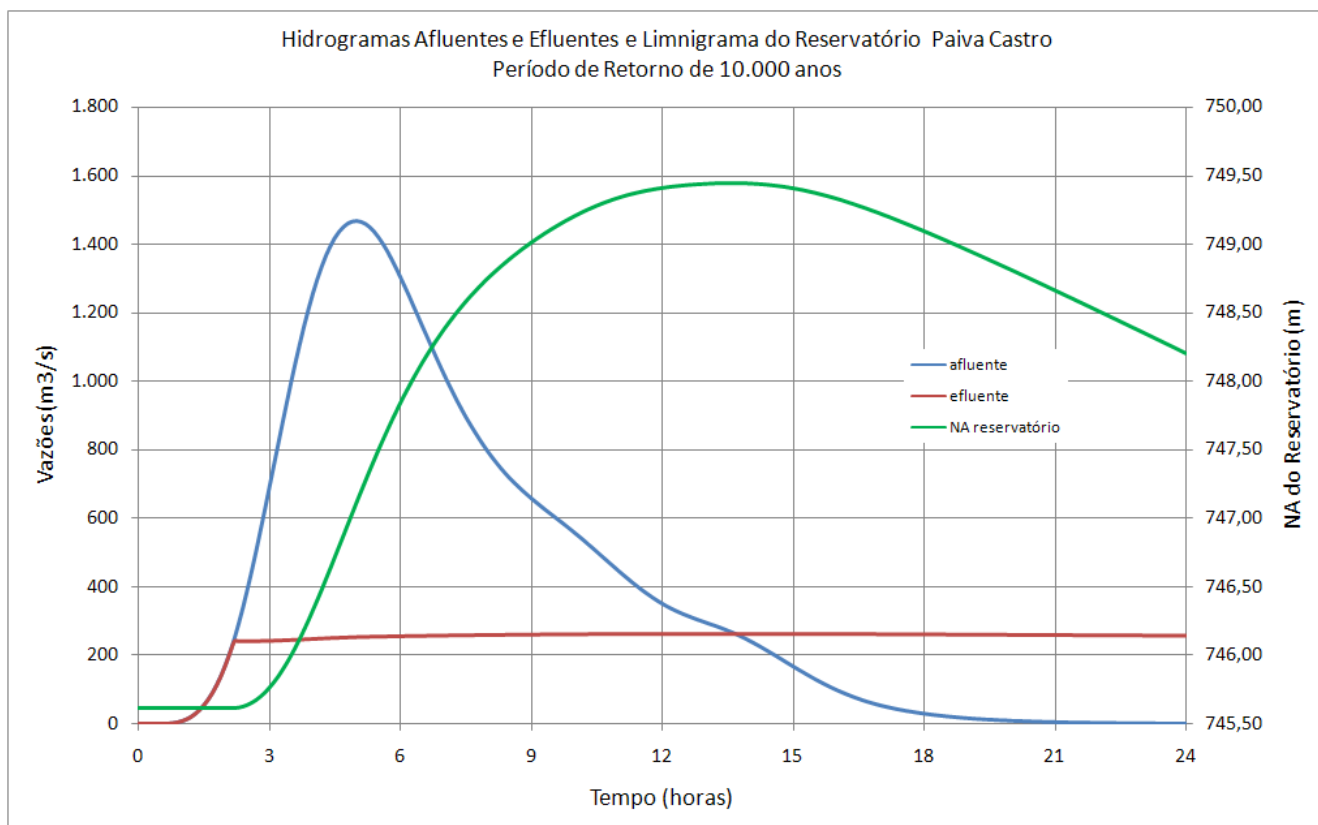


FIGURA 42



**TABELA 25 – RESUMO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO PARA OS HIDROGRAMAS DE PROJETO COM PERÍODO DE RETORNO DE 1.000 ANOS**

Parâmetros	Jaguari-Jacaré	Cachoeira	Atibainha	Paiva Castro
cota de coroamento do vertedouro (m)	834,97	821,88	786,72	739,02
NA máximo normal (m)	844,00	821,88	786,72	745,61
cota de coroamento da barragem (m)	847,00	827,67	791,32	750,24
Vazão de Pico do hidrograma afluente(m <sup>3</sup> /s)	2.543	1.006	926	1.077
volume do hidrograma afluente (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	105.360	27.957	23.212	25.909
Vazão de Pico do hidrograma efluente(m <sup>3</sup> /s)	1.101	178	37	265
NA máximo no reservatório (m)	844,61	824,26	787,70	748,22
volume máximo armazenado no reservatório (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	30.692	21.184	21.762	13.649
amortecimento da vazão de pico (%)	57	82	96	75
volume máximo armazenado/volume afluente (%)	29	76	94	53
sobrelevação do NA do reservatório (m)	0,61	2,38	0,98	2,61
bordo-livre (m)	2,39	3,41	3,62	2,02

**TABELA 26 – RESUMO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO PARA OS HIDROGRAMAS DE PROJETO COM PERÍODO DE RETORNO DE 10.000 ANOS**

Parâmetros	Jaguari-Jacaré	Cachoeira	Atibainha	Paiva Castro
cota de coroamento do vertedouro (m)	834,97	821,88	786,72	739,02
NA máximo normal (m)	844,00	821,88	786,72	745,61
cota de coroamento da barragem (m)	847,00	827,67	791,32	750,24
Vazão de Pico do hidrograma afluente(m <sup>3</sup> /s)	3.482	1.383	1.257	1.467
volume do hidrograma afluente (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	142.139	37.816	30.981	34.730
Vazão de Pico do hidrograma efluente(m <sup>3</sup> /s)	1.179	187	58	264
NA máximo no reservatório (m)	845,11	825,21	788,02	749,44
volume máximo armazenado no reservatório (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	55.875	29.711	28.766	21.587
amortecimento da vazão de pico (%)	66	86	95	82
volume máximo armazenado/volume afluente (%)	39	79	93	62
sobrelevação do NA do reservatório (m)	1,11	3,33	1,30	3,83
bordo-livre (m)	1,89	2,46	3,30	0,80

**TABELA 27 – RESUMO COMPARATIVO DA PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE PROJETO NOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA CANTAREIRA**

Aproveitamentos	Estudos Atuais					Projetos das Barragens do Cantareira				
	TR (anos)	Vazão de Pico Afluente (m <sup>3</sup> /s)	Volume do hidrograma (hm <sup>3</sup> )	NA máximo (m)	Vazão de Pico Efluente (m <sup>3</sup> /s)	TR (anos)	Vazão de Pico Afluente (m <sup>3</sup> /s)	Volume do hidrograma (hm <sup>3</sup> )	NA máximo (m)	Capacidade do Vertedouro (m <sup>3</sup> /s)
Jaguari-Jacaré	10.000	3.482	142	845,11	1.179	10.000	1.473		845,00	1.240
Cachoeira	1.000	1.006	28	824,26	178	1.000	406	70	825,28	170
Atibainha	1.000	926	23	787,70	37	1.000	316	54	789,00	70
Juqueri	10.000	1.467	35	749,44	264	10.000	435		747,90	250

## 10. Determinação das Áreas Inundadas em Função das Vazões de Restrição

### 10.1. Levantamentos Topobatimétricos

Foram feitos os levantamentos topobatimétricos das seções transversais dos rios Jacaré, Jaguari, Atibainha, Cachoeira e Juqueri nos trechos imediatamente a jusante dos aproveitamentos do sistema Cantareira. As seções topobatimétricas foram apresentadas no documento “Relatório de Consolidação das Principais Características Operacionais do Sistema Cantareira”.

A Tabela 28 apresenta um resumo dos levantamentos topobatimétricos dos rios Jacaré, Jaguari, Atibainha, Cachoeira e Juqueri. Os levantamentos cobriram uma extensão total de cerca de 70 km tendo sido obtidas 73 seções transversais espaçadas em pouco menos de 1 km.

**TABELA 28 – RESUMO COMPARATIVO DA PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE PROJETO NOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA CANTAREIRA**

Características	Rios			
	Jaguari e Jacaré	Cachoeira	Atibainha	Juqueri
Comprimento (km)	25,3	9,6	27,0	7,8
número de seções	27	13	25	8
espaçamento médio (m)	936	735	1080	969
largura média do levantamento (m)	132,0	125,0	284,0	160,0

Os levantamentos seguiram as orientações de incluir as seções que pudessem representar estrangulamentos do escoamento como no caso de pontes ou construções próximas aos rios. Também foram levantadas as seções topobatimétricas nos locais dos postos fluviométricos da ANA, da SABESP ou do DAEE-SP mesmo que estivessem desativados. Para o caso dos postos fluviométricos cuja régua limnimétrica estava preservada foi obtida a cota do zero da escala.

### 10.2. Dados dos Postos Fluviométricos

Inicialmente foram selecionados os postos fluviométricos das bacias dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri cuja localização estivesse no trecho de interesse. A Tabela 29 apresenta a lista dos postos fluviométricos selecionados incluindo o código da ANA, o nome da estação, o rio onde está localizada, a entidade operadora, a área de drenagem e a cota do zero da régua. Nas últimas colunas da Tabela 29 são apresentadas as observações relativas aos levantamentos e a condição atual do posto.

TABELA 29 – AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE E LEVANTAMENTOS EFETUADOS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS

Código ANA	Nome da Estação	Curso d'Água	Entidade	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Cota do Zero da Régua (m)	Observações	Situação Operacional
62350100	BARRAGEM F2	Juqueri	SABESP	343	725,648	levantada a seção, não tem régua, fornecida seção de medição,	desativado em 31/12/1988
62358001	FRANCO DA ROCHA 3E-109	Juqueri	DAEE	465	719,780	levantada a seção, não tem régua, fornecida seção de medição	desativado em 01/03/1992
62360100	CAIEIRAS F4	Juqueri	SABESP	510		não foi levantado	desativado em 31/12/1988
62661000	NAZARE PAULISTA F3	Atibainha	SABESP	328	755,790	levantada a seção, não tem régua, fornecida seção de medição	desativado em 31/12/1994
62662000	MASCATE 3E-089R	Atibainha	DAEE	380	752,927	seção levantada inclusive com o ZERO da régua	desativado em 01/10/1992
	CAPTAÇÃO 3E-116T	Cachoeira	DAEE			seção levantada inclusive com o ZERO da régua	ATIVO
62665100	CRAVORANA 3E-088R	Cachoeira	DAEE	404	788,549	a seção topobatimétrica foi levantada	desativado em 01/09/1992
62666000	PIRACAIA F5	Cachoeira	SABESP	406		não foi levantado por ser próximo ao 3E-088R	desativado em 31/12/1992
62665000	PIRACAIA	Cachoeira	ANA	410	780,809	seção levantada inclusive com o ZERO da régua	ATIVO
62674500	ITATIBA F19	Atibaia	SABESP	1.014		está a jusante da confluência com o rio Cachoeira. Por isso não foi levantado.	ATIVO
62670000	ATIBAIA	Atibaia	ANA	1.143		não foi levantado	
62670100	ATIBAIA F16 (3E-063T)	Atibaia	SABESP	1.148	738,850	seção levantada inclusive com o ZERO da régua	desativado em 31/12/2006
62597000	GUARIPOCABA 3D-015R	Jaguari	DAEE	1.353		não foi levantado	desativado em 01/09/1993
62596000	PORTO DE AREIA F10	Jaguari	SABESP	1.365	786,228	seção levantada inclusive com o ZERO da régua	desativado em 31/01/2001
62598000	BRAGANCA PAULISTA F18	Jaguari	SABESP	1.440	782,002	levantada a seção, não tem régua, fornecida seção de medição,	desativado em 31/12/1993
62600000	RIO ABAIXO	Jaguari	ANA	1.726	769,056	seção levantada inclusive com o ZERO da régua	ATIVO

Verifica-se que a grande maioria dos postos fluviométricos selecionados estão desativados. Além disso existem casos onde foi obtido a cota do zero da régua constando na observação que não havia régua limnimétrica no local. Nestes casos a cota do zero da régua foi obtida por similaridade da geometria da seção, ou seja, determinou-se à cota que resultaria em uma sobreposição da seção topobatimétrica levantada e aquelas que constavam das últimas medições de descarga líquida do posto fluviométrico antes de sua desativação.

Em alguns casos a largura da seção transversal foi insuficiente para a modelagem do escoamento, uma vez que o NA do rio atingia cotas superiores àquelas do levantamento topobatimétrico. São alguns casos de extensas várzeas ou áreas urbanizadas. Nestes casos a seção foi localizada na base 1:10.000 do IGC com curvas de nível com equidistância de 10 m permitindo a complementação dos pares cota x distância.

Este esforço justifica-se para permitir a calibração do modelo matemático-computacional de simulação do escoamento nos rios à jusante dos aproveitamentos. A título ilustrativo apresenta-se nas Figuras 43 a 47 as relações cota x descarga de alguns dos postos fluviométricos selecionados.

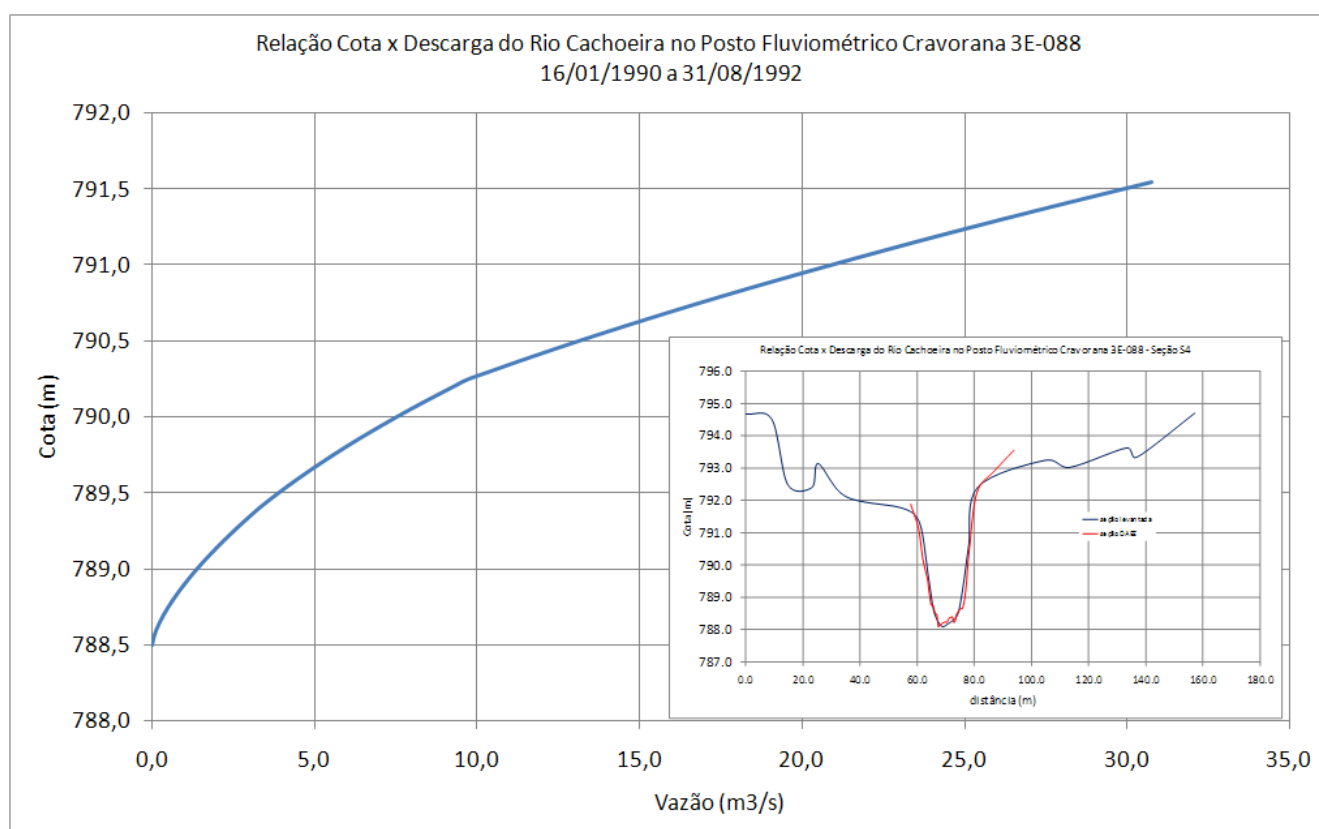


FIGURA 43

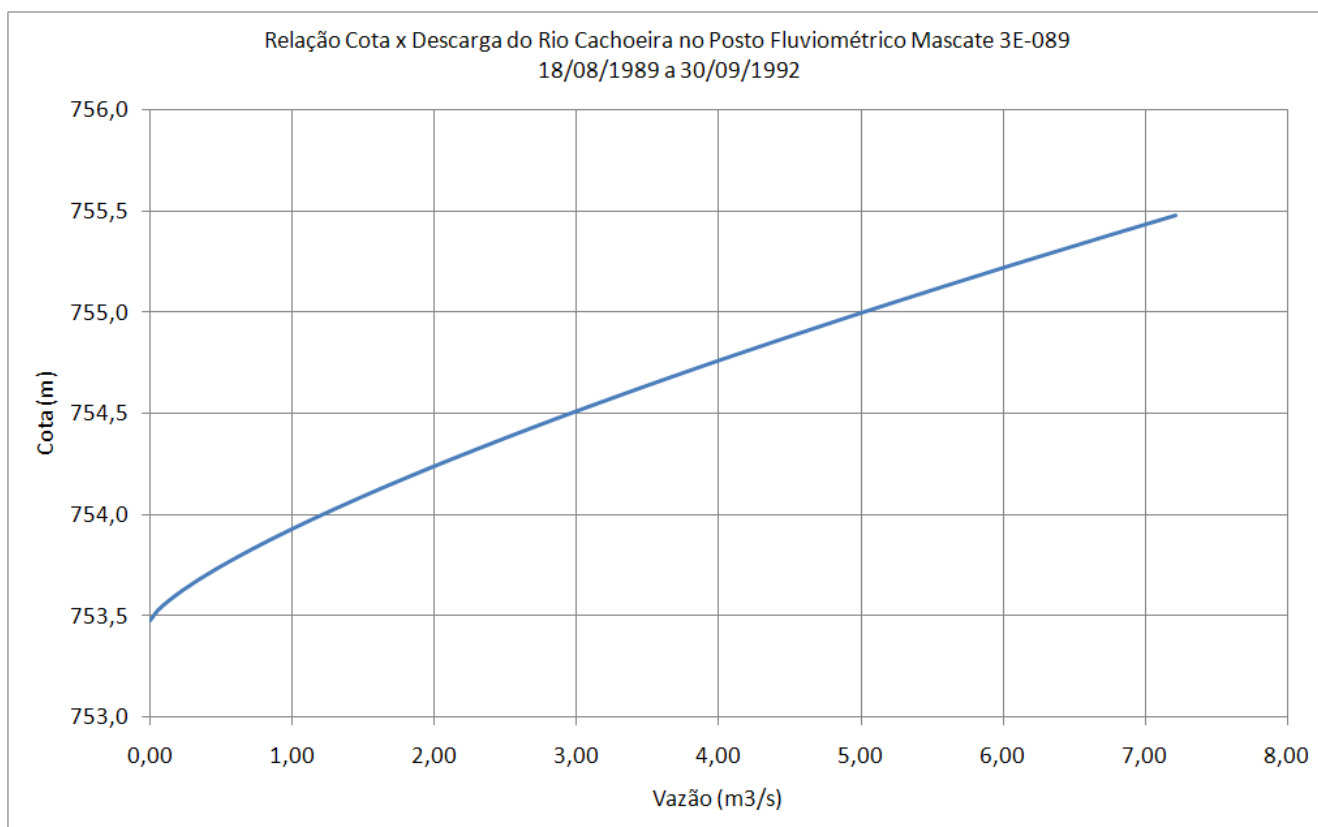


FIGURA 44

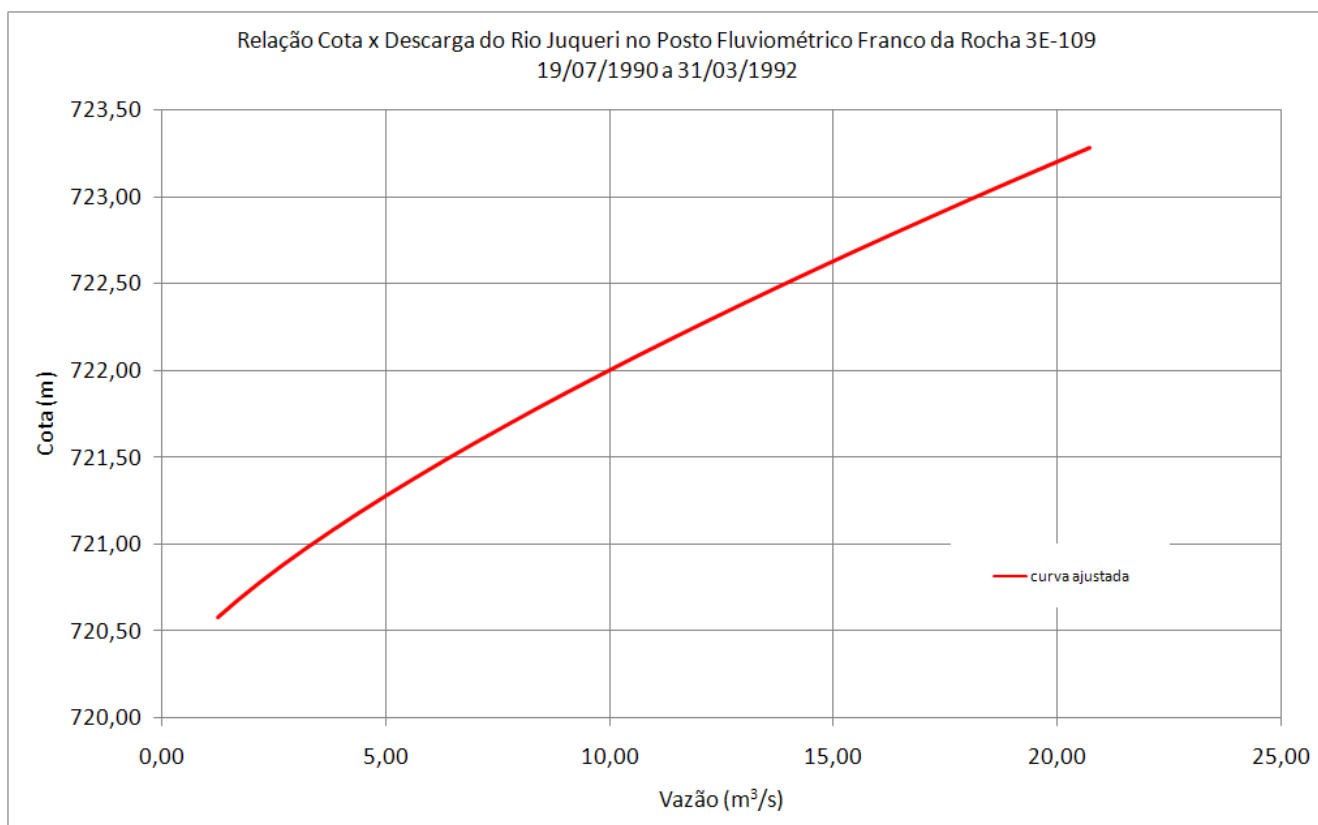


FIGURA 45

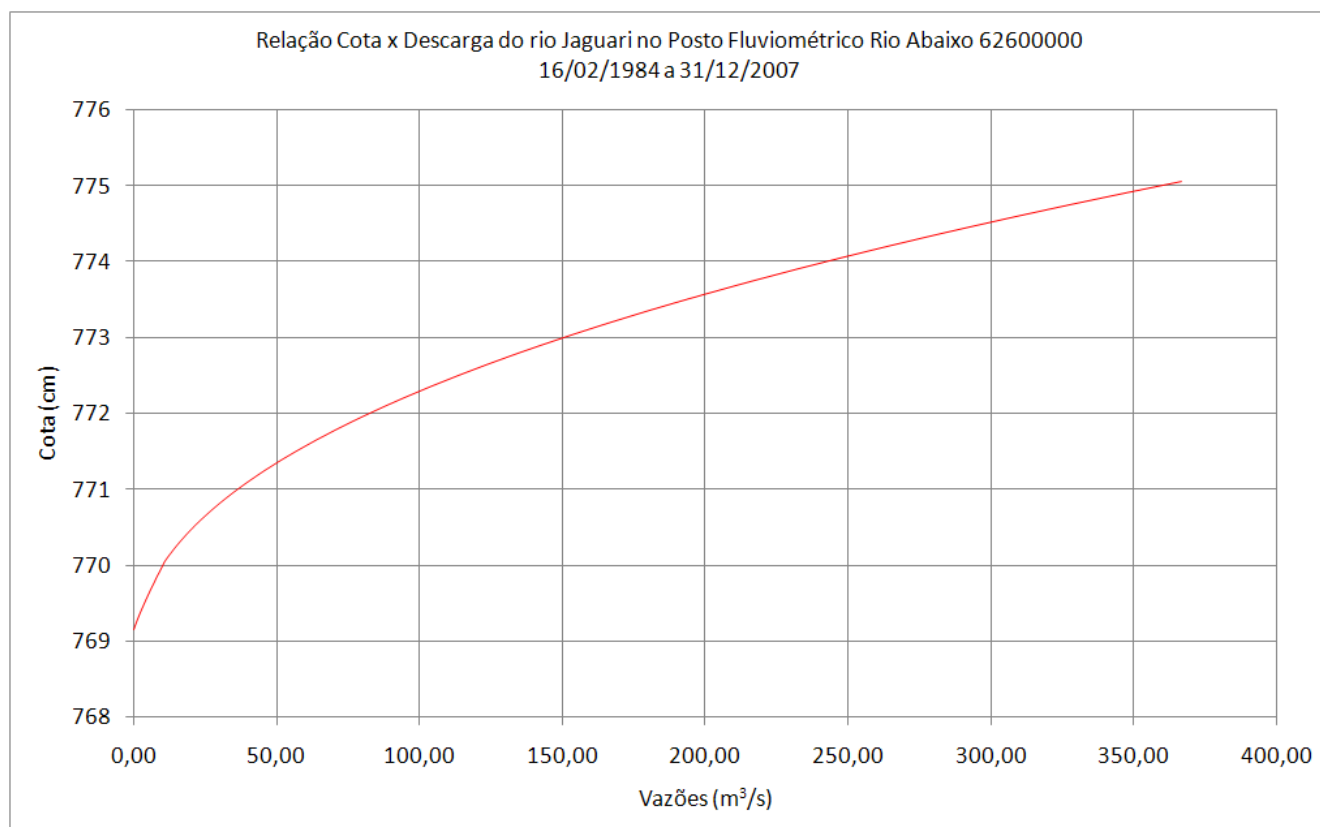


FIGURA 46

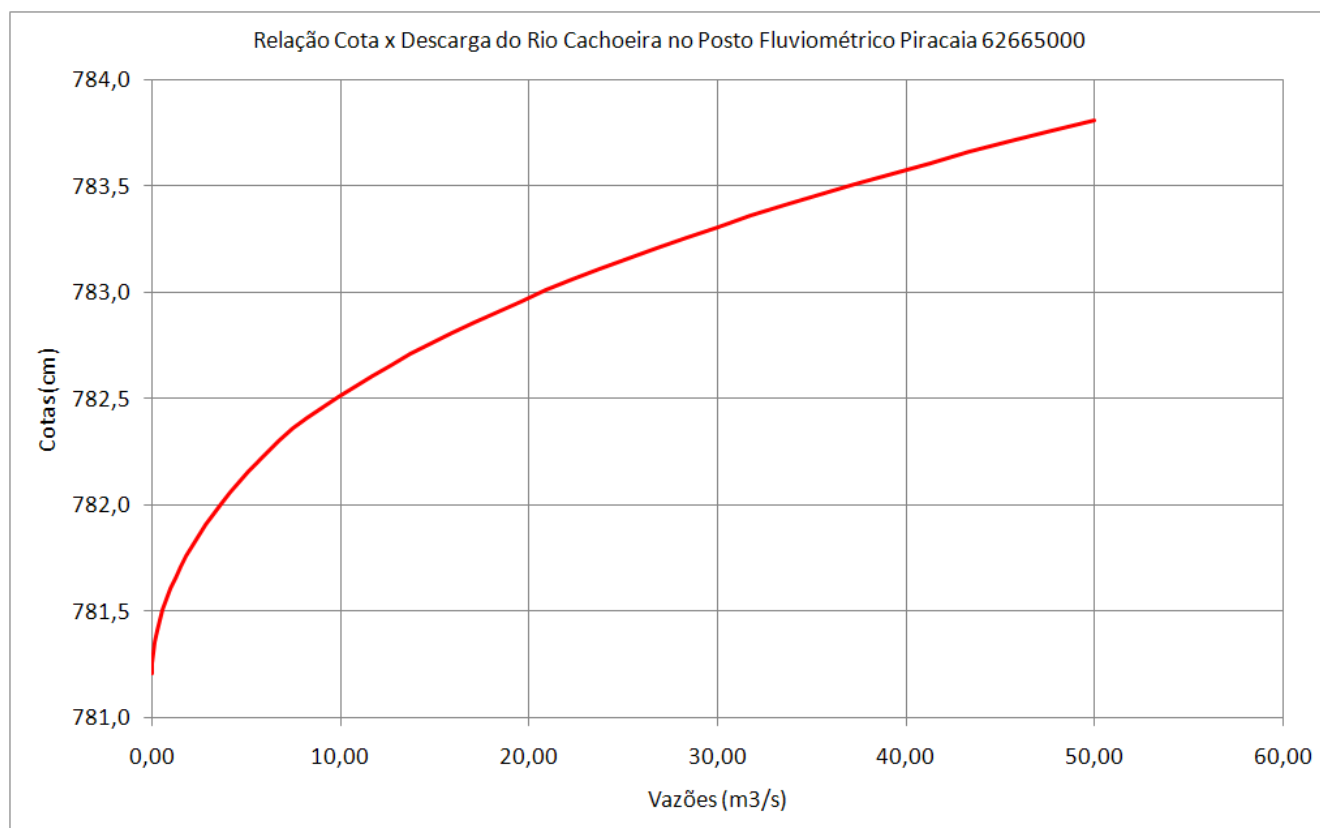


FIGURA 47

### 10.3. Modelagem Computacional dos Rios a Jusante dos Aproveitamentos

A modelagem computacional dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri foi feita utilizando o programa computacional HEC-RAS HEC-RAS River Analysis System desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center do US Army Corps of Engineers. A versão utilizada é a 4.0 de março de 2008.

Os dados básicos fornecidos ao modelo para análise do escoamento em regime permanente gradualmente variado nos rios a jusante dos aproveitamentos foram:

- seções transversais dos rios representadas pelos pares de cotas e distâncias transversais;
- distâncias longitudinais entre as seções transversais dos rios;
- as relações entre cota do NA e vazão (curva-chave) nas seções dos postos fluviométricos selecionados;
- coeficientes de Manning.

A planta e o posicionamento das seções transversais do trecho analisado foram apresentadas no documento “Relatório de Consolidação das Principais Características Operacionais do Sistema Cantareira”.

As Tabelas 30 a 33 apresentam as distâncias entre as seções transversais dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri a jusante dos aproveitamentos.

Foram fornecidas, também, as condições de contorno do modelo compostas pelas vazões descarregadas pelos aproveitamentos e os NA na seção extrema de jusante. Quando o posto fluviométrico não estava situado na seção extrema de jusante o NA era arbitrado e, através do processo de calibração, o NA era ajustado gradativamente até que resultasse no NA esperado da relação cota x descarga na estação de referência do rio.

Como verificado na Tabela 29 foi possível dispor para cada trecho de rio de, pelo menos, dois postos fluviométricos com relações cota do NA x vazão (curva-chave). Algumas curvas-chave dos rios nos postos fluviométricos estão desatualizadas em função da sua desativação. Não obstante sua utilização será mais precisa que a simples seleção arbitrária do valor do coeficiente de Manning.

Foram consideradas as seguintes vazões de restrição para os rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri a jusante dos aproveitamentos:

- rios Jaguari-Jacaré: 50, 100, 150 e 200 m<sup>3</sup>/s.
- rios Cachoeira: 10, 25, 40 e 60 m<sup>3</sup>/s.
- rios Atibainha: 2, 5, 10 e 20 m<sup>3</sup>/s.
- rios Juqueri: 20, 30, 40 e 50 m<sup>3</sup>/s.



**TABELA 30 – DISTÂNCIAS ENTRE AS SEÇÕES TRANSVERSAIS DOS RIOS JACAREÍ E JAGUARI**

Seção de Montante	Seção de Jusante	distância longitudinal (m)
barragem	Jac1	555
Jac1	Jac2	908
Jac2	Jac3	1.343
Jac3	Jac4	864
Jac4	Jac5	862
Jac5	Jac6	1.912
Jac6	confluência Jaguari	235
barragem	Jag1	871
Jag1	Jag2	884
Jag2	Jag3	1.015
Jag3	Jag4	1.067
Jag4	Jag5	1.160
Jag5	Jag6	637
Jag6	Jag7	1.056
Jag7	Jag8	1.447
Jag8	Jag 9= igual a regua F10	609
Jag9	Jag10	767
Jag10	Jag11	1.214
Jag11	Jag12	1.539
Jag12	Jag13	1.315
Jag13	Jag14	1.044
Jag14	Jag15	532
Jag15	Jag16	774
Jag16	Jag17	1.151
Jag17	Jag18	2.240
Jag18	Jag 19= igual a regua F18	1.028
Jag19	Jag20	338
Jag 20	regua rio abaixo ANA	15.500

**TABELA 31 – DISTÂNCIAS ENTRE AS SEÇÕES TRANSVERSAIS DO RIO CACHOEIRA**

Seção de Montante	Seção de Jusante	distância longitudinal (m)
barragem	Posto 3E-116T (Captação)	1.648
Posto 3E-116T (Captação)	Cac1	86
Cac1	Cac2	480
Cac2	Cac3	952
Cac3	Cac4	1.200
Cac4	Posto Cravorana	439
Posto Cravorana	Cac5	692
Cac5	Cac6	1.220
Cac6	Cac7	878
Cac7	Cac8	1.284
Cac8	Cac9= igual a a régua ANA Piracaia	724
Cac9	Cac10	954
Cac10	Cac11	645

**TABELA 32 – DISTÂNCIAS ENTRE AS SEÇÕES TRANSVERSAIS DO RIO ATIBAINHA**

Seção de Montante	Seção de Jusante	distância longitudinal (m)
BARRAGEM	AT00	166
AT00	AT1	1.063
AT1	AT2	766
AT2	AT3	590
AT3	AT4	1.466
AT4	AT5	516
AT5	AT6, posto fluviométrico MASCATE 3E 089R	1.184
AT6	AT8	2.571
AT8	AT9	1.156
AT9	AT10	1.937
AT10	S30	631
S30	AT11	474
AT11	AT12	1.001
AT12	AT14	2.235
AT14	AT15	482
AT15	AT16	1.479
AT16	AT17	607
AT17	AT20	3.784
AT20	AT21	699
AT21	AT22	748
AT22	AT23	952
AT23	AT24	1.605
AT24	AT25	1.325
AT25	AT26	549
AT26	AT27	1.338

**TABELA 33 – DISTÂNCIAS ENTRE AS SEÇÕES TRANSVERSAIS DO RIO JUQUERI**

Seção de Montante	Seção de Jusante	distância longitudinal (m)
barragem	Pc1	1.157,82
Pc1	Pc2	1.090,22
Pc2	Pc3	1.041,70
Pc3	S1PONTE	85,48
S1PONTE	S2PONTE	435,99
S2PONTE	Pc4	488,04
Pc4	Pc5	1.107,60
Pc5	S3PONTE	81,56
S3PONTE	Pc6	692,44
Pc6	Pc7	1.098,28
Pc7	posto 3E-109	398,65

O processo de calibração do modelo de escoamento dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri foi feito através do seguinte procedimento:

- seleção da vazão de restrição descarregada pelo aproveitamento;
- estimativa dos coeficientes de Manning, considerado constante ao longo de todo o trecho entre postos fluviométricos;
- simulação do escoamento e determinação das linhas d'água;
- verificação do NA nas seções com postos fluviométricos;
- revisão dos coeficientes de Manning em função da diferença entre o valor obtido e àquele proveniente da curva-chave;
- repetição do processo de simulação.

O processo de calibração do modelo de escoamento dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri resultou nos coeficientes de Manning apresentados na Tabela 34.

**TABELA 34 – COEFICIENTES DE RUGOSIDADE DE MANNING DOS RIOS DETERMINADOS NO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO**

Rios	Coeficiente n de Manning	
	Calha Principal	Calha Secundária
Jaguari e Jacaré	0,060	0,100
Cachoeira	0,100	0,100
Atibainha	0,070	0,100
Juqueri	0,068	0,068

#### 10.4. Simulações e Resultados

Após a calibração do modelo computacional dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri nos trechos a jusante dos aproveitamentos foram feitas as simulações do escoamento em regime permanente gradualmente variado. Foram utilizadas as vazões constantes mencionadas anteriormente ao longo de todo o trecho analisado. Assim não foram consideradas as vazões incrementais provenientes das sub-bacias dos afluentes dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri. Portanto os resultados a serem apresentados indicam os impactos causados exclusivamente pelas vazões defluentes dos aproveitamentos.

As simulações foram feitas utilizando o programa computacional HEC-RAS. As Figuras 48 a 59 e as Tabelas 35 a 38 apresentam os resultados das simulações do escoamento nos rios compostos dos seguintes gráficos:

- linha d'água do rio no trecho em análise para as vazões de restrição consideradas;
- área inundada acumulada no trecho em análise para as vazões de restrição consideradas;
- largura superficial do superfície molhada no trecho em análise para as vazões de restrição consideradas.

Os desenhos “Estudos de Cheias para Avaliação dos Volumes de Espera dos Aproveitamentos do Sistema Cantareira” elaborados para os rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha e Juqueri apresentam as manchas de inundação em conjunto com as fotos aéreas. Estes desenhos permitem analisar os impactos causados pelas áreas inundadas nas margens dos rios associados às diversas vazões de restrição.

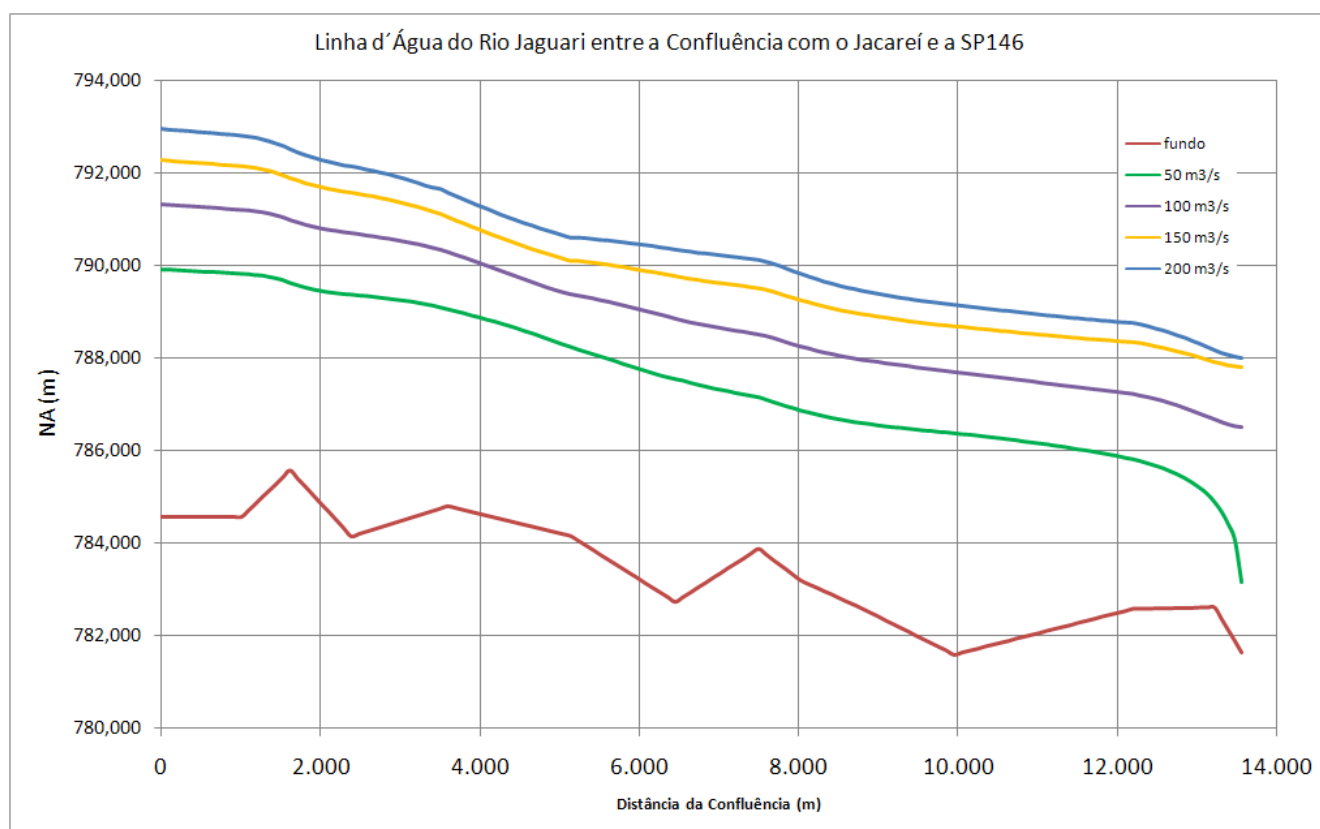


FIGURA 48

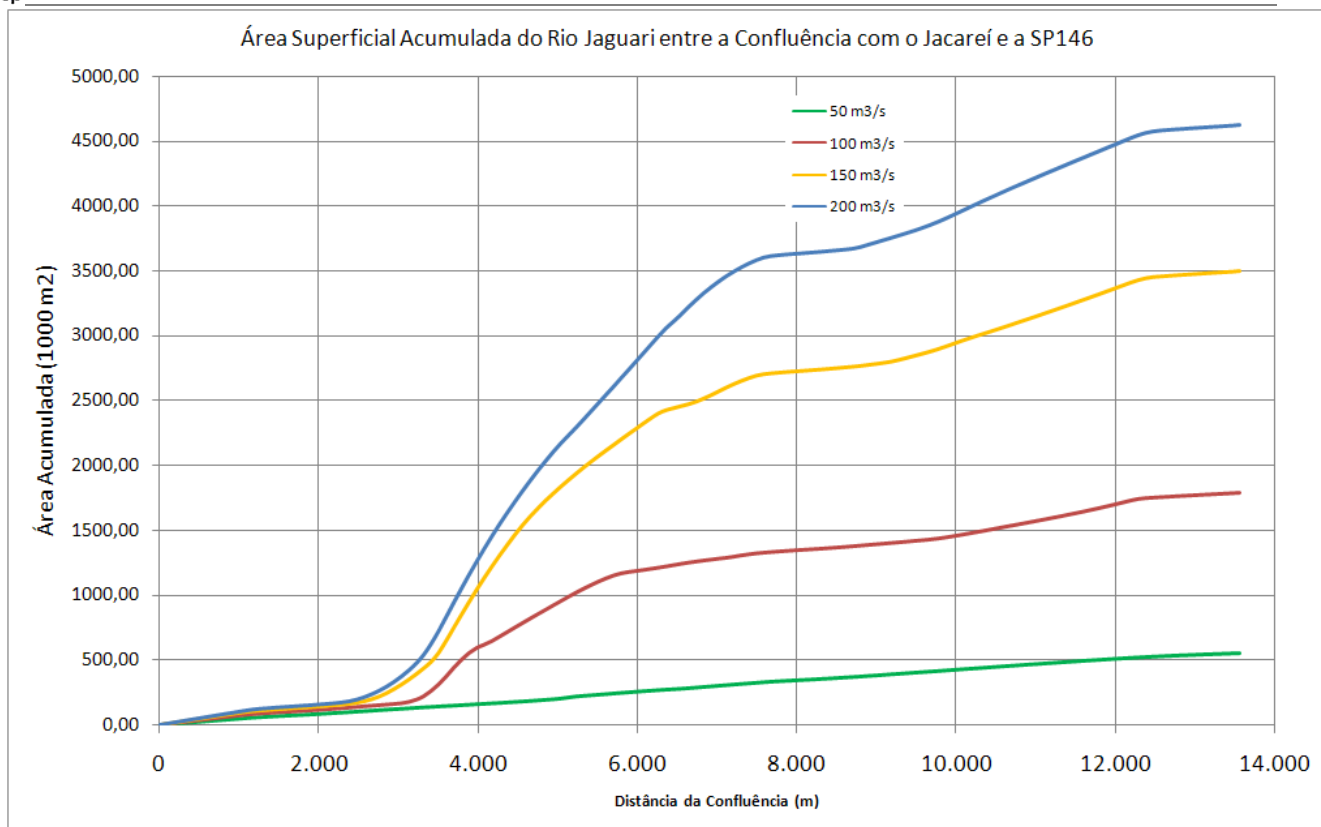


FIGURA 49

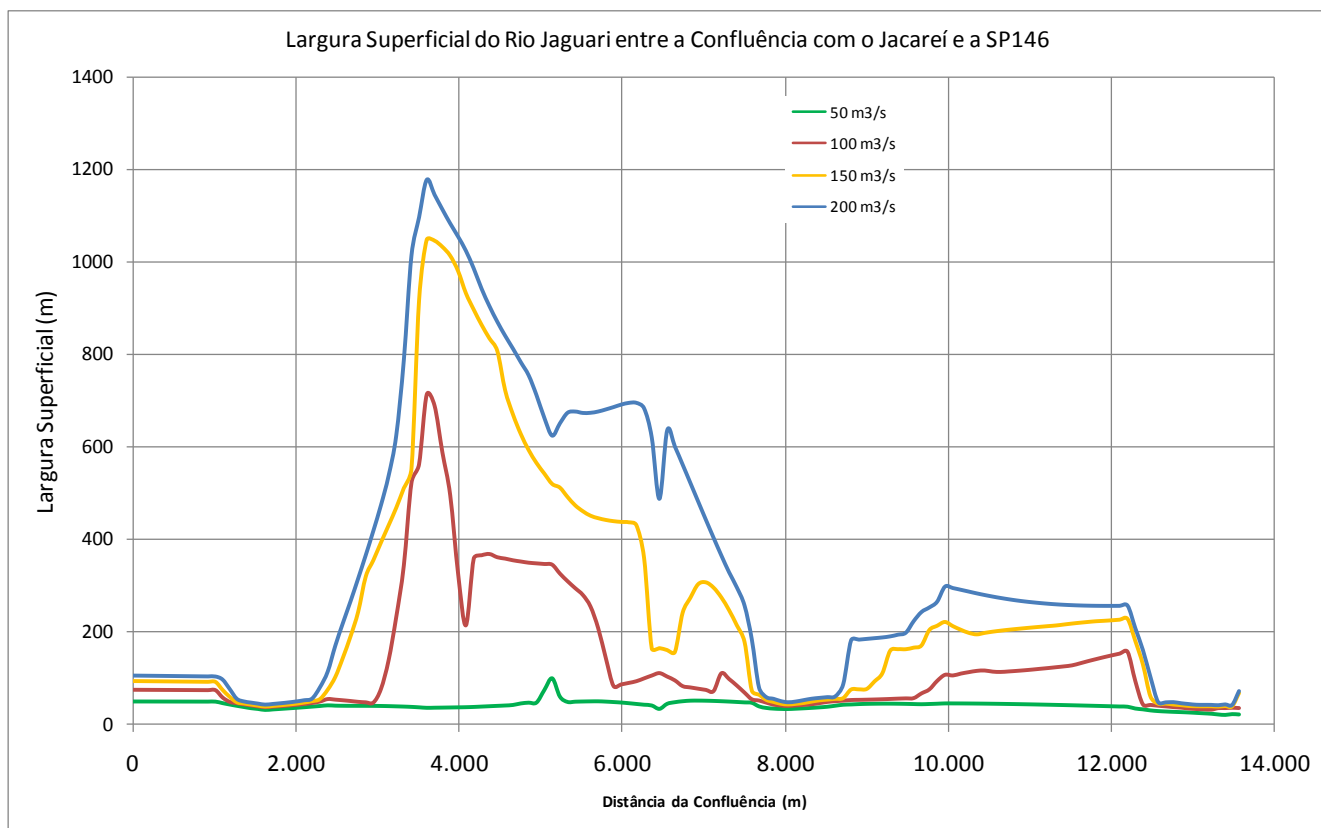
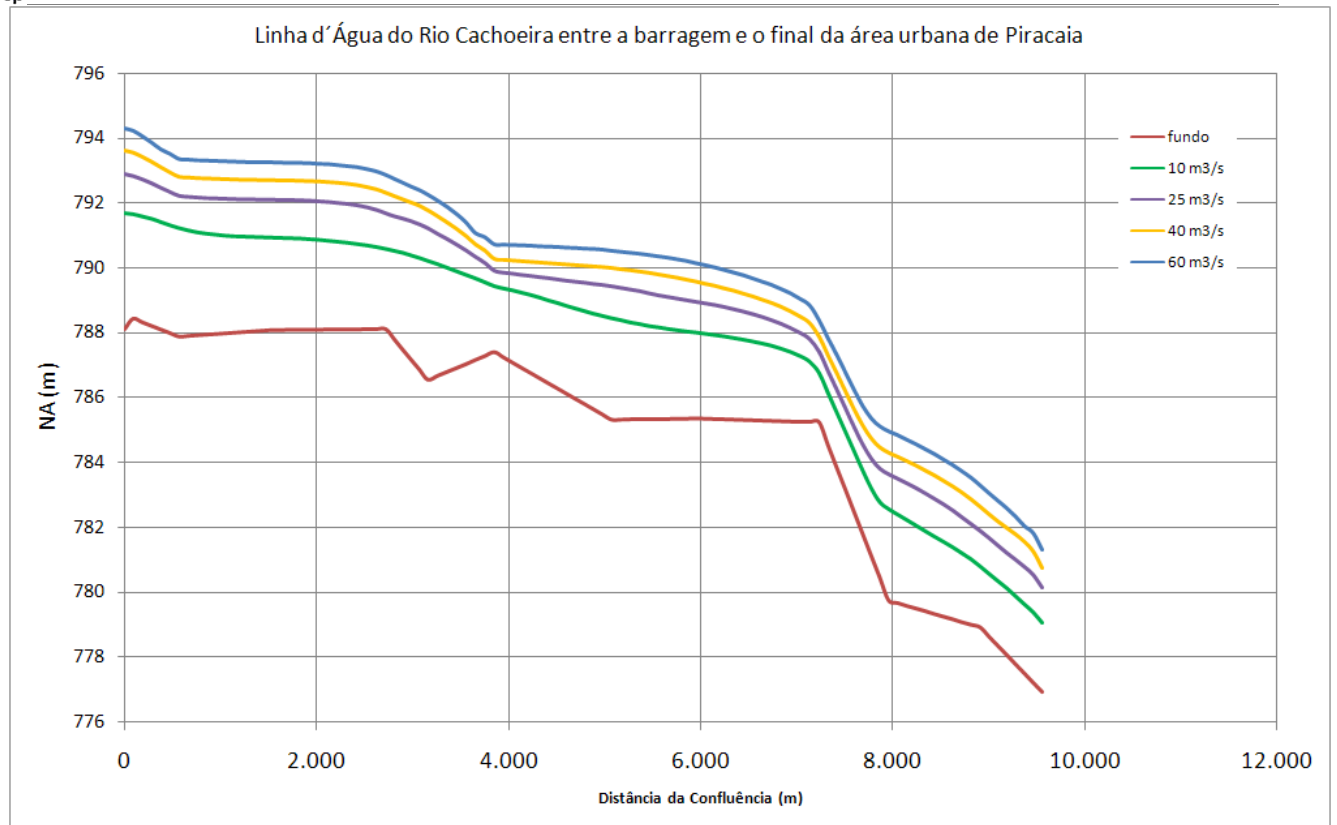
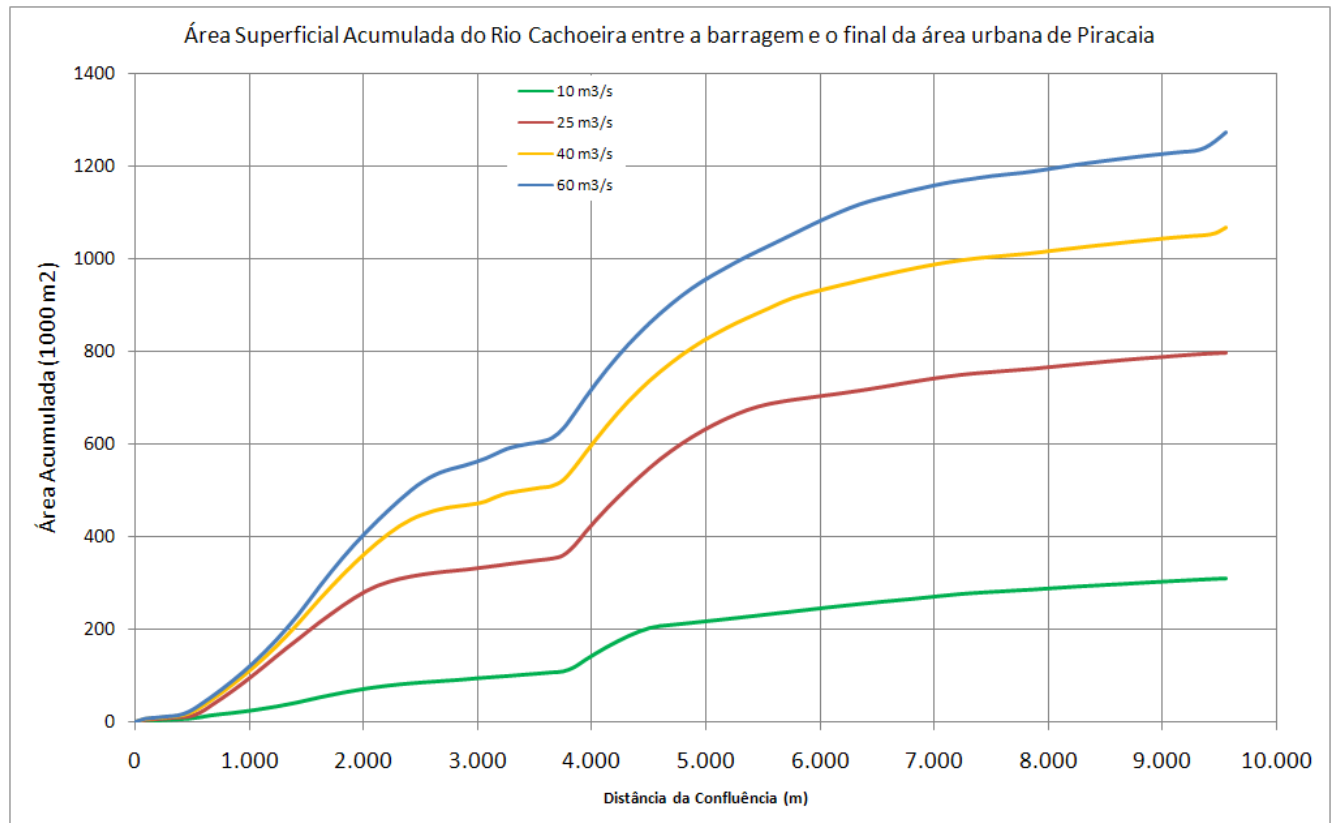


FIGURA 50



**FIGURA 51**



**FIGURA 52**

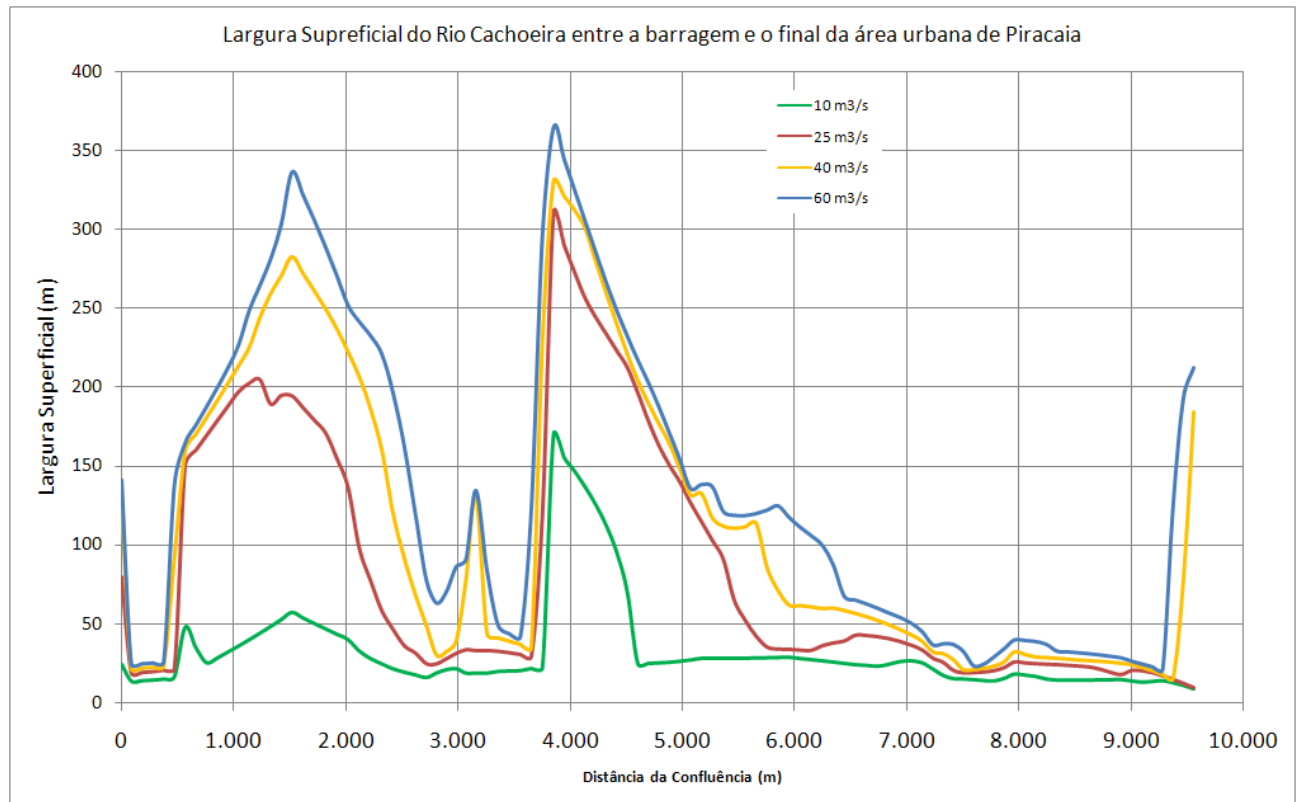


FIGURA 53

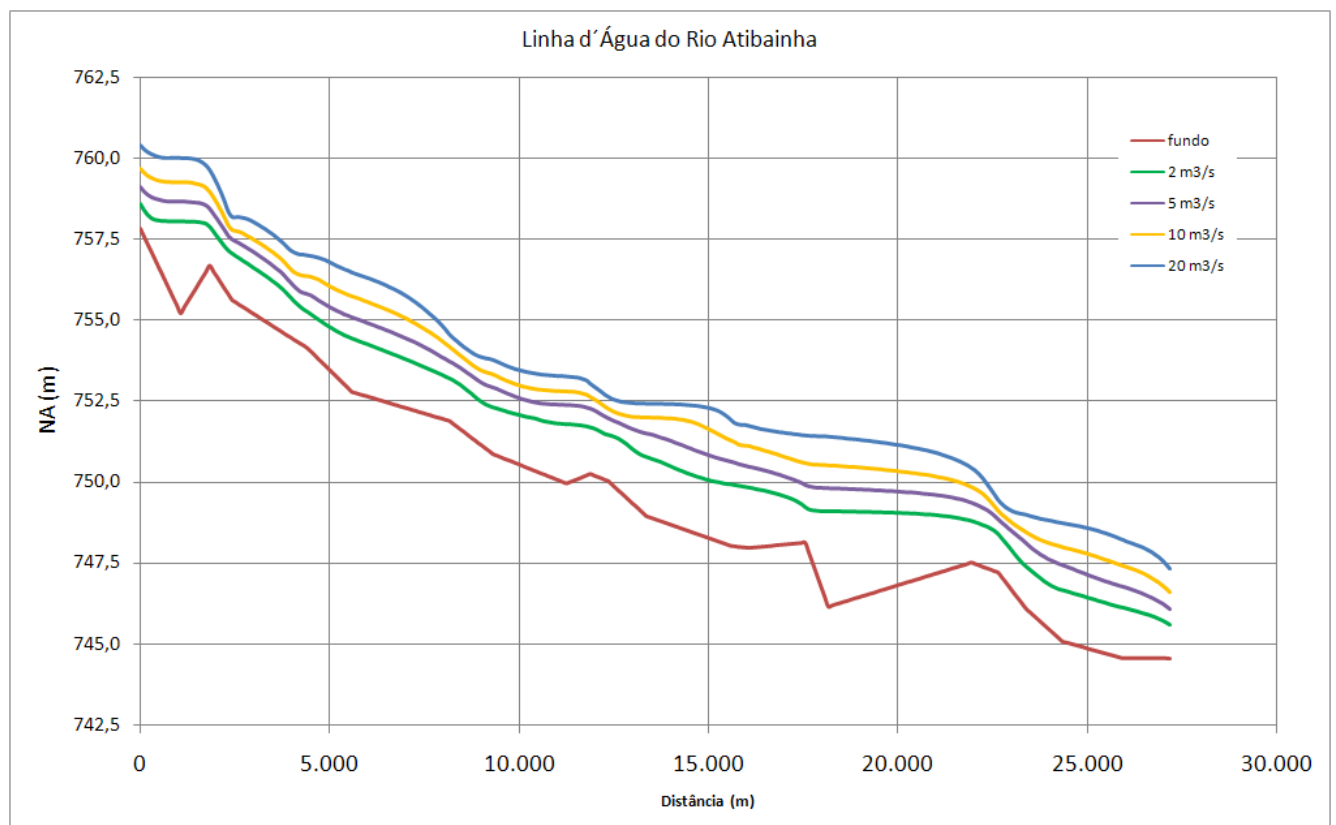
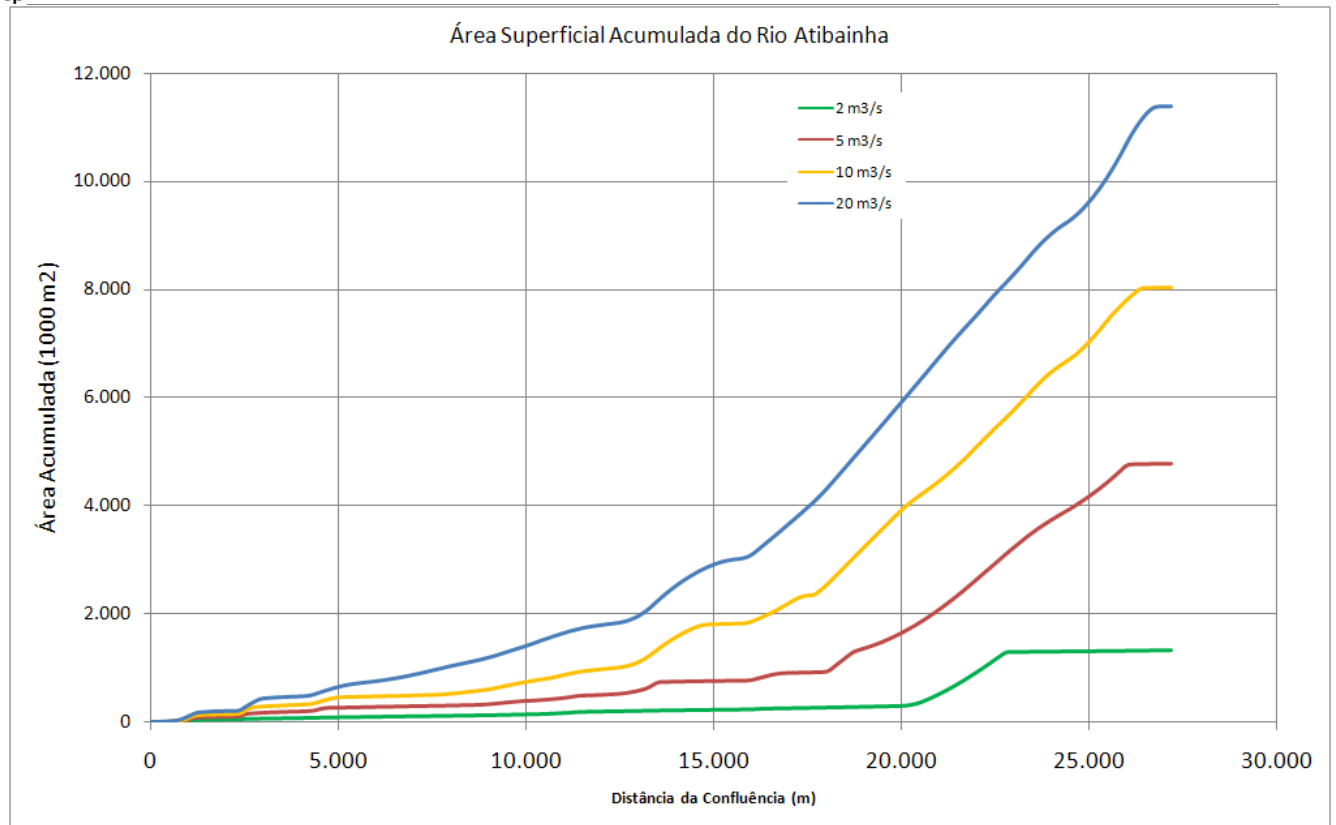
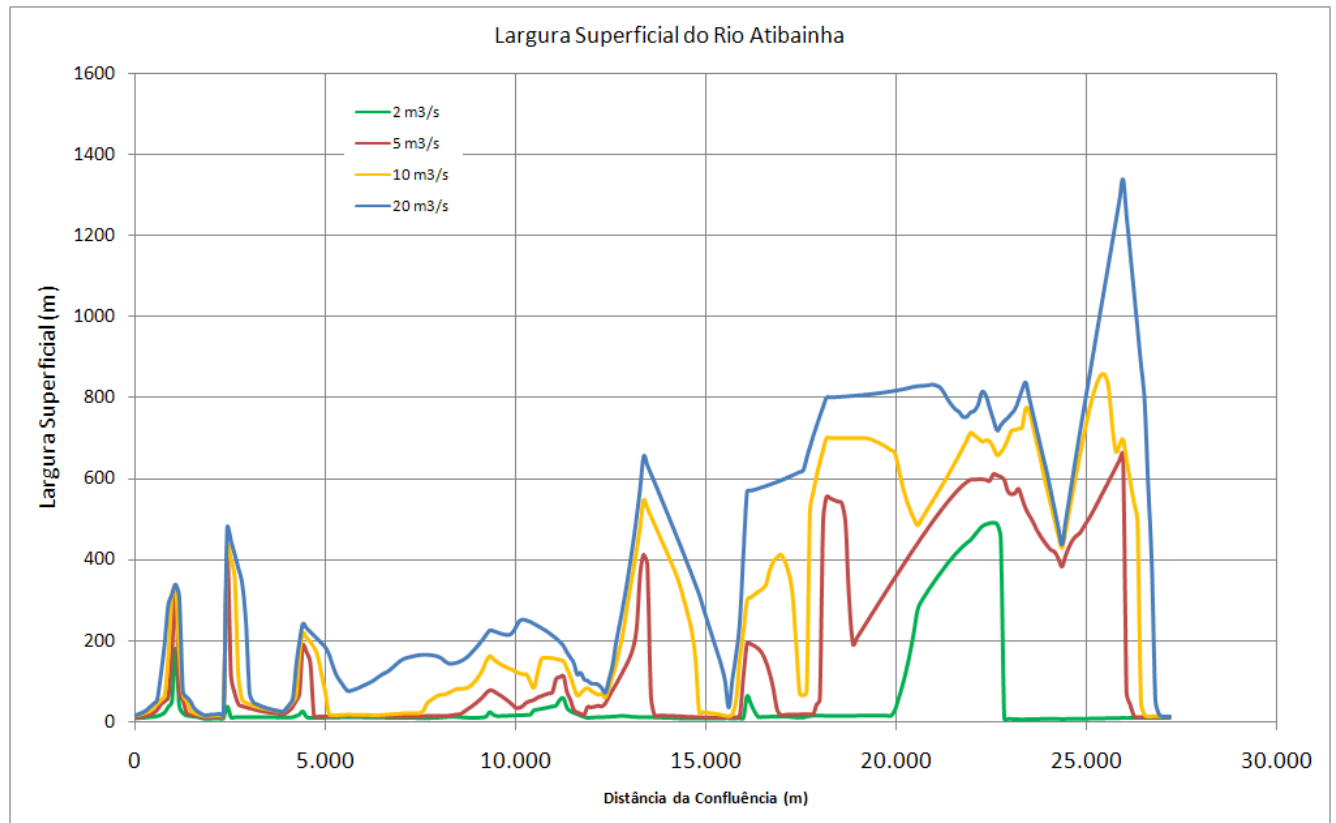


FIGURA 54



**FIGURA 55**



**FIGURA 56**



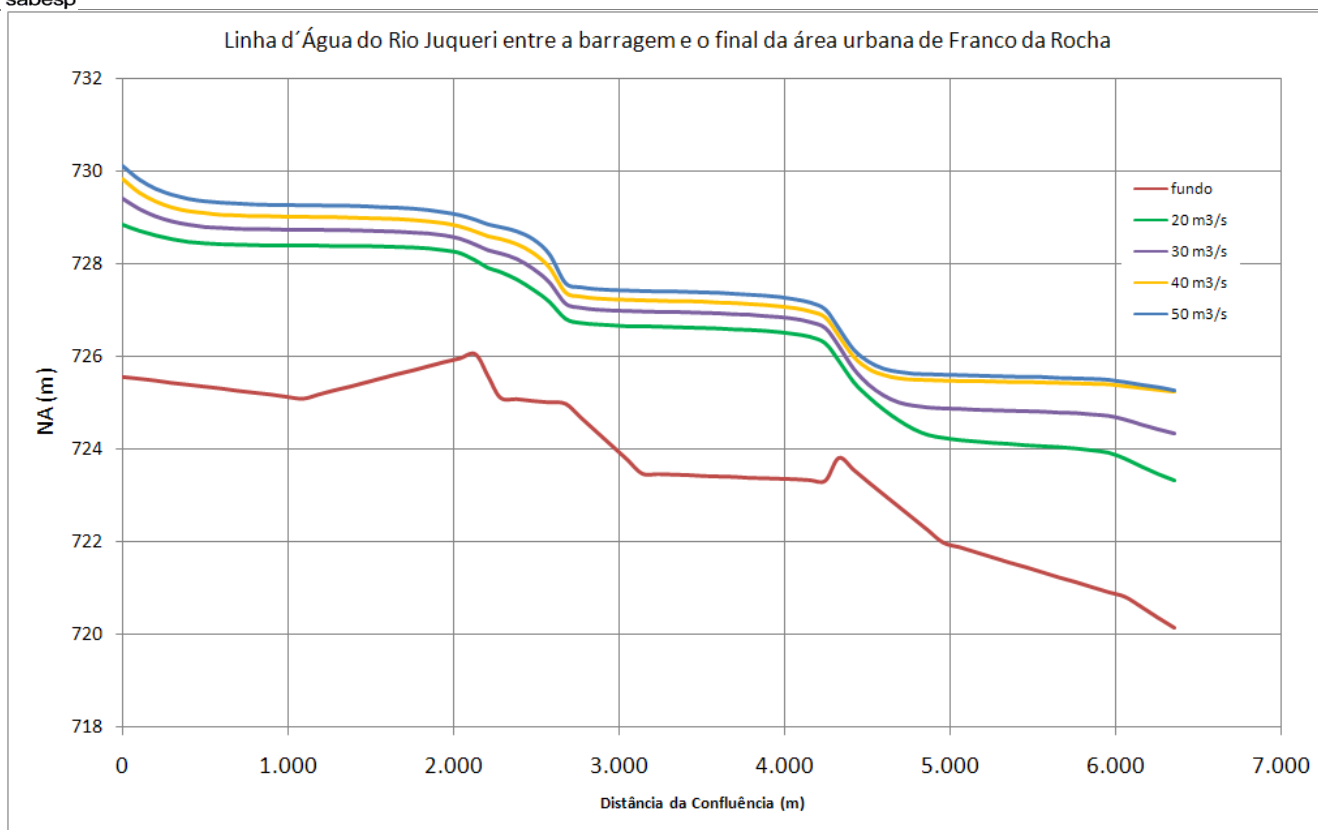


FIGURA 57

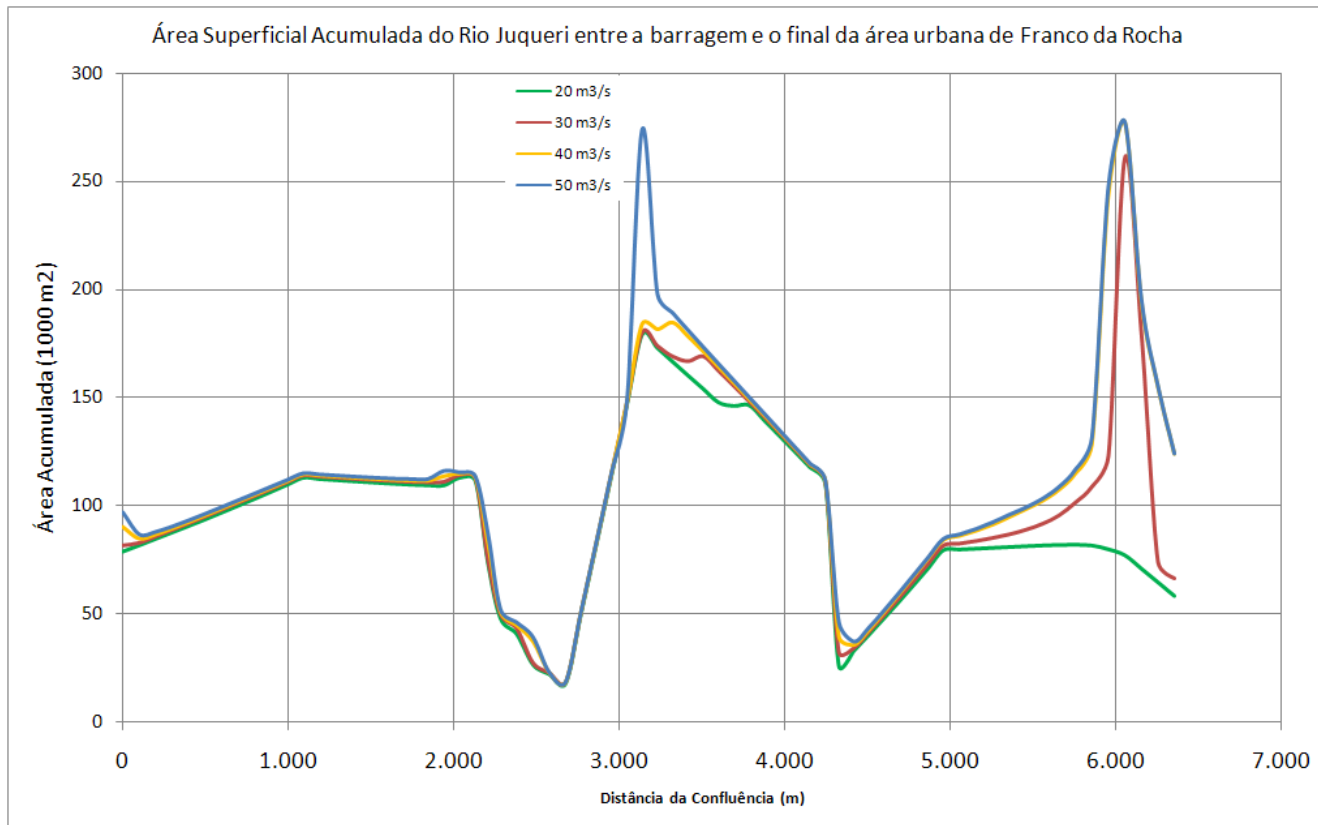


FIGURA 58

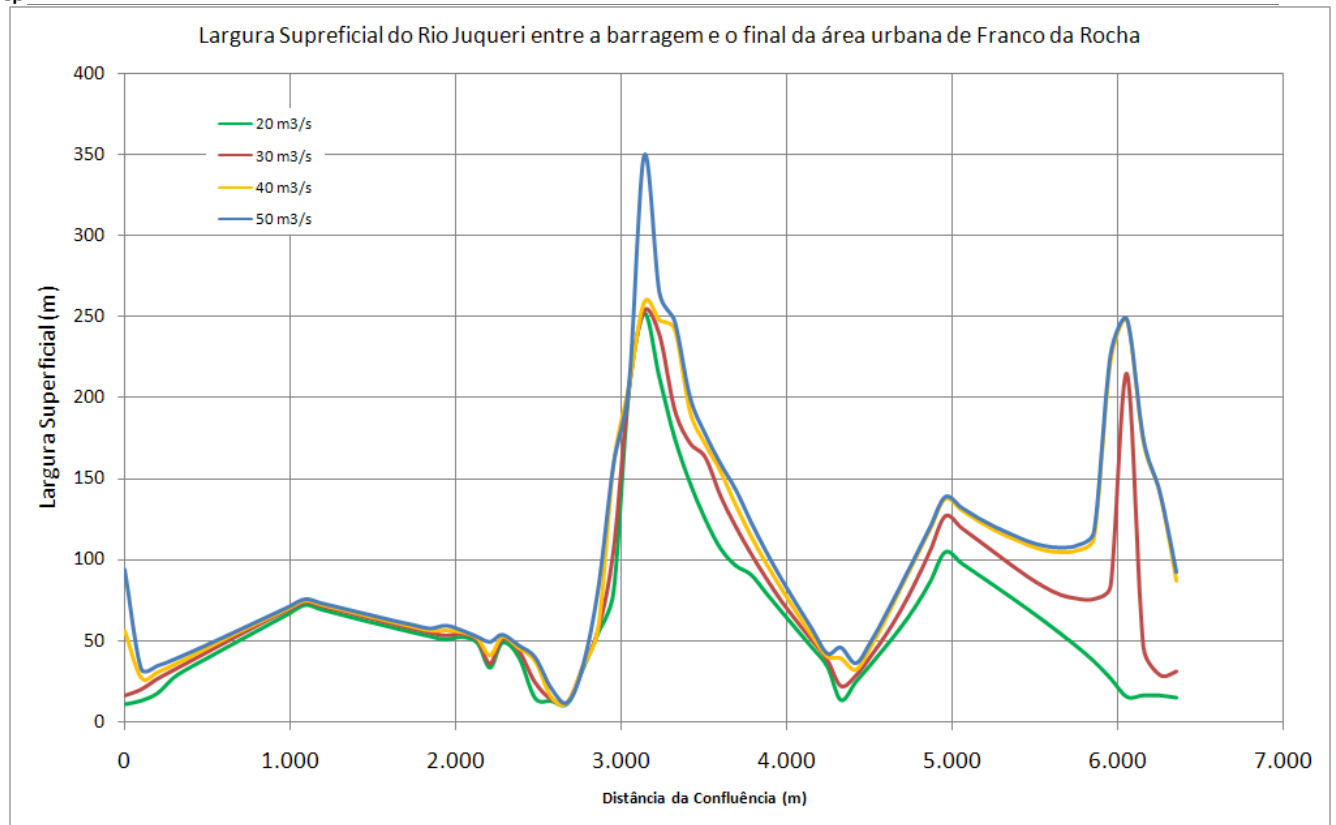


FIGURA 59

**TABELA 35 – NÍVEIS D'ÁGUA NAS SEÇÕES DO RIO JAGUARI E JACAREÍ**

Trecho do rio	Distância Acumulada (m)	Nome da Seção	Cota de Fundo (m)	Cota do NA (m)			
				50 m <sup>3</sup> /s	100 m <sup>3</sup> /s	150 m <sup>3</sup> /s	200 m <sup>3</sup> /s
Rio Jacaré a montante da confluência	0,00	Jac1	793,24	795,83	796,35	796,77	797,13
	908,00	Jac2	793,22	794,62	794,78	794,95	795,05
	2.251,01	Jac3	791,36	793,59	793,82	793,98	794,15
	3.115,01	Jac4	790,31	792,91	793,20	793,24	793,45
	3.977,01	Jac5	789,65	791,99	792,35	792,81	793,27
	5.889,01	Jac6	787,99	789,90	791,30	792,25	792,95
Rio Jaguari a montante da confluência	0,00	Jag1	790,06	793,00	793,82	794,46	795,06
	884,00	Jag2	789,58	791,47	792,78	793,65	794,38
	1.899,00	Jag3	785,00	791,23	792,52	793,40	794,13
	2.966,00	Jag4	788,00	791,04	792,28	793,12	793,81
	4.126,00	Jag5	787,90	790,38	791,79	792,74	793,47
	4.763,00	Jag6	785,30	790,15	791,60	792,57	793,30
	5.819,00	Jag7	785,78	789,92	791,30	792,24	792,93
Rio Jaguari a jusante da confluência	0,00	confluência	784,55	789,92	791,31	792,26	792,95
	1.009,03	Jag8	784,55	789,83	791,19	792,13	792,80
	1.618,03	Jag9	785,55	789,63	790,97	791,87	792,51
	2.385,07	Jag10	784,13	789,38	790,69	791,56	792,14
	3.599,01	Jag11	784,78	789,06	790,28	791,03	791,57
	5.138,05	Jag12	784,14	788,25	789,37	790,09	790,60
	6.453,07	Jag13	782,72	787,55	788,84	789,76	790,34
	7.497,08	Jag14	783,86	787,16	788,50	789,50	790,12
	8.029,10	Jag15	783,18	786,87	788,24	789,24	789,82
	8.803,10	Jag16	782,57	786,60	787,95	788,94	789,45
	9.954,14	Jag17	781,58	786,38	787,69	788,68	789,15
	12.194,11	Jag18	782,57	785,82	787,22	788,34	788,76
	13.222,17	Jag19	782,60	784,89	786,67	787,91	788,17
	13.560,17	Jag 20	781,63	783,16	786,50	787,80	788,00

**TABELA 36 – NÍVEIS D'ÁGUA NAS SEÇÕES DO RIO CACHOEIRA**

Distância Acumulada (m)	Nome da Seção	Cota de Fundo (m)	Cota do NA (m)			
			10 m <sup>3</sup> /s	25 m <sup>3</sup> /s	40 m <sup>3</sup> /s	60 m <sup>3</sup> /s
0,00	Posto 3E-116T (Captação)	788,09	791,69	792,91	793,63	794,28
86,00	Cac1	788,41	791,66	792,85	793,57	794,21
566,00	Cac2	787,86	791,23	792,24	792,82	793,34
1.518,00	Cac3	788,06	790,94	792,12	792,72	793,24
2.718,00	Cac4	788,09	790,59	791,70	792,33	792,85
3.157,00	Posto Cravorana	786,53	790,22	791,24	791,79	792,24
3.849,02	Cac5	787,38	789,44	789,93	790,29	790,71
5.069,07	Cac6	785,30	788,45	789,45	790,01	790,51
5.947,11	Cac7	785,34	788,01	788,97	789,59	790,13
7.231,12	Cac8	785,22	786,76	787,43	787,89	788,37
7.955,12	Cac9 e régua ANA Piracaia	779,73	782,56	783,65	784,31	784,95
8.909,12	Cac10	778,90	780,79	781,90	782,64	783,28
9.554,10	Cac11	776,91	779,05	780,15	780,75	781,30

**TABELA 37 – NÍVEIS D'ÁGUA NAS SEÇÕES DO RIO ATIBAINHA**

Distância Acumulada (m)	Nome da Seção	Cota de Fundo (m)	Cota do NA (m)			
			2 m <sup>3</sup> /s	5 m <sup>3</sup> /s	10 m <sup>3</sup> /s	20 m <sup>3</sup> /s
0,00	AT00	757,83	758,60	759,11	759,67	760,38
1.063,04	AT1	755,22	758,06	758,66	759,25	759,99
1.829,20	AT2	756,69	757,90	758,44	758,96	759,62
2.419,18	AT3	755,63	757,07	757,49	757,78	758,17
3.885,58	AT4	754,53	755,81	756,26	756,67	757,22
4.402,00	AT5	754,15	755,27	755,80	756,35	756,98
5.585,92	AT6 e a régua MASCATE 3E O89R	752,79	754,44	755,08	755,73	756,45
8.156,54	AT8	751,90	753,21	753,72	754,17	754,54
9.312,74	AT9	750,87	752,31	752,91	753,31	753,75
11.250,14	AT10	749,97	751,79	752,37	752,79	753,24
11.881,05	S30	750,26	751,69	752,26	752,61	753,01
12.354,70	AT11	750,04	751,46	751,96	752,25	752,61
13.356,03	AT12	748,96	750,78	751,49	751,98	752,40
15.591,17	AT14	748,04	749,93	750,62	751,27	751,90
16.073,42	AT15	747,98	749,83	750,46	751,10	751,71
17.552,57	AT16	748,14	749,23	749,90	750,57	751,42
18.159,61	AT17	746,17	749,10	749,80	750,50	751,38
21.944,03	AT20	747,53	748,80	749,35	749,83	750,41
22.643,33	AT21	747,22	748,40	748,84	749,10	749,43
23.391,25	AT22	746,09	747,38	748,09	748,43	748,97
24.343,45	AT23	745,09	746,66	747,42	747,97	748,71
25.948,59	AT24	744,57	746,12	746,75	747,39	748,19
27.273,97	AT25	744,56	745,48	745,94	746,45	747,15
27.822,85	AT26	743,79	744,53	744,97	745,49	746,18
29.161,25	AT27	741,31	741,58	741,75	741,94	742,23

**TABELA 38 – NÍVEIS D'ÁGUA NAS SEÇÕES DO RIO JUQUERI**

Distância Acumulada (m)	Nome da Seção	Cota de Fundo (m)	Cota do NA (m)			
			20 m <sup>3</sup> /s	30 m <sup>3</sup> /s	40 m <sup>3</sup> /s	50 m <sup>3</sup> /s
0,00	PC1	725,56	728,85	729,39	729,82	730,11
1.090,21	PC2	725,09	728,40	728,72	729,01	729,26
2.131,91	PC3	726,05	728,08	728,40	728,69	728,95
2.283,95	S1PONTE	725,11	727,83	728,21	728,53	728,79
2.677,23	S2PONTE	724,98	726,82	727,13	727,38	727,58
3.140,63	PC4	723,47	726,66	726,96	727,21	727,41
4.248,23	PC5	723,32	726,29	726,60	726,84	727,01
4.329,79	S3PONTE	723,81	725,91	726,21	726,44	726,60
4.961,19	PC6	721,98	724,25	724,87	725,48	725,60
6.059,43	PC7	720,81	723,80	724,63	725,36	725,44
6.458,07	posto 3E-109	719,92	723,20	724,24	725,19	725,19

## 11. Análise das Áreas não Controladas

### 11.1. Modelagem das Sub-Bacias Não Controladas

O objetivo principal da operação de controle de cheias é evitar danos nas margens dos rios Jacareí, Jaguari, Atibainha, Cachoeira e Juqueri nos trechos imediatamente a jusante dos aproveitamentos do sistema Cantareira. Para garantir a eficiência desta operação há necessidade de verificar as contribuições das sub-bacias afluentes nestes trechos nas mesmas condições hidrometeorológicas que geraram os hidrogramas de cheias com períodos de retorno de 50 e 100 anos.

Os desenhos denominados “Sub-Bacias Hidrográficas Afluentes ao Rio Jaguari-Jacareí a Jusante do Aproveitamento Jaguari-Jacareí”, “Sub-Bacias Hidrográficas Afluentes ao Rio Cachoeira a Jusante do Aproveitamento Cachoeira”, “Sub-Bacias Hidrográficas Afluentes ao Rio Atibainha a Jusante do Aproveitamento Atibainha” e “Sub-Bacias Hidrográficas Afluentes ao Rio Juqueri a Jusante do Aproveitamento Paiva Castro” apresentam a rede hidrográfica e as principais sub-bacias hidrográficas identificadas.

Para a modelagem das sub-bacias hidrográficas afluentes aos trechos de interesse foram obtidas as características fisiográficas representadas pelas áreas de drenagem, o tempo de retardo e o número da curva CN, apresentados na Tabela 39.

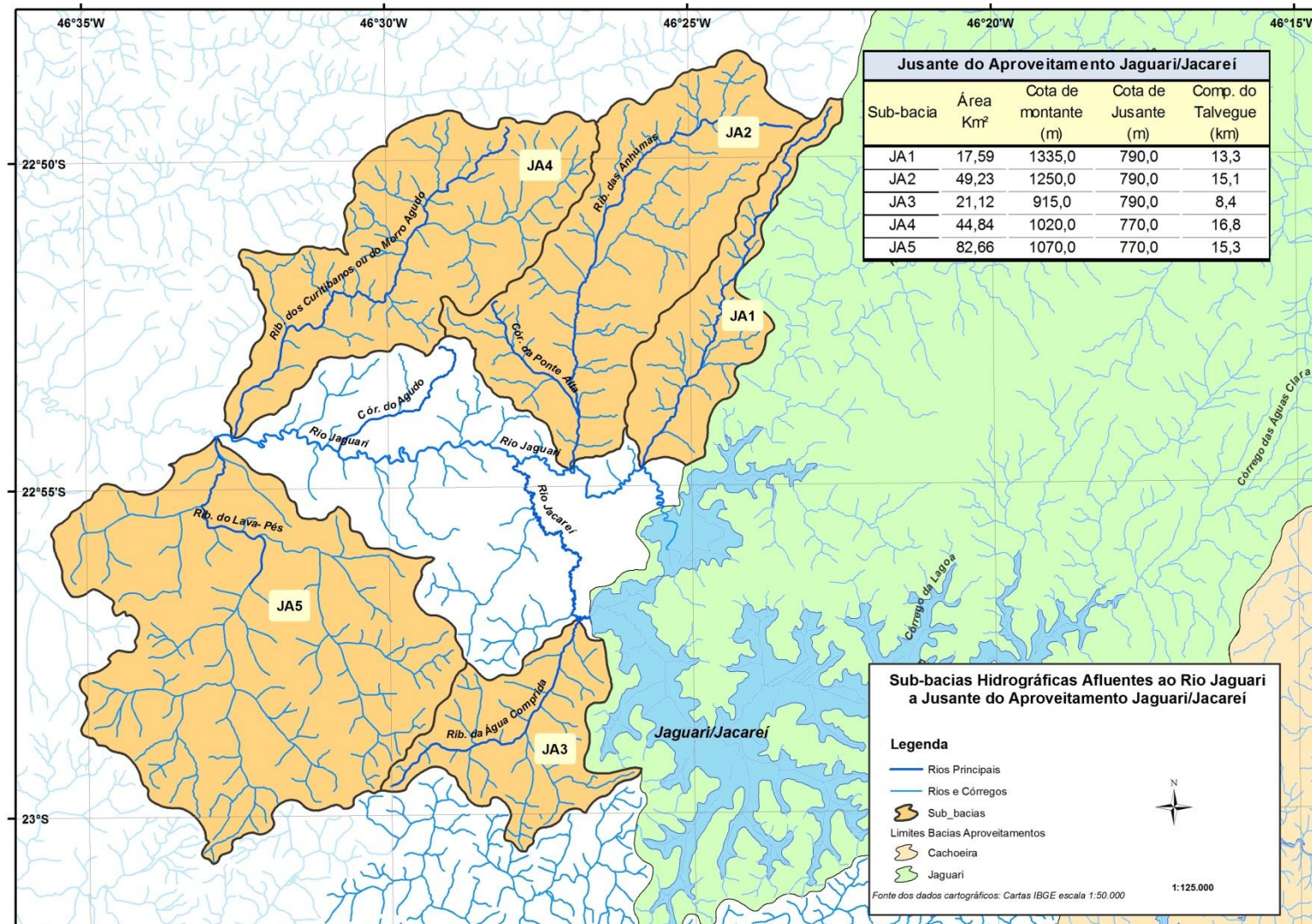
A modelagem computacional foi desenvolvida utilizando o modelo HEC-HMS v. 3.2 desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center do US Corps of Engineers. A modelagem computacional considerou as sub-bacias representadas nos desenhos acima mencionados.

As tormentas foram representadas fornecendo os totais precipitados máximos de 12 horas nas bacias dos rios Cachoeira, Atibainha e Juqueri e 24 horas na bacia do rio Jaguari, apresentados em fundo azul na Tabela 20. Os totais precipitados máximos foram distribuídos no tempo utilizando a distribuição temporal acumulada apresentada na Figura 18 com indicação “Sistema Cantareira”.

O intervalo de tempo de simulação adotado foi de 6 minutos. O período de simulação foi de 24 horas para as sub-bacias afluentes dos rios Cachoeira, Atibainha e Juqueri e 48 horas para a bacia do rio Jaguari.

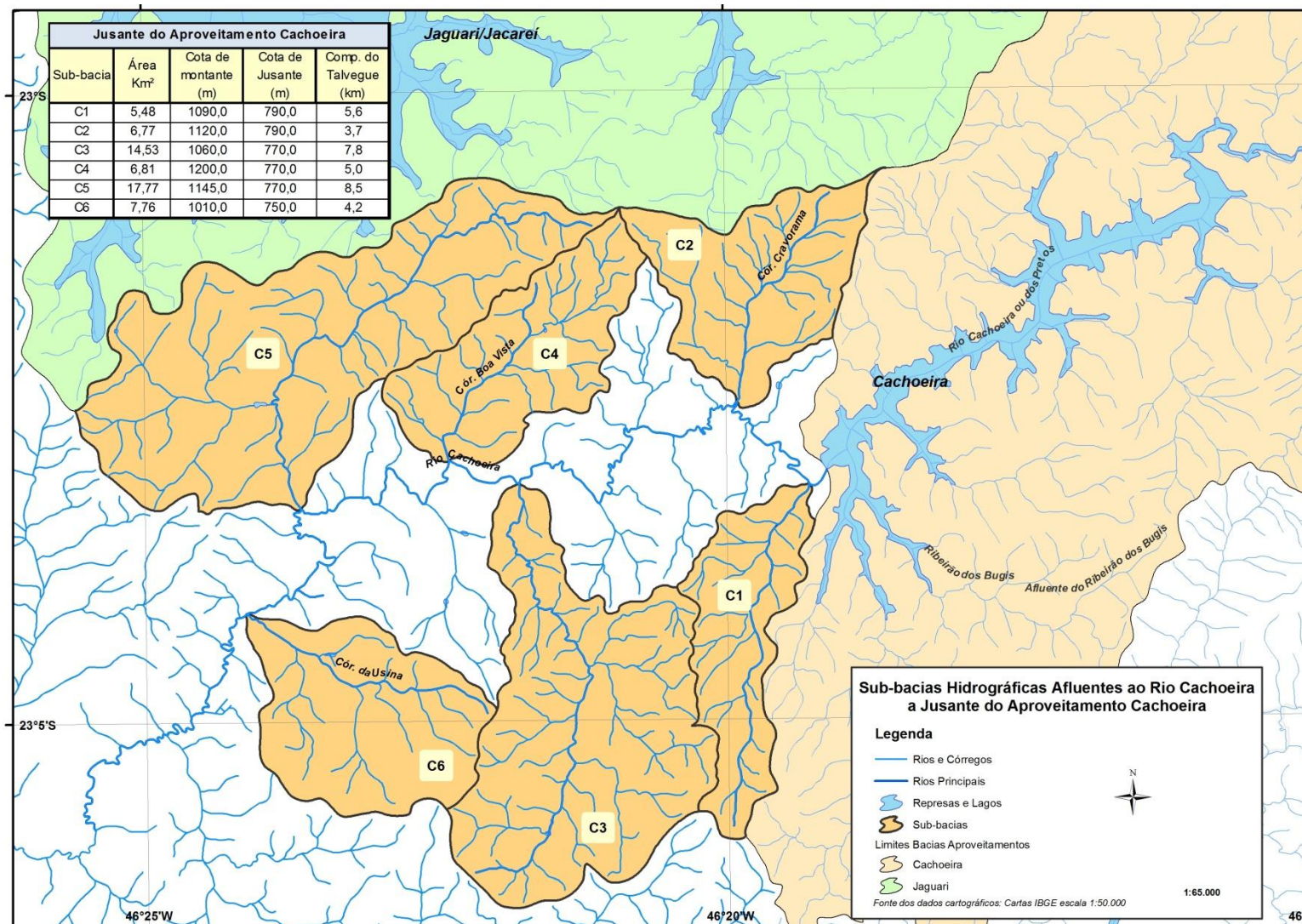


DESENHO SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES AO RIO JAGUARI-JACAREÍ A JUSANTE DO APROVEITAMENTO JAGUARI-JACAREÍ



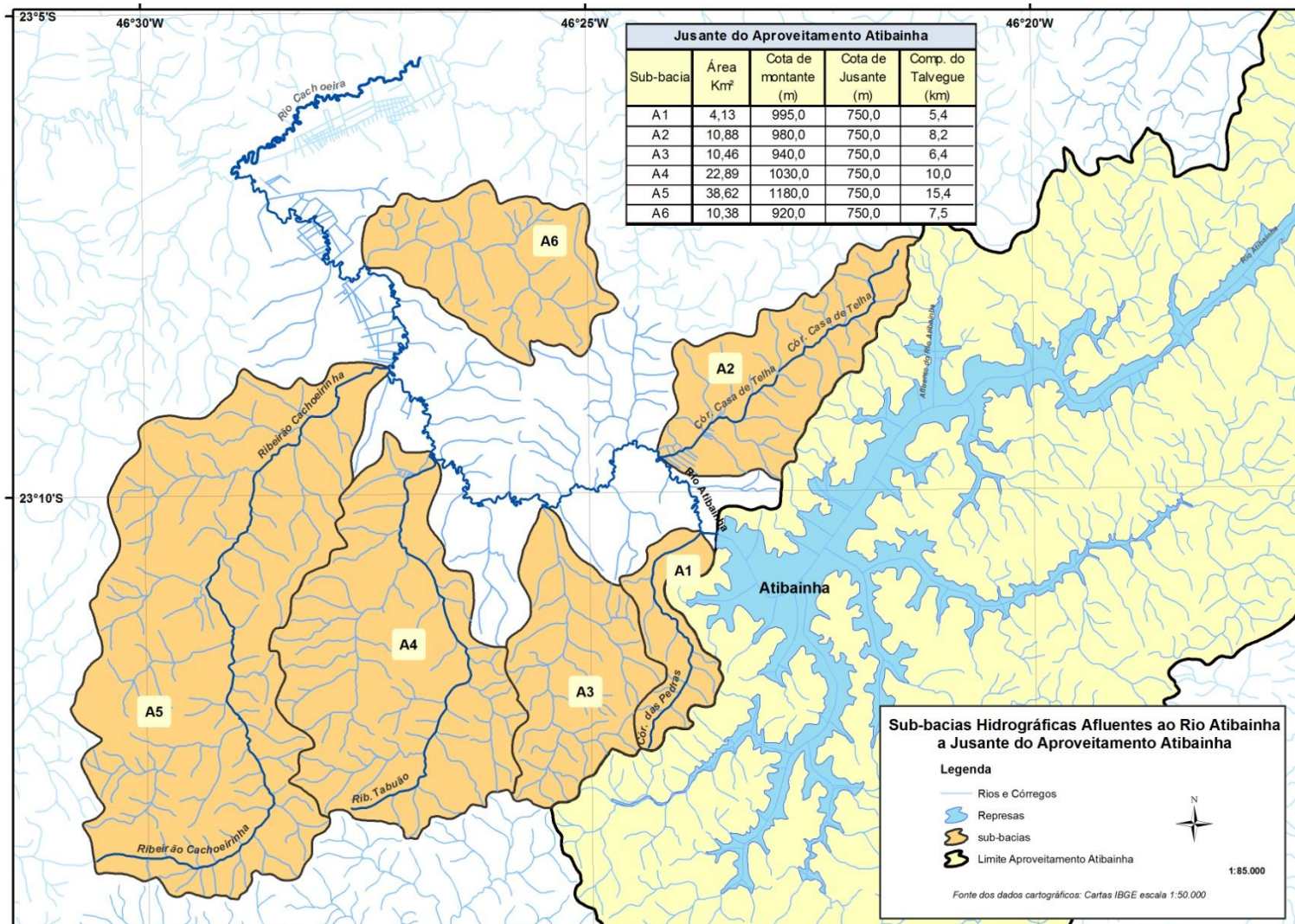


DESENHOSUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES AO RIO CACHOEIRA A JUSANTE DO APROVEITAMENTO CACHOEIRA



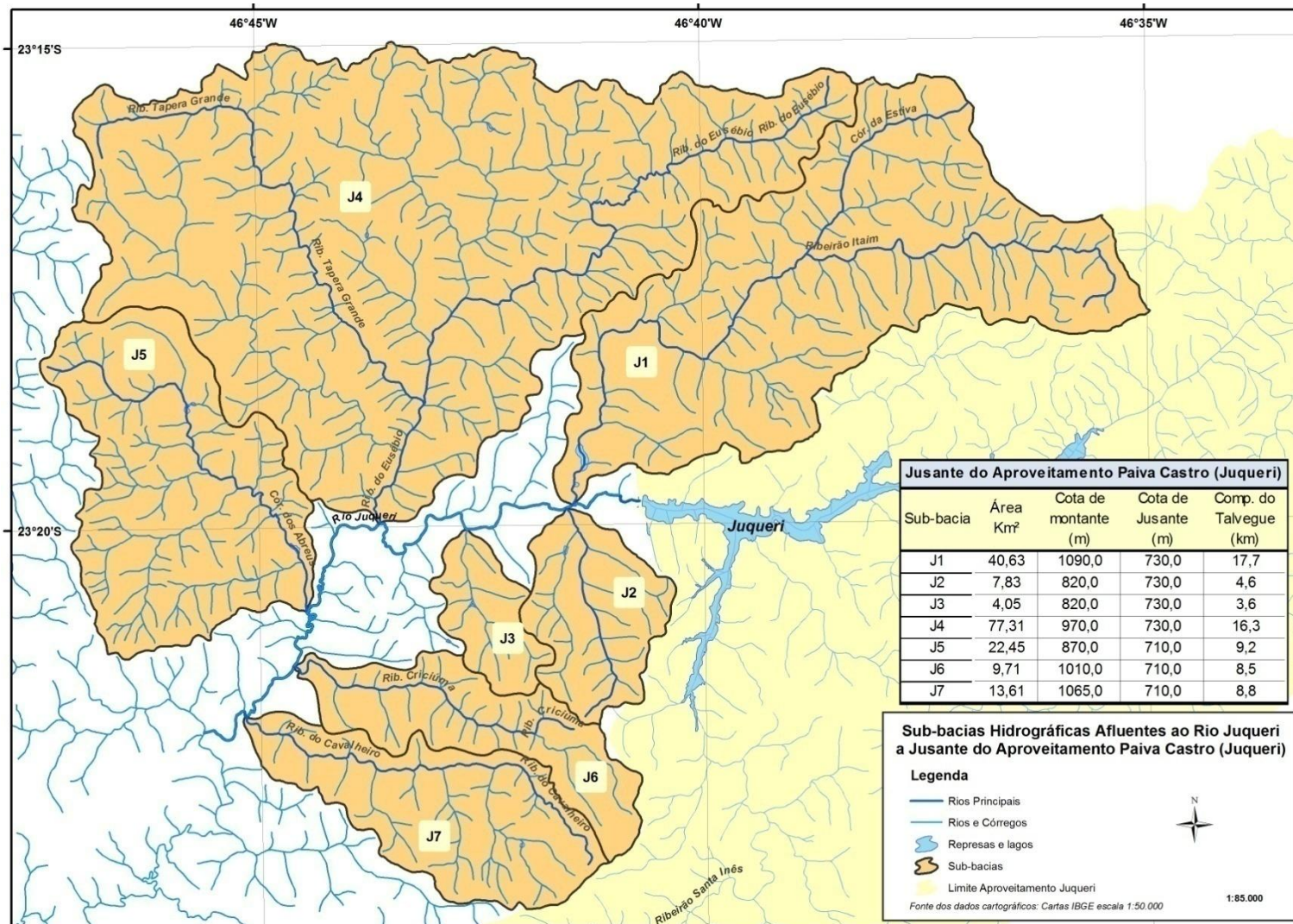


# DESENHO SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES AO RIO ATIBAINHA A JUSANTE DO APROVEITAMENTO ATIBAINHA





DESENHO SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES AO RIO JUQUERI A JUSANTE DO APROVEITAMENTO PAIVA CASTRO



**TABELA 39 – CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DAS PRINCIPAIS SUB-BACIAS AFLUENTES DOS RIOS A JUSANTE DOS APROVEITAMENTOS DO SISTEMA CANTAREIRA**

Jusante do Aproveitamento Atibainha					Tempo de	Tempo de	Velocidade	PERCENTAGENS DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS				Uso e	CN
Sub-bacia	Área Km²	Cota de montante (m)	Cota de Jusante (m)	Comp. do Talvegue (km)	concentração	retardo	Média	DE SOLOS POR SUB - BACIA HIDROGRÁFICA				Ocupação	
					(h)	(min)	(m/s)	A	B	C	D	Predominante	
A1	4,13	995,0	750,0	5,4	1,2	45	1,2	10,2	27,1	26,8	35,9	Rural	66
A2	10,88	980,0	750,0	8,2	1,9	67	1,2	10,2	27,1	26,8	35,9	Rural	66
A3	10,46	940,0	750,0	6,4	1,5	55	1,2	10,2	27,1	26,8	35,9	Rural	66
A4	22,89	1030,0	750,0	10,0	2,2	78	1,3	10,2	27,1	26,8	35,9	Rural	66
A5	38,62	1180,0	750,0	15,4	3,0	108	1,4	10,2	27,1	26,8	35,9	Rural	66
A6	10,38	920,0	750,0	7,5	1,8	65	1,1	10,2	27,1	26,8	35,9	Rural	66
Jusante do Aproveitamento Paiva Castro (Juqueri)					Tempo de	Tempo de	Velocidade	PERCENTAGENS DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS				Uso e	CN
Sub-bacia	Área Km²	Cota de montante (m)	Cota de Jusante (m)	Comp. do Talvegue (km)	concentração	retardo	Média	DE SOLOS POR SUB - BACIA HIDROGRÁFICA				Ocupação	
					(h)	(min)	(m/s)	A	B	C	D	Predominante	
J1	40,63	1090,0	730,0	17,7	3,5	128	1,4	10,7	31,1	24,3	33,9	Rural	70
J2	7,83	820,0	730,0	4,6	1,3	46	1,0	10,7	31,1	24,3	33,9	Rural	70
J3	4,05	820,0	730,0	3,6	1,0	37	1,0	10,7	31,1	24,3	33,9	Rural	70
J4	77,31	970,0	730,0	16,3	3,5	127	1,3	10,7	31,1	24,3	33,9	Rural	70
J5	22,45	870,0	710,0	9,2	2,2	80	1,1	10,7	31,1	24,3	33,9	Rural	70
J6	9,71	1010,0	710,0	8,5	1,8	66	1,3	10,7	31,1	24,3	33,9	Rural	70
J7	13,61	1065,0	710,0	8,8	1,8	66	1,3	10,7	31,1	24,3	33,9	Rural	70
Jusante do Aproveitamento Cachoeira					Tempo de	Tempo de	Velocidade	PERCENTAGENS DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS				Uso e	CN
Sub-bacia	Área Km²	Cota de montante (m)	Cota de Jusante (m)	Comp. do Talvegue (km)	concentração	retardo	Média	DE SOLOS POR SUB - BACIA HIDROGRÁFICA				Ocupação	
					(h)	(min)	(m/s)	A	B	C	D	Predominante	
C1	5,48	1090,0	790,0	5,6	1,2	44	1,3	15,0	36,0	24,0	25,0	Rural	68
C2	6,77	1120,0	790,0	3,7	0,8	29	1,3	15,0	36,0	24,0	25,0	Rural	68
C3	14,53	1060,0	770,0	7,8	1,7	61	1,3	15,0	36,0	24,0	25,0	Rural	68
C4	6,81	1200,0	770,0	5,0	1,0	37	1,3	15,0	36,0	24,0	25,0	Rural	68
C5	17,77	1145,0	770,0	8,5	1,8	63	1,3	15,0	36,0	24,0	25,0	Rural	68
C6	7,76	1010,0	750,0	4,2	1,0	35	1,2	15,0	36,0	24,0	25,0	Rural	68
Jusante do Aproveitamento Jaguari/Jacarei					Tempo de	Tempo de	Velocidade	PERCENTAGENS DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS				Uso e	CN
Sub-bacia	Área Km²	Cota de montante (m)	Cota de Jusante (m)	Comp. do Talvegue (km)	concentração	retardo	Média	DE SOLOS POR SUB - BACIA HIDROGRÁFICA				Ocupação	
					(h)	(min)	(m/s)	A	B	C	D	Predominante	
JA1	17,59	1335,0	790,0	13,3	2,5	90	1,5	15,0	40,3	19,7	25,0	Rural	72
JA2	49,23	1250,0	790,0	15,1	2,9	105	1,4	15,0	40,3	19,7	25,0	Rural	72
JA3	21,12	915,0	790,0	8,4	2,1	77	1,1	15,0	40,3	19,7	25,0	Rural	72
JA4	44,84	1020,0	770,0	16,8	3,6	131	1,3	15,0	40,3	19,7	25,0	Rural	72
JA5	82,66	1070,0	770,0	15,3	3,2	115	1,3	15,0	40,3	19,7	25,0	Rural	72

## 11.2. Hidrogramas de Projeto

As simulações do processo chuva-vazão das sub-bacias afluentes aos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri no trecho imediatamente a jusante dos aproveitamentos foram desenvolvidas para as tormentas de projeto de 12 ou 24 horas de duração e períodos de retorno de 50 e 100 anos.

As Figuras 60 a 67 apresentam os hidrogramas resultantes das sub-bacias afluentes aos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri no trecho imediatamente a jusante dos aproveitamentos para tormentas com períodos de retorno de 50 e 100 anos com duração de 24 horas no primeiro e 12 horas nos demais. As Figuras 68 a 75 apresentam os hidrogramas ao longo dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri no trecho imediatamente a jusante dos aproveitamentos para períodos de retorno de 50 e 100 anos. A legenda indica as seções topobatimétricas dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri onde seriam observadas a composição dos hidrogramas nas sub-bacias.

A Tabela 40 apresenta a síntese dos resultados das simulações do processo chuva-vazão e da composição dos hidrogramas das sub-bacias ao longo dos rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Juqueri fornecendo, para cada condição hidrológica, as vazões de pico dos hidrogramas resultantes nas seções topobatimétricas de interesse.

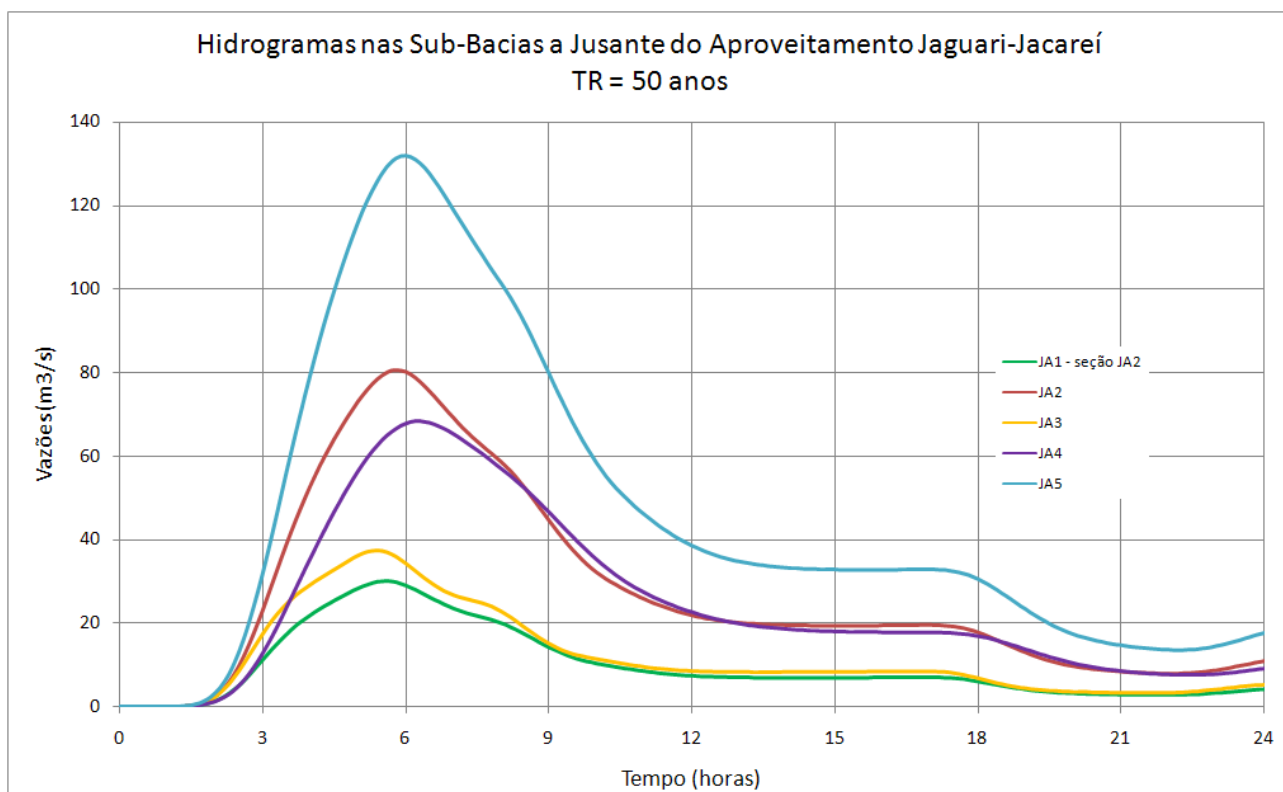


FIGURA 60

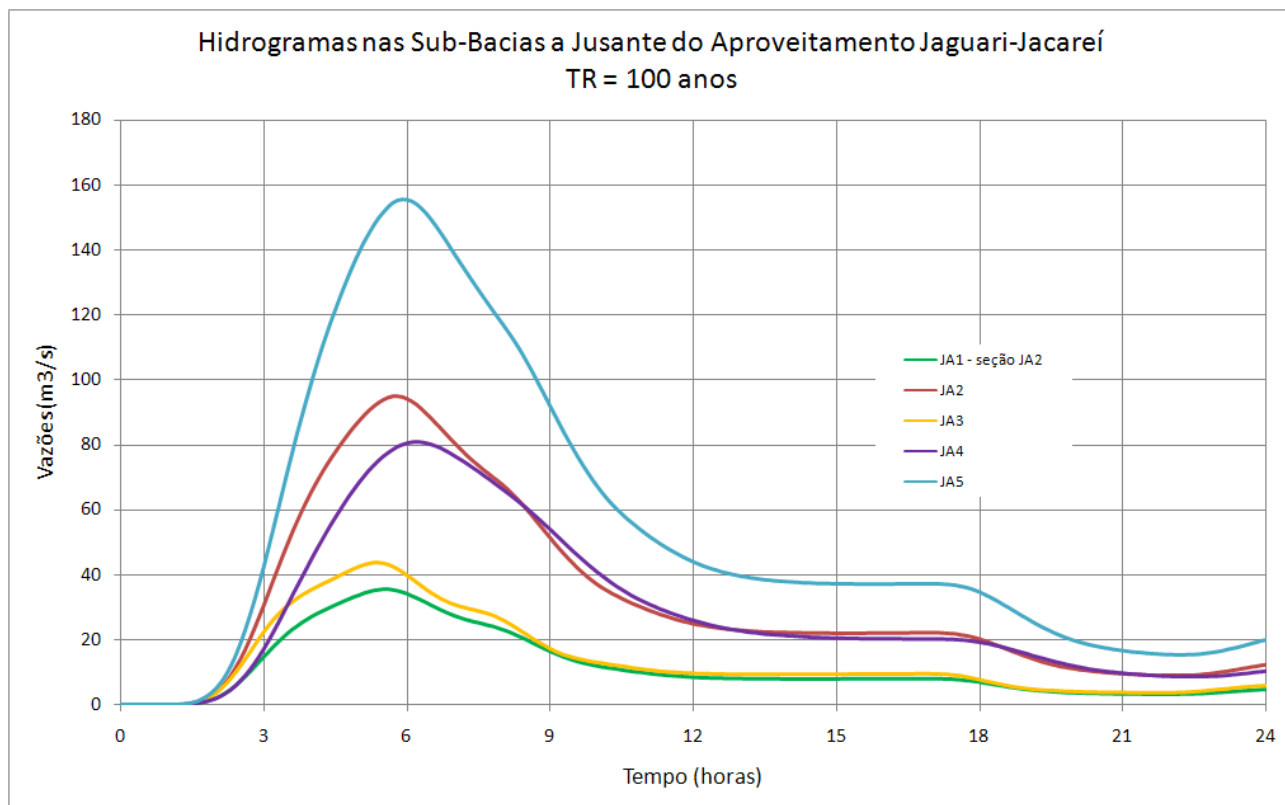


FIGURA 61

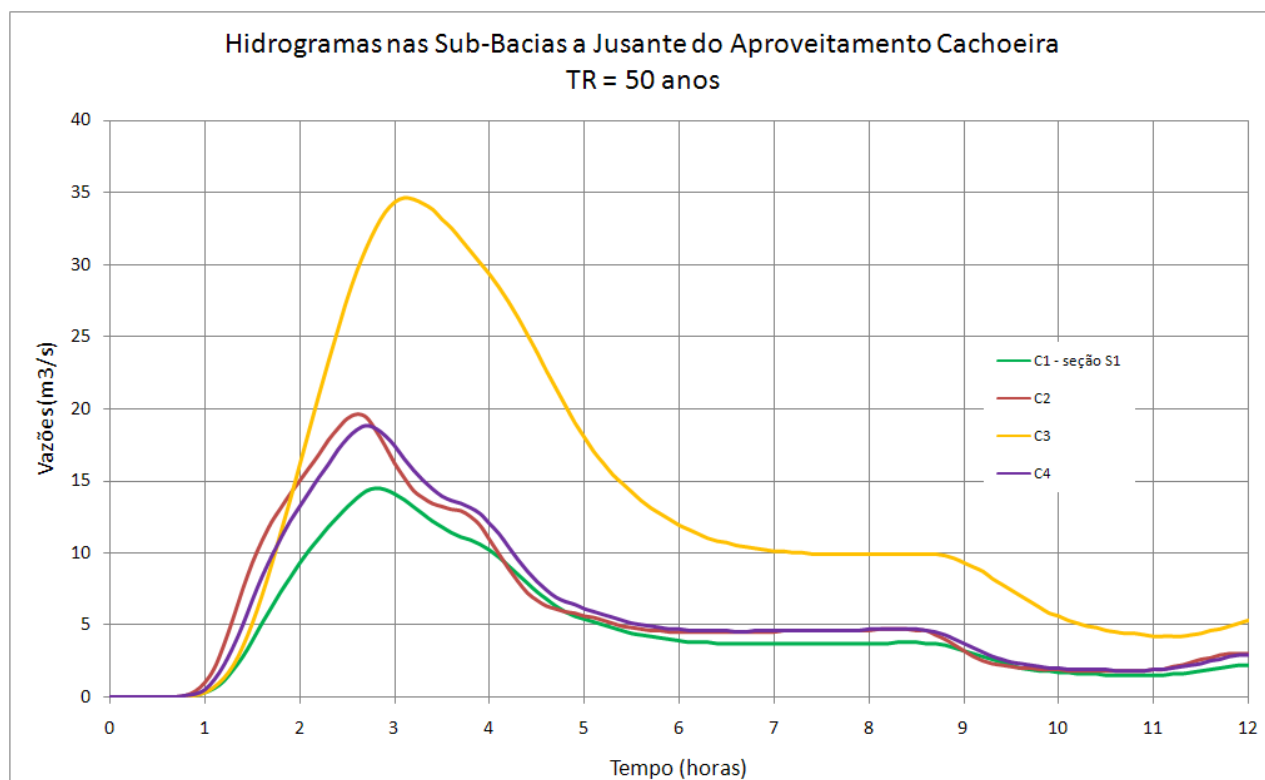


FIGURA 62

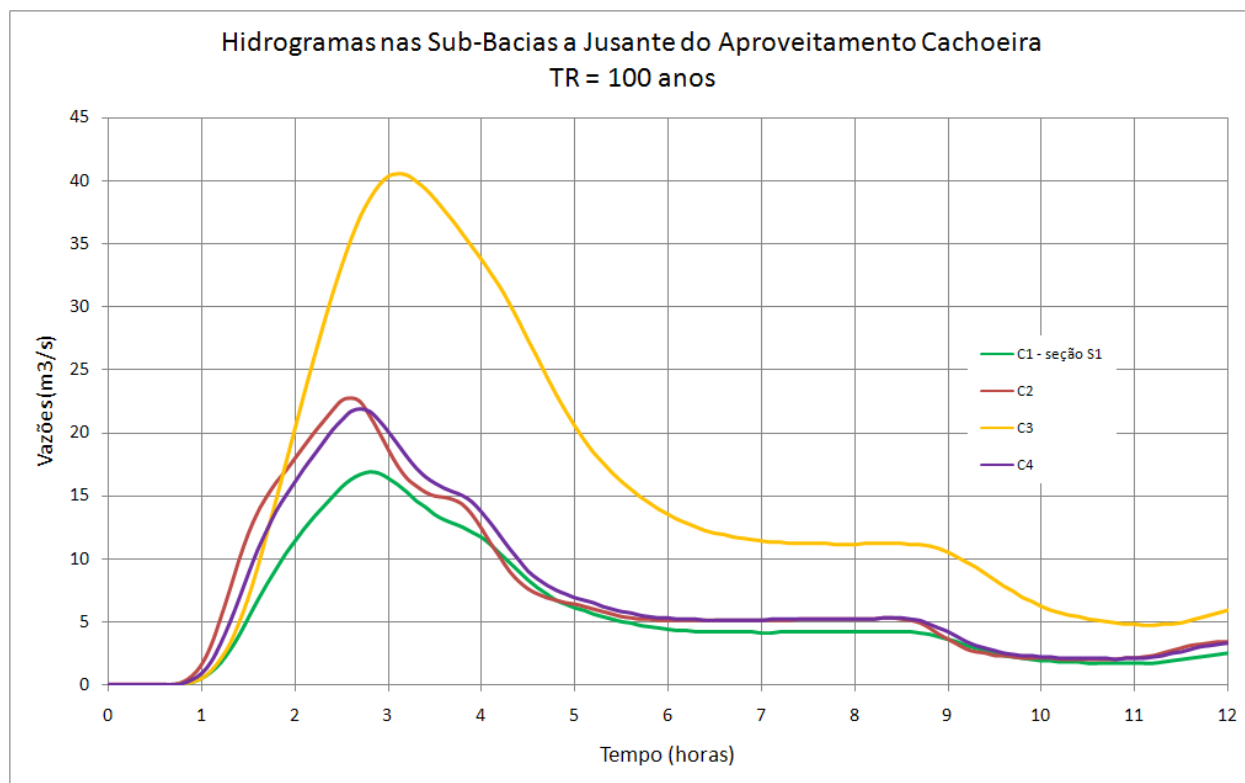


FIGURA 63

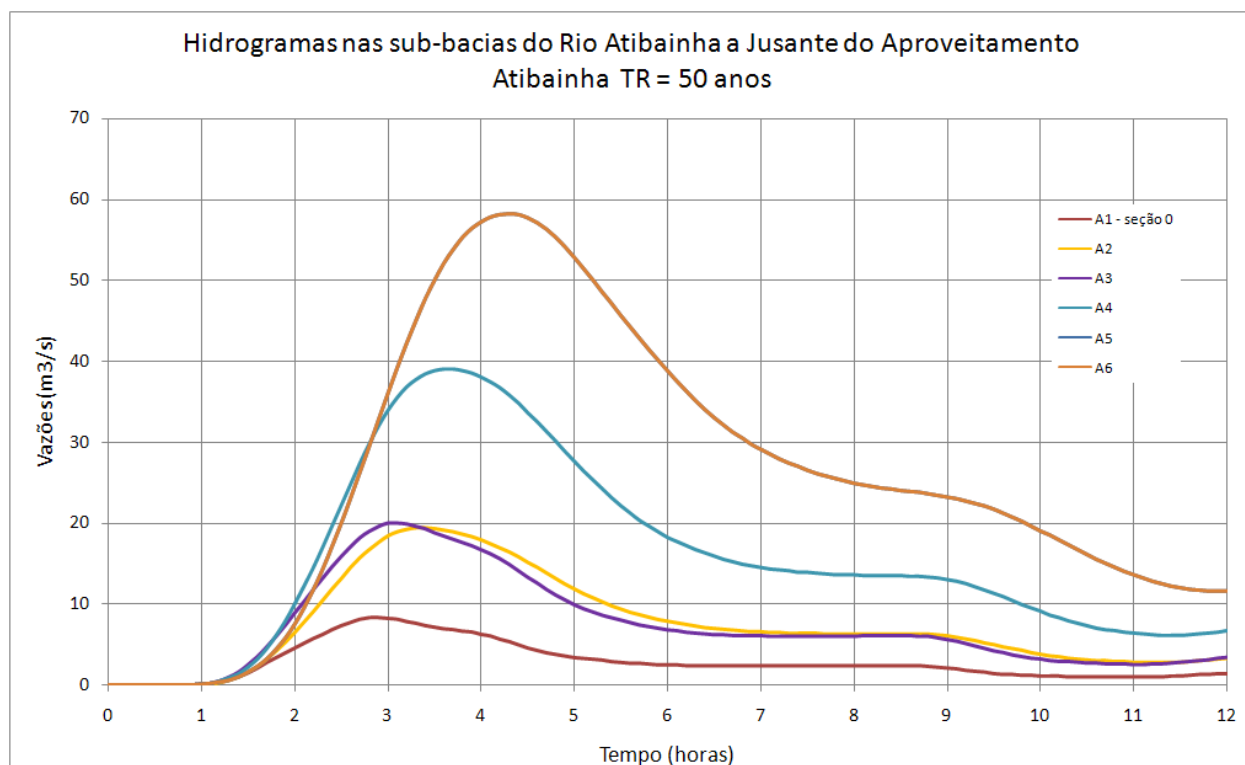


FIGURA 64

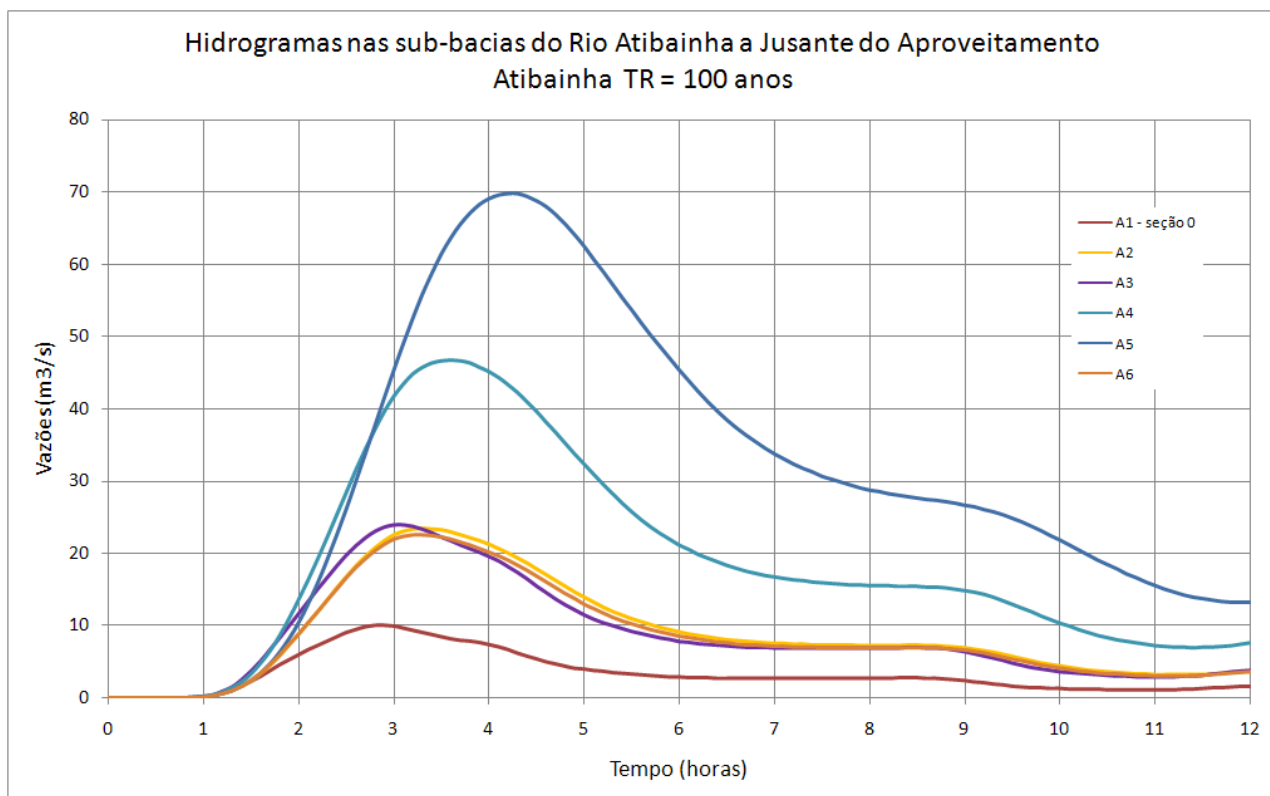


FIGURA 65



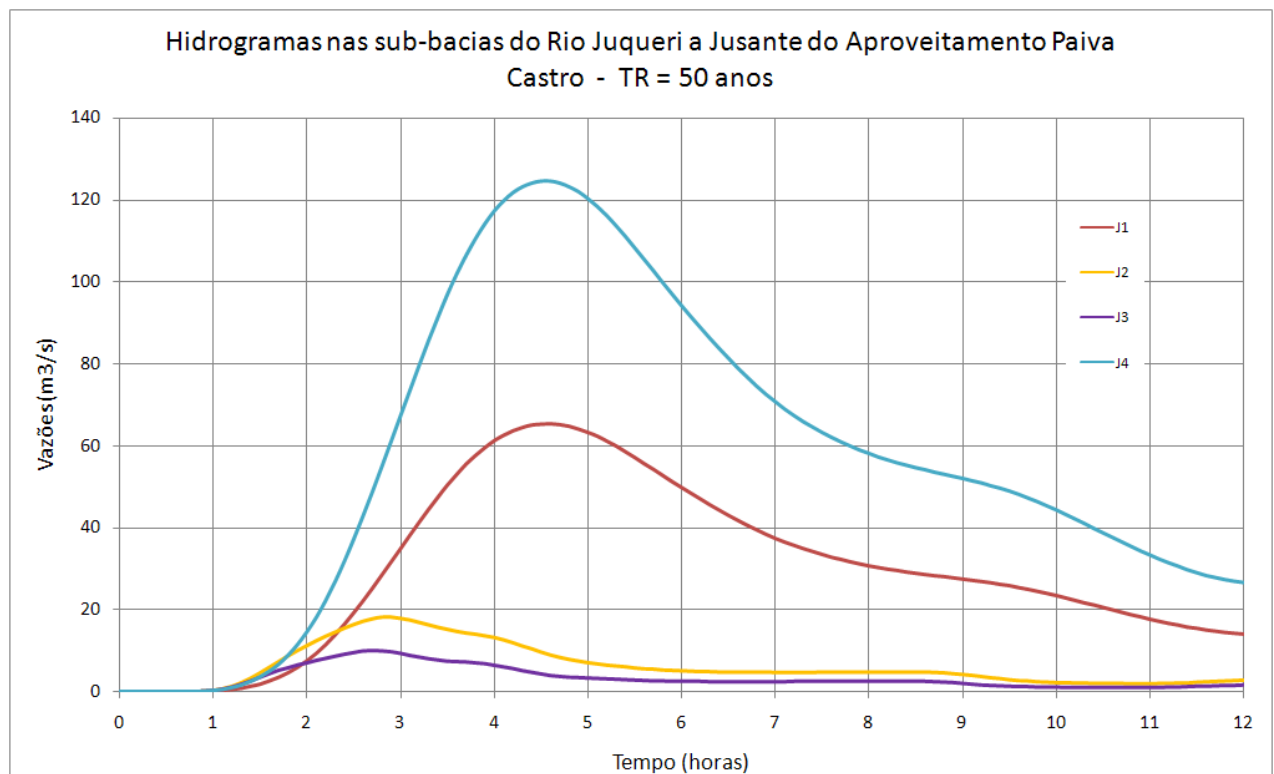


FIGURA 66

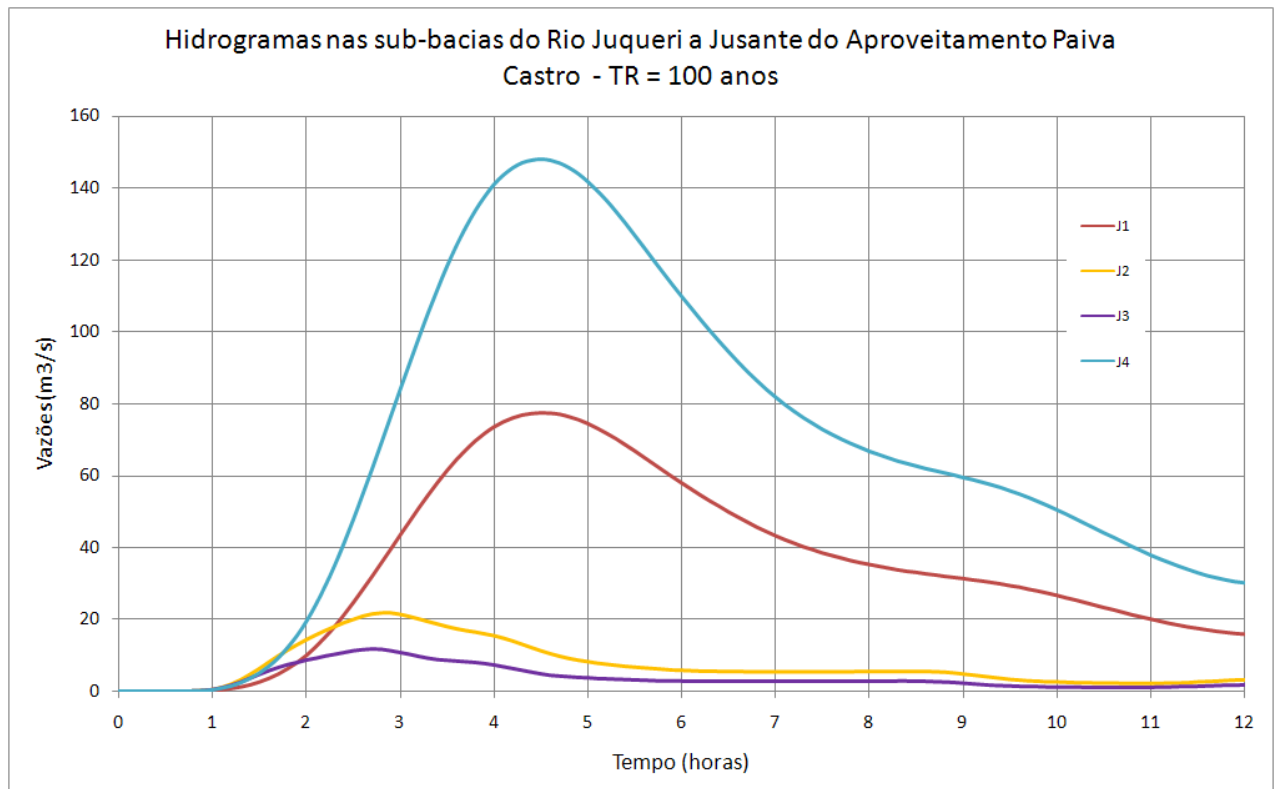


FIGURA 67

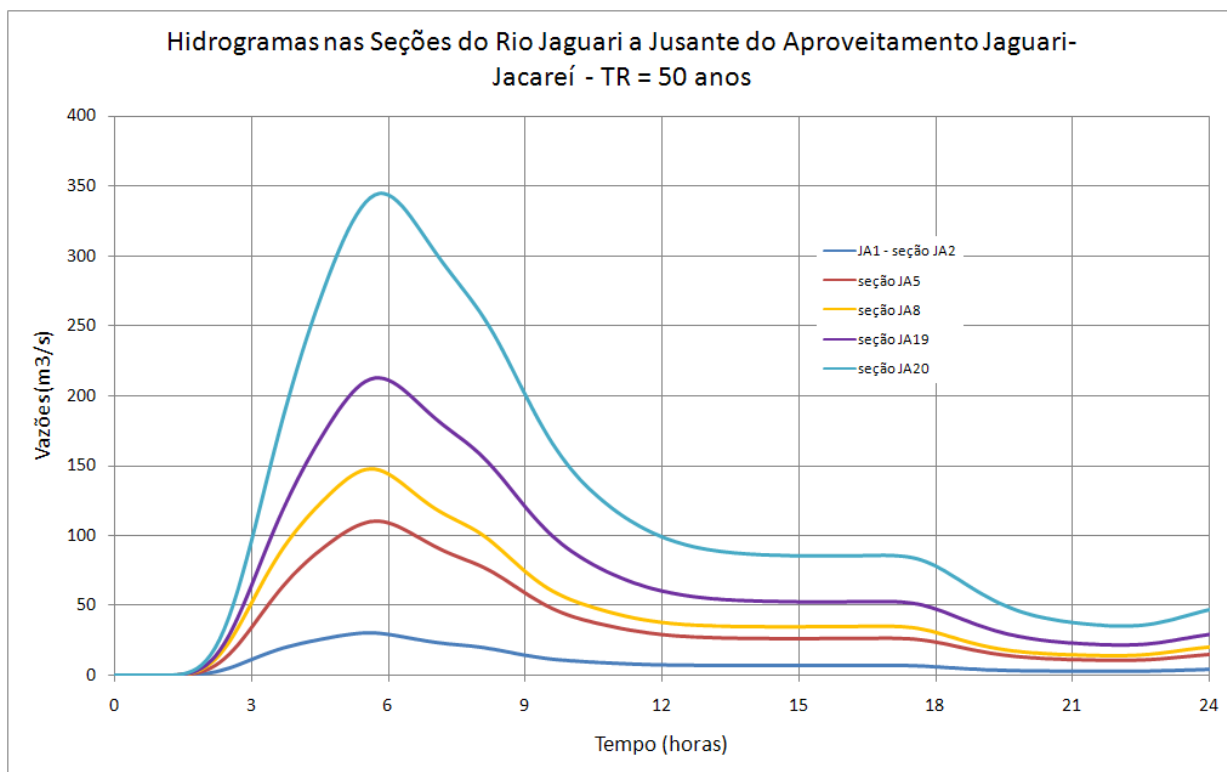


FIGURA 68

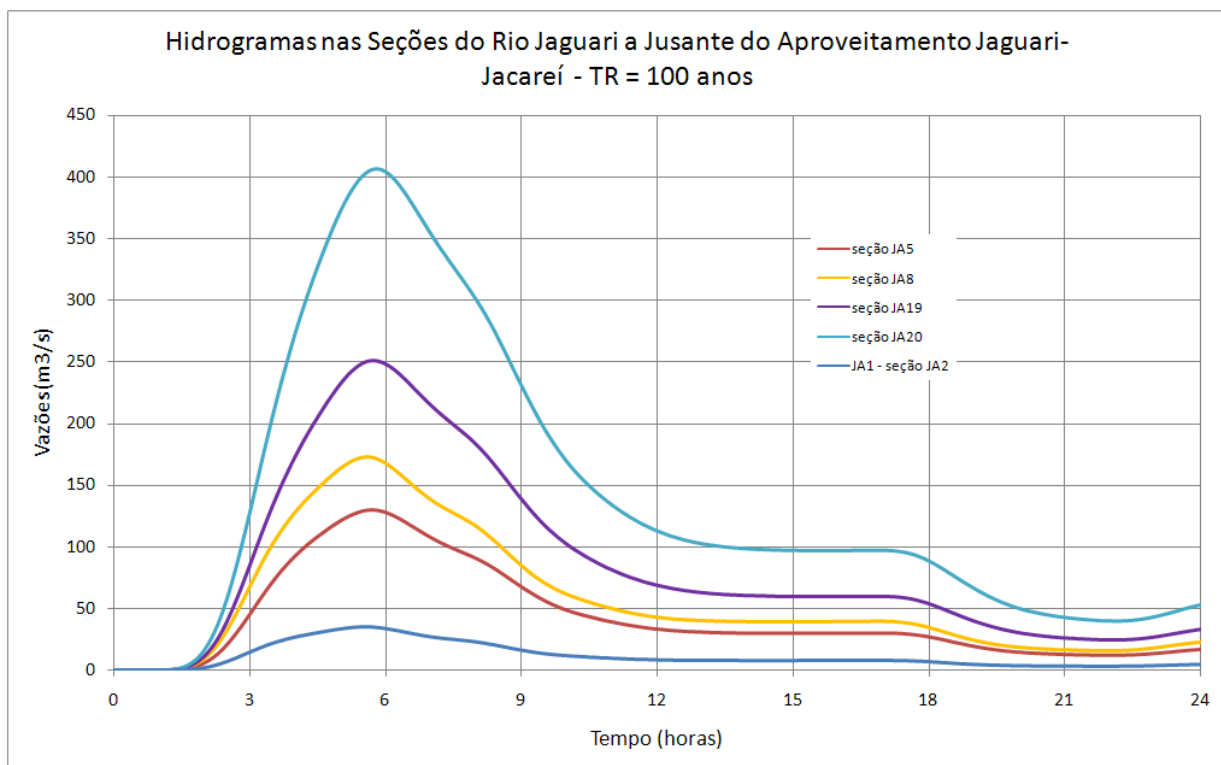


FIGURA 69

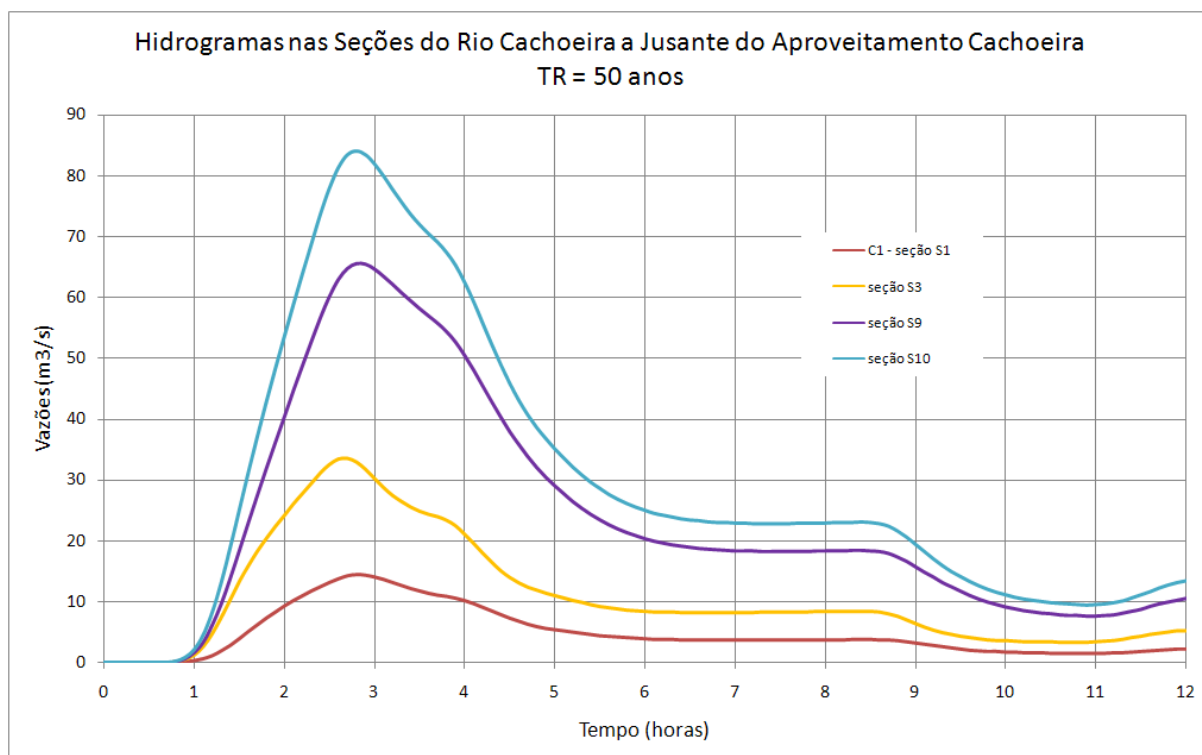


FIGURA 70

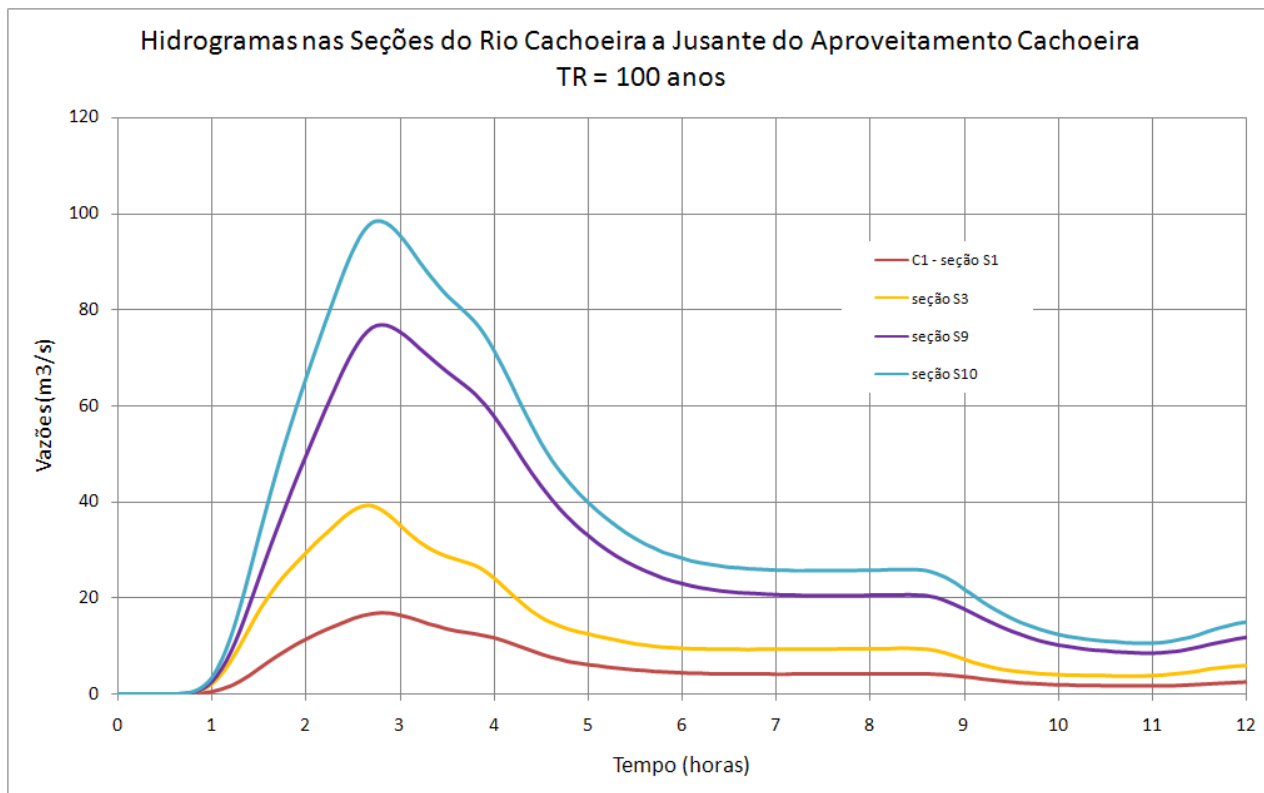


FIGURA 71

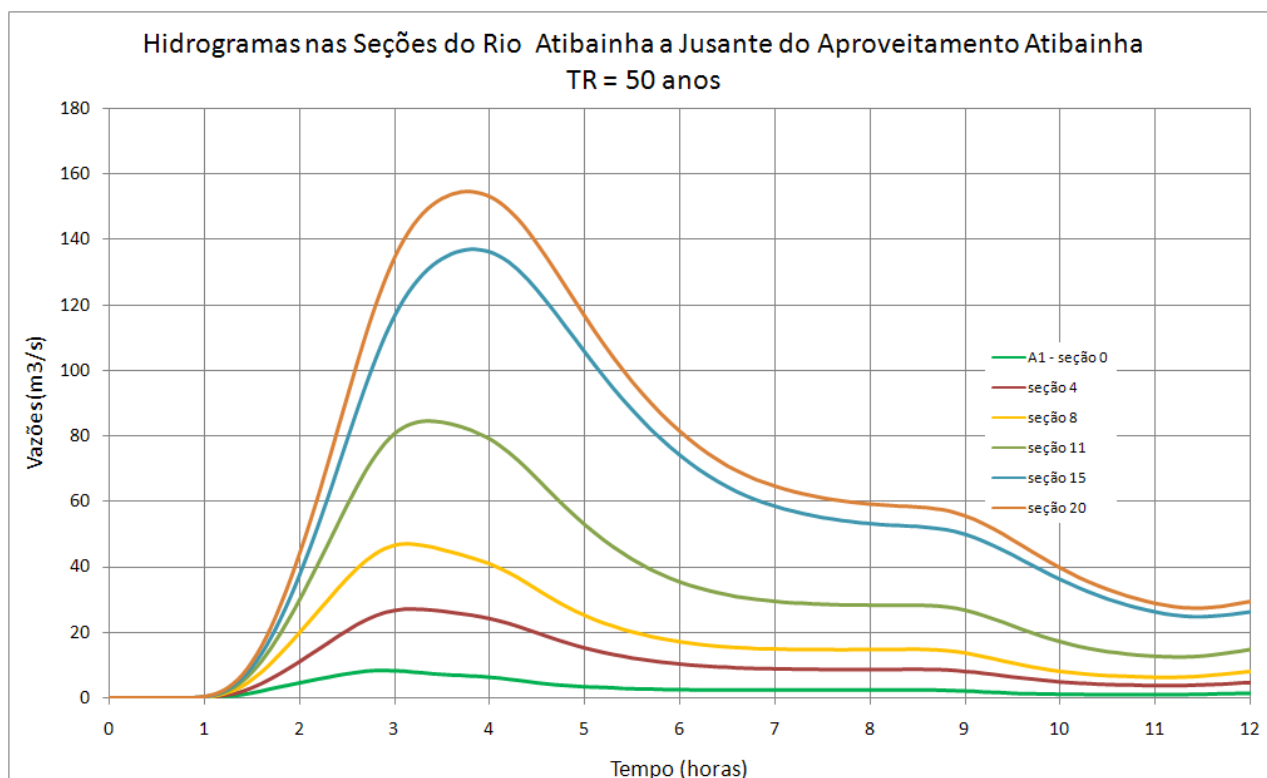


FIGURA 72

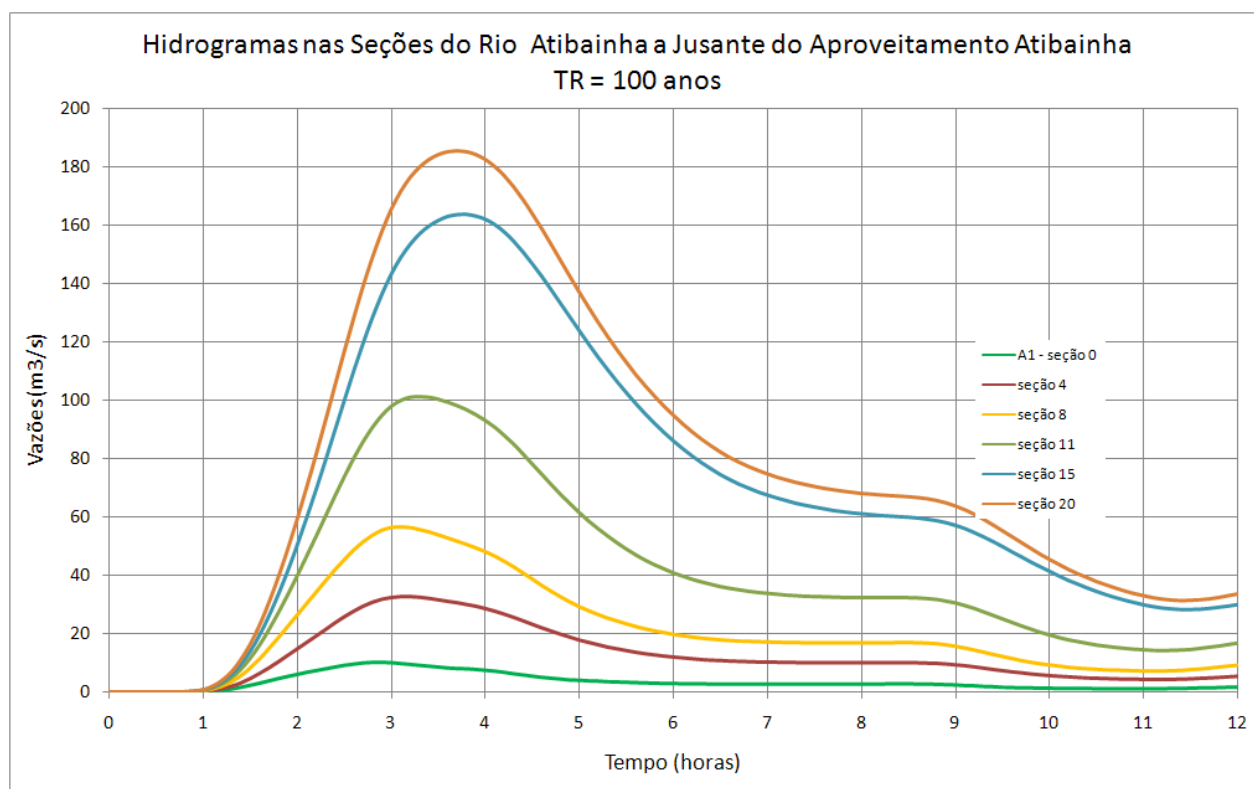


FIGURA 73

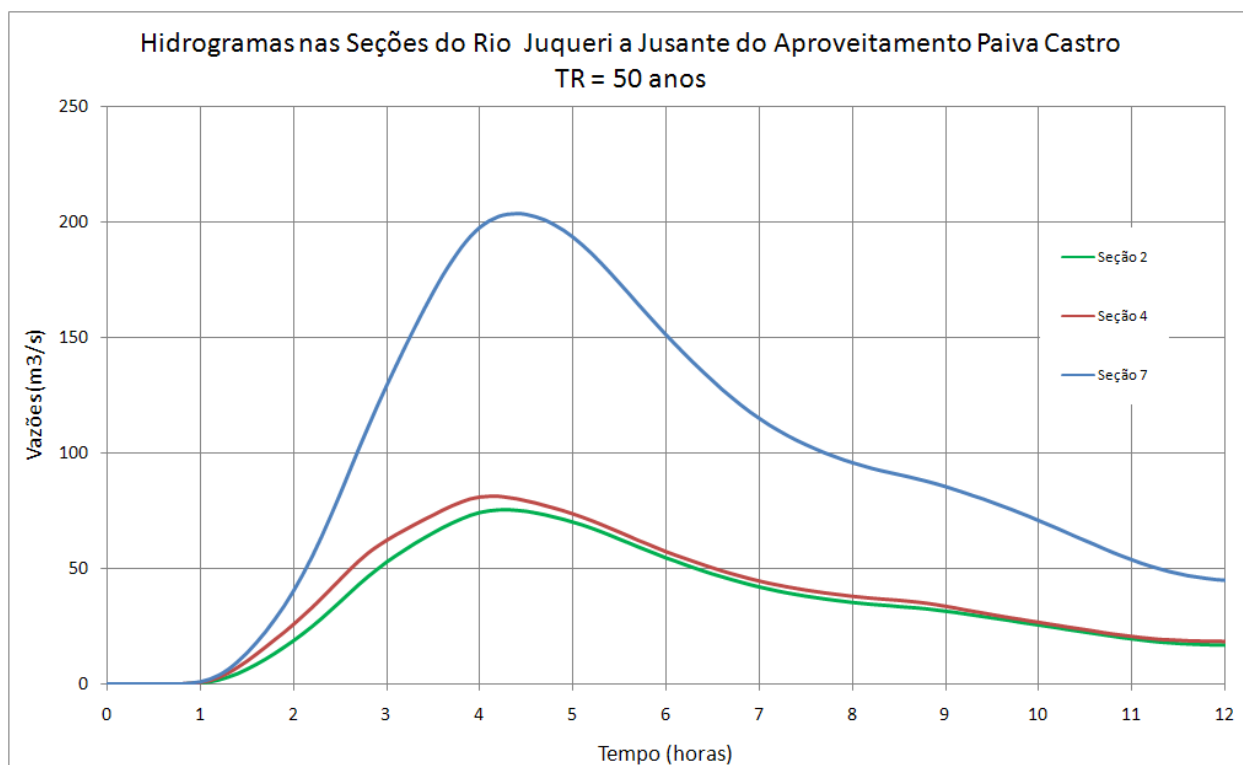


FIGURA 74

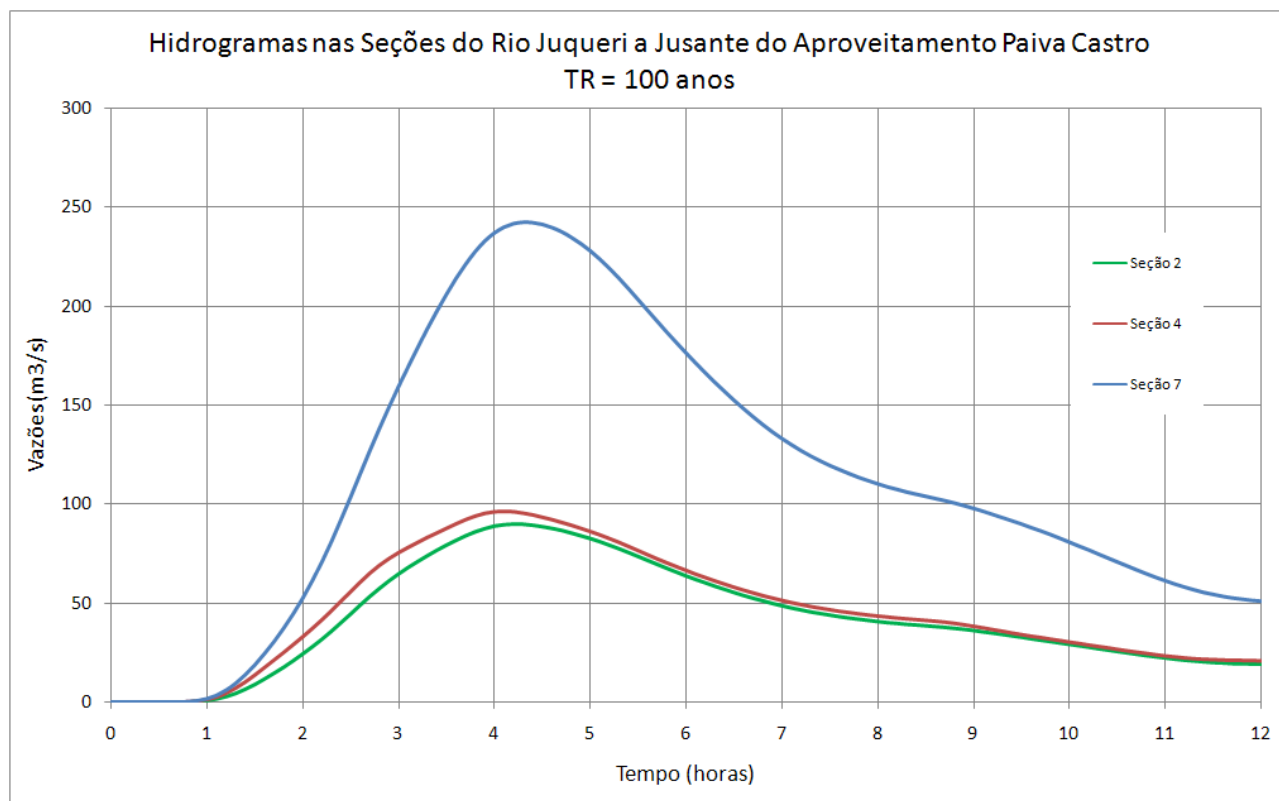


FIGURA 75

**TABELA 40 – VAZÕES DE PICO DOS HIDROGRAMAS GERADOS PELAS SUB-BACIAS NOS RIOS A JUSANTE DOS APROVEITAMENTOS DO SISTEMA CANTAREIRA**

	Vazões de Pico no rio Jaguari (m³/s)					
Período de Retorno da Tormenta	JA1 - seção JA2	seção JA5	seção JA8	seção JA19	seção JA20	
TR = 50 anos	30	111	147	213	344	
TR = 100 anos	35	130	173	252	407	
	Vazões de Pico no rio Cachoeira (m³/s)					
Período de Retorno da Tormenta	C1 - seção S1	seção S3	seção S9	seção S10		
TR = 50 anos	15	34	66	84		
TR = 100 anos	17	39	77	99		
	Vazões de Pico no rio Atibainha (m³/s)					
Período de Retorno da Tormenta	A1 - seção 0	seção 4	seção 8	seção 11	seção 15	seção 20
TR = 50 anos	8	27	47	85	137	155
TR = 100 anos	10	33	57	102	164	185
	Vazões de Pico no Juqueri (m³/s)					
Período de Retorno da Tormenta	Seção 2	Seção 4	Seção 7			
TR = 50 anos	76	81	204			
TR = 100 anos	90	97	243			

## 12. Análise dos Volumes de Espera

### 12.1. Vazões de Restrição

A vazão de restrição corresponde à vazão máxima efluente do reservatório que evita impactos a jusante. Desta forma a escolha da vazão de restrição  $Q_{\text{restrição}}$  de um aproveitamento deve considerar:

- as vazões geradas nas sub-bacias  $Q_{\text{sub-bacias}}$  que compõem a área não controlada no trecho imediatamente a jusante;
- vazões do trecho de rio acima das quais ocorrem impactos significativos  $Q_{\text{impacto}}$  como a inundação de áreas densamente povoadas ou infra-estrutura industrial ou comercial.

As vazões de restrição dos aproveitamentos não devem causar impactos maiores que aqueles que já serão gerados pelas sub-bacias que compõem a área não controlada no trecho de imediatamente a jusante. Esta é a premissa de eficiência do controle de cheias dos aproveitamentos.

A análise conjunta das vazões de restrição  $Q_{\text{restrição}}$ , das vazões geradas nas sub-bacias  $Q_{\text{sub-bacias}}$  e das vazões acima das quais ocorrem impactos significativos  $Q_{\text{impacto}}$  permitem verificar a eficiência do controle de cheias. A combinação destas variáveis pode resultar em uma das seguintes situações que permitem identificar a eficiência da vazão de restrição a ser selecionada:

- $Q_{\text{restrição}} < Q_{\text{impacto}}$  e  $Q_{\text{restrição}} > Q_{\text{sub-bacias}}$ : esta situação a operação não causa impacto adicional a jusante, mesmo tendo vazões de restrição superior àquelas geradas nas sub-bacias;
- $Q_{\text{restrição}} > Q_{\text{impacto}}$  e  $Q_{\text{restrição}} < Q_{\text{sub-bacias}}$ : esta situação a operação não causa impacto adicional a jusante, uma vez que as sub-bacias já geram vazões que superam a vazão limite de impacto;
- $Q_{\text{restrição}} < Q_{\text{impacto}}$  e  $Q_{\text{restrição}} < Q_{\text{sub-bacias}}$ : esta situação a operação não causa impacto adicional a jusante, uma vez que estão abaixo da vazão limite de impacto e daquelas geradas nas sub-bacias;
- $Q_{\text{restrição}} > Q_{\text{impacto}}$  e  $Q_{\text{restrição}} > Q_{\text{sub-bacias}}$ : esta situação a operação causaria um impacto adicional na área não controlada no trecho imediatamente a jusante.

Desta forma as vazões de restrição dos aproveitamentos não devem, simultaneamente, superar o limite de impacto  $Q_{\text{impacto}}$  e àquelas geradas pelas sub-bacias  $Q_{\text{restrição}}$ .

Para a determinação das vazões de restrição foram determinadas as vazões ou limites de impacto com base na análise dos desenhos das manchas de inundação. As vazões de pico dos

hidrogramas gerados nas sub-bacias que compõem a área não controlada no trecho imediatamente a jusante foram apresentadas na Tabela 40. As Tabelas 41 a 44 apresentam as vazões ou limites de impacto e as vazões de pico geradas nas sub-bacias ao longo dos trechos dos rios Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri. As vazões de pico geradas nas sub-bacias acima dos limites de impacto estão destacadas em fundo vermelho indicando que ocorrerão impactos ou inundações independentemente das vazões de restrição.

**TABELA 41 – VAZÕES LIMITES DE IMPACTO E VAZÕES DE PICO GERADAS NAS SUB-BACIAS AO LONGO DOS RIOS JAGUARI E JACAREÍ**

seção	distância acumulada (m)	Vazão ou Limite de Impacto (m <sup>3</sup> /s)	Vazão de Pico das Sub-Bacias (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s)
barragem	0	200	44	200
Jac1	555	200	44	200
Jac2	1.463	200	44	200
Jac3	2.806	200	44	200
Jac4	3.670	200	44	200
Jac5	4.532	200	44	200
Jac6	6.444	200	44	200
confluência Jaguari	6.679	200	44	200

seção	distância acumulada (m)	Vazão ou Limite de Impacto (m <sup>3</sup> /s)	Vazão de Pico das Sub-Bacias (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s)
barragem	0	200	0	200
Jag1	871	200	35	200
Jag2	1.755	200	35	200
Jag3	2.770	200	35	200
Jag4	3.837	200	35	200
Jag5	4.997	200	130	200
Jag6	5.634	200	130	200
Jag7	6.690	200	130	200
Jag8	8.137	200	173	200
Jag9	8.746	200	173	200
Jag10	9.513	200	173	200
Jag11	10.727	200	173	200
Jag12	12.266	100	173	173
Jag13	13.581	200	173	200
Jag14	14.625	200	173	200
Jag15	15.157	200	173	200
Jag16	15.931	200	173	200
Jag17	17.082	200	173	200
Jag18	19.322	200	173	200
Jag19	20.350	200	252	252
Jag 20	20.688	200	407	407

XXXXX	indica que a área estará inundada independentemente da vazão de restrição			
-------	---	--	--	--



**TABELA 42 – VAZÕES LIMITES DE IMPACTO E VAZÕES DE PICO GERADAS NAS SUB-BACIAS AO LONGO DO RIO CACHOEIRA**

seção	distância acumulada (m)	Vazão ou Limite de Impacto (m³/s)	Vazão de Pico das Sub-Bacias (m³/s)	Vazão Máxima (m³/s)
barragem	0	60	0	60
Posto 3E-116T (Captação)	1.648	60	0	60
Cac1	1.734	60	17	60
Cac2	2.214	60	17	60
Cac3	3.166	60	39	60
Cac4	4.366	10	39	39
Posto Cravovana	4.805	10	39	39
Cac5	5.497	10	39	39
Cac6	6.717	10	39	39
Cac7	7.595	10	39	39
Cac8	8.879	40	39	40
Cac9	9.603	40	77	77
Cac10	10.557	40	99	99
Cac11	11.202	40	99	99
XXXXX	indica que a área estará inundada independentemente da vazão de restrição			

**TABELA 43 – VAZÕES LIMITES DE IMPACTO E VAZÕES DE PICO GERADAS NAS SUB-BACIAS AO LONGO DO RIO JUQUERI**

seção	distância acumulada (m)	Vazão ou Limite de Impacto (m³/s)	Vazão de Pico das Sub-Bacias (m³/s)	Vazão Máxima (m³/s)
barragem	0	50	0	50
Pc1	1.158	50	0	50
Pc2	2.248	20	90	90
Pc3	3.290	50	90	90
S1PONTE	3.375	50	90	90
S2PONTE	3.811	50	90	90
Pc4	4.299	50	97	97
Pc5	5.407	50	97	97
S3PONTE	5.488	50	97	97
Pc6	6.181	50	97	97
Pc7	7.279	50	243	243
posto 3E-109	7.678	50	243	243
XXXXX	indica que a área estará inundada independentemente da vazão de restrição			

**TABELA 44 – VAZÕES LIMITES DE IMPACTO E VAZÕES DE PICO GERADAS NAS SUB-BACIAS AO LONGO DO RIO ATIBAINHA**

seção	distância acumulada (m)	Vazão ou Limite de Impacto (m <sup>3</sup> /s)	Vazão de Pico das Sub-Bacias (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s)
barragem	0	20	0	20
AT00	166	20	0	20
AT1	1.229	20	10	20
AT2	1.995	20	10	20
AT3	2.585	20	10	20
AT4	4.051	20	33	33
AT5	4.568	20	33	33
AT6	5.752	20	33	33
AT8	8.322	20	57	57
AT9	9.479	20	57	57
AT10	11.416	20	57	57
S30	12.047	20	57	57
AT11	12.521	20	102	102
AT12	13.522	10	102	102
AT14	15.757	20	102	102
AT15	16.239	2	164	164
AT16	17.718	10	164	164
AT17	18.326	20	164	164
AT20	22.110	20	185	185
AT21	22.809	20	185	185
AT22	23.557	20	185	185
AT23	24.509	20	185	185
AT24	26.114	20	185	185
AT25	27.440	20	185	185
AT26	27.989	20	185	185
AT27	29.327	20	185	185
XXXXX	indica que a área estará inundada independentemente da vazão de restrição			

A análise das Tabelas 41 a 44 permitem concluir que:

**rios Jaguari e Jacaré:** a operação de controle de cheias poderia causar benefícios na região da seção JAG12 que apresenta um pequeno núcleo habitacional com baixíssima densidade populacional. No entanto as sub-bacias da área não controlada geram hidrogramas cujas vazões de pico de 173 m<sup>3</sup>/s superam o limite de impacto de 100 m<sup>3</sup>/s. No entanto existem áreas a montante com baixa densidade populacional que requerem uma vazão de restrição de 200 m<sup>3</sup>/s.

**rio Cachoeira:** a operação de controle de cheias poderia causar benefícios na região imediatamente a jusante do aproveitamento, entre a barragem e a seção CAC4. Esta região não apresenta núcleos populacionais, ficando à montante da cidade de Piracaia. Na região da cidade de

Piracaia as sub-bacias da área não controlada geram hidrogramas cujas vazões de pico superam significativamente os limites de impacto de 10 e 40 m<sup>3</sup>/s. A margem esquerda do rio Cachoeira na região da cidade de Piracaia sofrerá inundações decorrentes dos hidrogramas das sub-bacias independentemente das vazões de restrição do aproveitamento. Desta forma a operação de controle de cheias não será eficiente para evitar as inundações e impactos do rio Cachoeira a jusante do aproveitamento.

**rio Atibainha:** a operação de controle de cheias poderia causar benefícios na região imediatamente a jusante do aproveitamento, entre a barragem e a seção AT3. Esta região não apresenta núcleos populacionais, ficando à montante da área urbanizada da cidade de Nazaré Paulista. Nas áreas urbanas de Nazaré Paulista e Bom Jesus dos Perdões as sub-bacias da área não controlada geram hidrogramas cujas vazões de pico superam significativamente os limites de impacto de 2 a 20 m<sup>3</sup>/s. A margem esquerda do rio Atibainha nas áreas urbanas de Nazaré Paulista e Bom Jesus dos Perdões sofrerão inundações decorrentes dos hidrogramas das sub-bacias independentemente das vazões de restrição do aproveitamento. Desta forma a operação de controle de cheias não será eficiente para evitar as inundações e impactos do rio Atibainha a jusante do aproveitamento.

**rio Juqueri:** a operação de controle de cheias poderia causar benefícios na região imediatamente a jusante do aproveitamento, entre a barragem e a seção PC1. Esta região não apresenta núcleos populacionais, ficando à montante da área urbanizada da cidade de Franco da Rocha. Os impactos referem-se às instalações da SABESP. Na área urbana de Franco da Rocha as sub-bacias da área não controlada geram hidrogramas cujas vazões de pico superam significativamente os limites de impacto de 20 e 50 m<sup>3</sup>/s. A margem direita do rio Juqueri na região urbana de Franco da Rocha sofrerá inundações decorrentes dos hidrogramas das sub-bacias independentemente das vazões de restrição do aproveitamento. Desta forma a operação de controle de cheias não será eficiente para evitar as inundações e impactos do rio Juqueri a jusante do aproveitamento Paiva Castro.

## 12.2. Modelagem Computacional e Simulações

Os estudos hidrológicos para análise do volume de espera dos reservatórios do Sistema Cantareira foram complementados analisando os aspectos de controle de cheias, entendidos como a capacidade de garantir vazões efluentes que não superem as vazões de restrição.

Para esta análise foram feitas a modelagem computacional e as simulações da operação dos reservatórios considerando os hidrogramas de cheia com período de retorno de 100 anos. Para a modelagem computacional foram utilizadas as relações cota x volume dos reservatórios e as relações cota x descarga máxima dos vertedouros.

As análises iniciais não consideraram volumes de espera nos reservatórios, de forma a avaliar os benefícios e verificar os NA máximos que seriam atingidos nesta operação. Posteriormente foram consideradas 4 alternativas de volume de espera, estabelecidas em função do volume do reservatório e das vazões de restrição. Assim, a condição inicial correspondeu à cota do NA que resulta no volume de espera considerado.

Em função das análises apresentadas as vazões de restrição dos aproveitamentos Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro utilizadas foram, respectivamente, de 200, 60, 20 e 50 m<sup>3</sup>/s. Foram consideradas 4 alternativas de volume de espera que, acrescidas da condição sem volume de espera, resultou em 20 simulações da operação dos reservatórios para controle de cheias.

A operação de controle de cheias procura manter as vazões efluentes iguais às vazões de restrição limitada à capacidade hidráulica das estruturas hidráulicas. Desta forma, quando o reservatório está baixo a capacidade hidráulica pode ser menor que a vazão de restrição. Quando o NA do reservatório é elevado, pelo armazenamento das afluições, a capacidade hidráulica aumenta e gradativamente supera a vazão de restrição. Neste caso as comportas são manobradas para manter vazões defluentes iguais à vazão de restrição.

As Figuras 76 a 79 apresentam as relações cota x descarga propostas em operação livre e em operação de controle de cheias para os aproveitamentos Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro. Estas figuras incluem as relações cota x descarga das estruturas hidráulicas permitindo verificar a adequação e as limitações da operação. É importante ressaltar as operações de controle de cheias nos aproveitamentos Cachoeira e Atibainha são muito limitadas uma vez que o vertedor tulipa é livre.

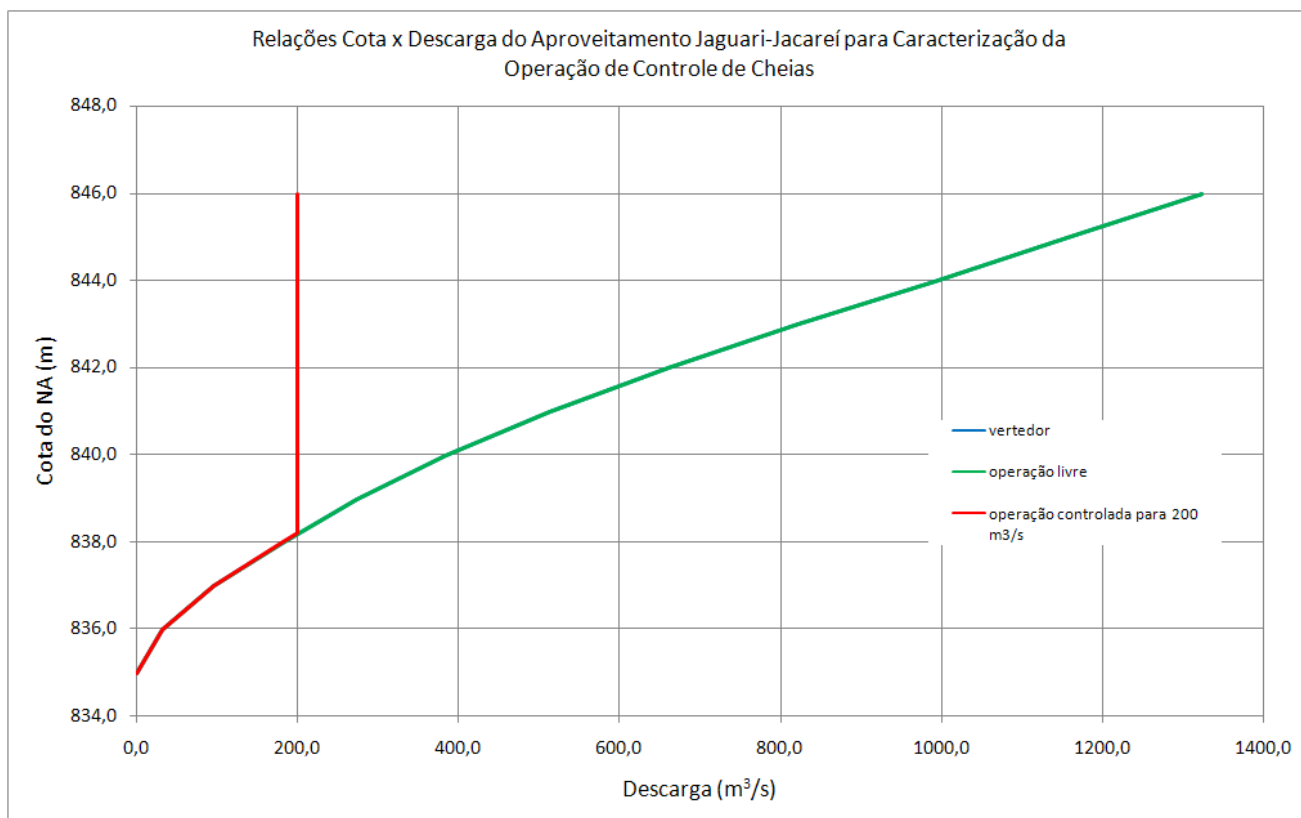


FIGURA 76

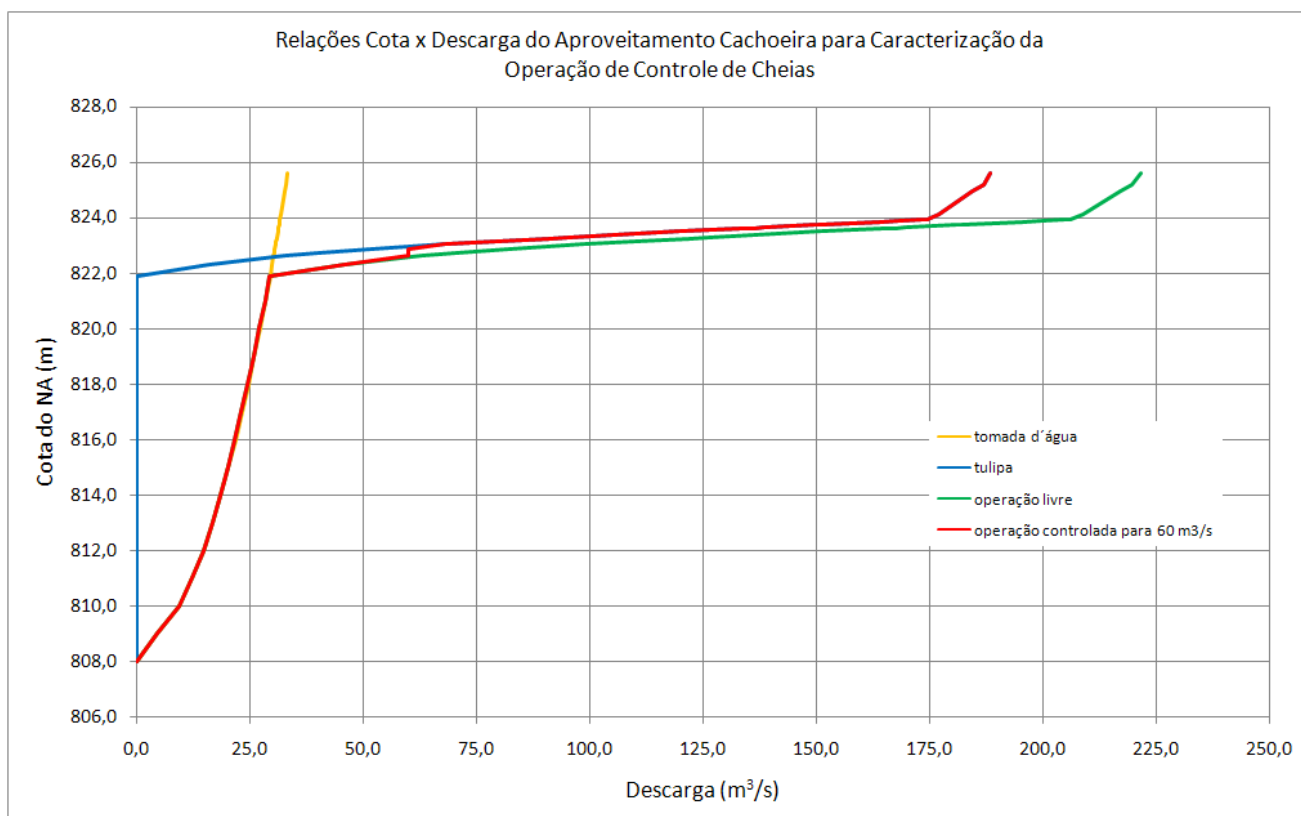


FIGURA 77

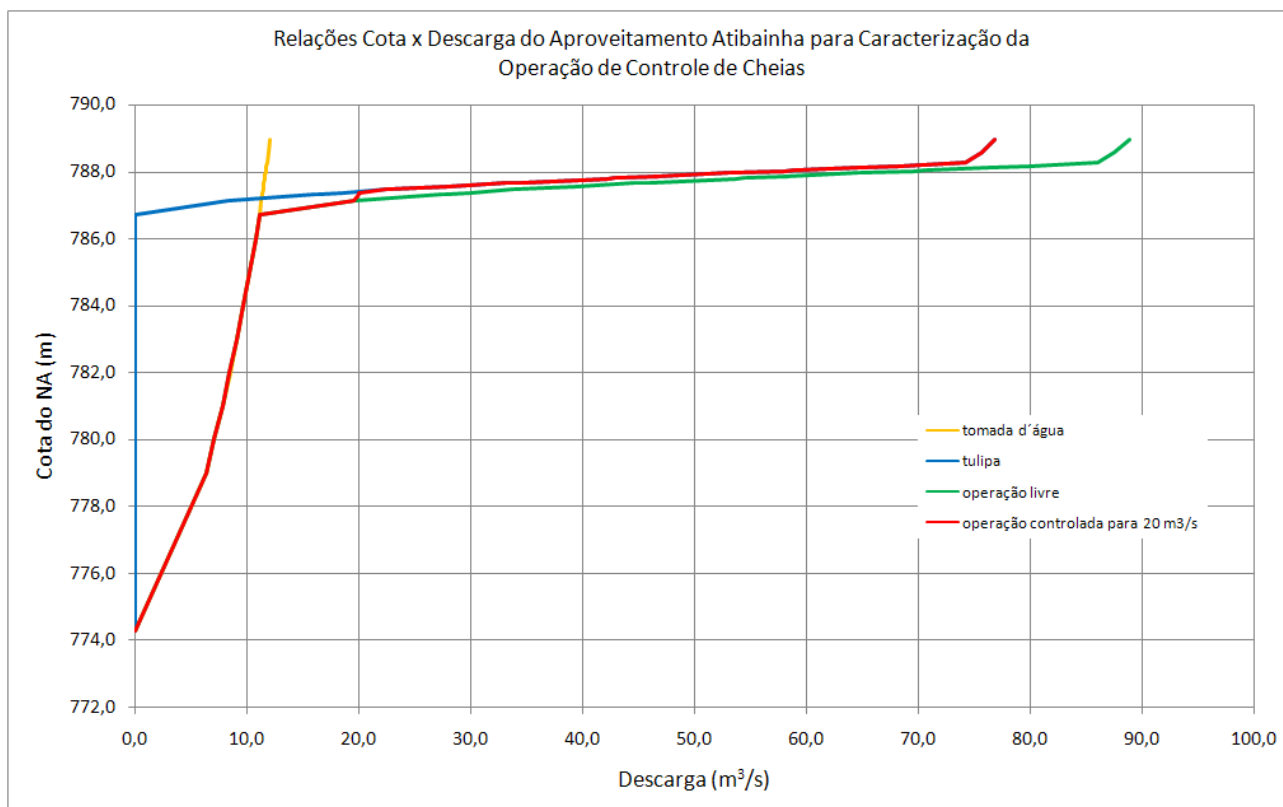


FIGURA 78

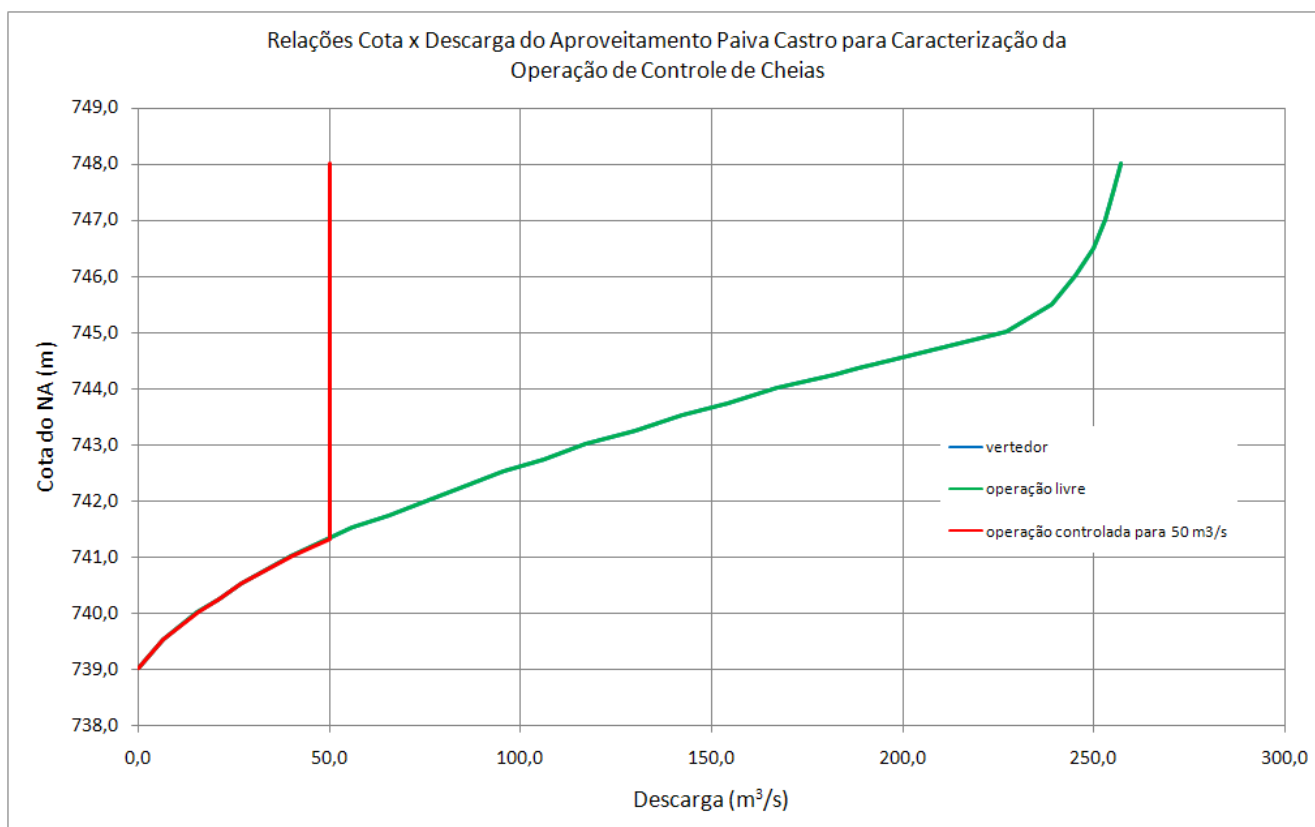


FIGURA 79

Para a análise da operação de controle de cheias foi desenvolvida a modelagem matemática-computacional da operação proposta. A modelagem matemática é regida pela equação da continuidade, conforme desenvolvido a seguir:

$$Q_{afl_t} - Q_{efl_t} = \frac{\Delta V_t}{\Delta t}$$

onde:

$Q_{afl_t}$  é a vazão afluyente em um determinado instante  $t$ ;

$Q_{efl_t}$  é a vazão defluente em um determinado instante  $t$ ;

$\Delta V_t$  é a variação de volume do reservatório entre o instante anterior e o instante  $t$ ;

$\Delta t$  é o intervalo de tempo da simulação.

As vazões afluentes correspondem ao hidrograma de projeto associado a um período de retorno de 100 anos. As vazões efluentes são determinadas em função do NA do reservatório limitadas pela capacidade das estruturas hidráulicas conforme apresentado nas Figuras 76 a 79. Na operação de controle de cheias com comportas as vazões efluentes são o mínimo entre a capacidade hidráulica e a vazão de restrição. As variações de volume são determinadas pela diferença do volume do reservatório no início e no final do intervalo de simulação. O volume é determinado em função do NA do reservatório utilizando a relação cota x volume do aproveitamento.

O processo de cálculo é desenvolvido de forma iterativa para determinar o NA do reservatório ao final de cada intervalo de tempo que satisfaça a equação da continuidade.

A Tabela 45 apresenta uma síntese dos resultados obtidos nas 20 simulações de controle de cheias dos reservatórios do Sistema Cantareira. Para cada aproveitamento são informadas as principais características físicas do reservatório e os resultados das simulações para a cheia com período de retorno de 10.000 anos. Em seguida são apresentados os NA iniciais, os volumes de espera e a percentagem de comprometimento do volume útil do reservatório, fornecendo um indicativo do impacto na regularização. Para cada volume de espera e vazão de restrição são apresentados os NA máximos atingidos pelo reservatório na operação de controle de cheias para o hidrograma com período de retorno de 100 anos.

**TABELA 45 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA CANTAREIRA**

Reservatório Juqueri-Paiva Castro						
NA máximo normal (m) =			745,61	Cota de Coroamento da Barragem (m) =		750,24
Volume no NA máximo normal (hm³) =			32,94	NA máximo na cheia decamilenar (m) =		749,44
Volume Útil (hm³) =			7,64	Vazão Máxima Efluente (m³/s) =		264,0
NA inicial (m)	Volume de Espera (hm³)	Volume de Espera / Volume Útil (%)	NA máximo no reservatório (m)			
			Operação sem controle de cheias		Operação com controle de cheias	
			NA máximo no reservatório (m)	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	NA máximo no reservatório (m)	Vazão Máxima Efluente (m³/s)
745,61	0,00	0,00	746,639	251	748,326	50
745,00	2,72	35,65	746,193	247	747,888	50
744,75	3,78	49,45	746,036	245	747,701	50
744,50	4,83	63,25	745,877	243	747,515	50
744,25	5,84	76,41	745,727	242	747,326	50
Reservatório Atibainha						
NA máximo normal (m) =			786,72	Cota de Coroamento da Barragem (m) =		791,32
Volume no NA máximo normal (hm³) =			290,25	NA máximo na cheia decamilenar (m) =		788,02
Volume Útil (hm³) =			95,25	Vazão Máxima Efluente (m³/s) =		58
NA inicial (m)	Volume de Espera (hm³)	Volume de Espera / Volume Útil (%)	NA máximo no reservatório (m)			
			Operação sem controle de cheias		Operação com controle de cheias	
			NA máximo no reservatório (m)	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	NA máximo no reservatório (m)	Vazão Máxima Efluente (m³/s)
786,72	0,00	0,00	787,385	31	787,396	21
786,50	4,76	5,00	787,183	22	787,184	20
786,25	10,17	10,67	786,948	16	786,948	16
786,00	15,57	16,35	786,711	11	786,711	11
785,75	20,79	21,83	786,468	11	786,468	11
Reservatório Cachoeira						
NA máximo normal (m) =			821,88	Cota de Coroamento da Barragem (m) =		827,67
Volume no NA máximo normal (hm³) =			116,56	NA máximo na cheia decamilenar (m) =		825,21
Volume Útil (hm³) =			69,76	Vazão Máxima Efluente (m³/s) =		187
NA inicial (m)	Volume de Espera (hm³)	Volume de Espera / Volume Útil (%)	NA máximo no reservatório (m)			
			Operação sem controle de cheias		Operação com controle de cheias	
			NA máximo no reservatório (m)	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	NA máximo no reservatório (m)	Vazão Máxima Efluente (m³/s)
821,88	0,00	0,00	823,392	137	823,475	115
821,50	3,26	4,67	823,143	111	823,213	88
821,25	5,39	7,73	822,969	94	823,025	69
821,00	7,51	10,77	822,787	77	822,814	60
820,75	9,61	13,77	822,601	63	822,605	60
Reservatório Jaguari-Jacaré						
NA máximo normal (m) =			844,00	Cota de Coroamento da Barragem (m) =		847,00
Volume no NA máximo normal (hm³) =			1047,55	NA máximo na cheia decamilenar (m) =		845,11
Volume Útil (hm³) =			808,15	Vazão Máxima Efluente (m³/s) =		1.179,0
NA inicial (m)	Volume de Espera (hm³)	Volume de Espera / Volume Útil (%)	NA máximo no reservatório (m)			
			Operação sem controle de cheias		Operação com controle de cheias	
			NA máximo no reservatório (m)	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	NA máximo no reservatório (m)	Vazão Máxima Efluente (m³/s)
844,00	0,00	0,00	844,208	1034	845,015	200
843,50	24,55	3,04	843,754	956	844,528	200
843,00	49,10	6,08	843,306	880	844,041	200
842,50	72,93	9,02	842,436	804	843,555	200
842,00	96,75	11,97	842,436	725	843,069	200



### 12.3. Avaliação do Volume de Espera

Para estabelecer os volumes de espera dos reservatórios do Sistema Cantareira optou-se por um método que integrasse os aspectos de segurança hídrica dos aproveitamentos e o atendimento às vazões de restrição. A integração destes objetivos é necessária uma vez que, ao início da cheia, o operador do aproveitamento não conhece sua magnitude para tomar a decisão de operar para garantir a vazão de restrição ou a segurança da obra. Ressalta-se que diversos acidentes em barragens resultaram desta indecisão da operação.

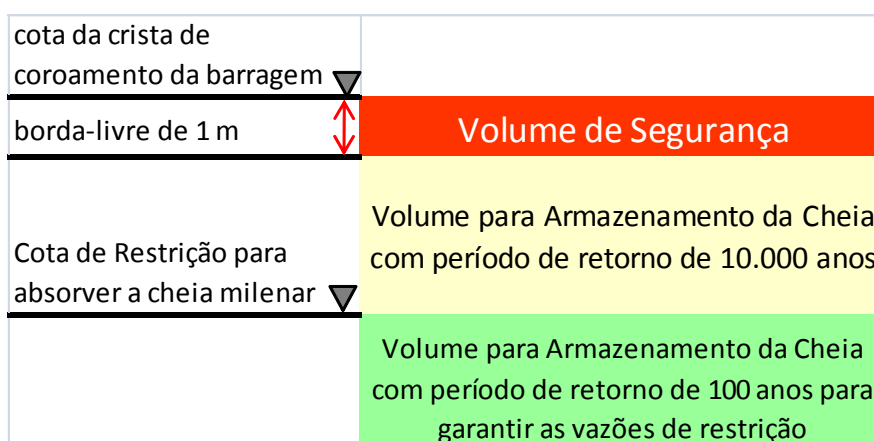
Para esta integração dos objetivos foi feita a hipótese conservadora da concomitância da cheia com períodos de retorno de 100 e 10.000 anos. Isto equivale à operação optar por garantir a vazão de restrição e, posteriormente, verificar que deve optar por quebrar as restrições e garantir a segurança do aproveitamento. Assim, inicialmente, o reservatório é ocupado pelo volume necessário para garantir a vazão de restrição supondo a ocorrência da cheia com período de 100 anos para, posteriormente, ser acrescido do volume necessário para acomodar o hidrograma de projeto com período de retorno de 10.000 anos.

A Figura 80 representa de forma esquemática o método utilizado para a integração dos objetivos. Julgou-se adequado garantir uma borda-livre mínima de 1 m entre a cota da crista de coroamento da barragem e o NA máximo resultante da ocorrência simultânea das cheias com período de retorno de 100 e 10.000 anos. Então, foi determinado à cota que permitisse conter o volume máximo armazenado no reservatório na ocorrência do hidrograma com período de retorno e 10.000 anos, apresentado na 11ª. linha da Tabela 26. Esta cota foi denominada cota de restrição para absorver a cheia decamilenar ou com período de retorno de 10.000 anos, que corresponde ao máximo NA que pode ser atingido na operação para controle de cheias e garantia da vazão de restrição. A Tabela 46 apresenta os parâmetros utilizados e os valores obtidos para a cota de restrição para absorver a cheia decamilenar ou com período de retorno de 10.000 anos dos aproveitamentos do Sistema Cantareira.

A comparação das cotas de restrição para absorver a cheia decamilenar dos aproveitamentos do Sistema Cantareira com os NA máximos atingidos na operação de garantia da vazão de restrição apresentadas na Tabela 45 permite identificar os volumes de espera necessários e/ou vazões de restrição que podem ser atendidas. A Tabela 45 apresenta em fundo vermelho os NA máximos atingidos na operação de garantia da vazão de restrição que superam as cotas de restrição para absorver a cheia decamilenar dos aproveitamentos do Sistema Cantareira.

A análise da Tabela 45 permite concluir que:

- não é possível harmonizar os objetivos de garantir a segurança do aproveitamento Paiva Castro e a vazão de restrição de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , mesmo com um amplo volume de espera e vazões de restrição muito superiores às aquelas praticadas pela SABESP;
- não há necessidade da utilização de volumes de espera para garantir, concomitantemente, a segurança hidrológica e as vazões de restrição para o aproveitamento de Atibainha;
- as estruturas hidráulicas do aproveitamento Cachoeira não permitem garantir a vazão de restrição de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . Caso esta seja julgada necessária haveria a necessidade de reduzir o NA máximo normal para a cota 821,00 m resultando em uma redução do volume útil de  $7,51 \text{ hm}^3$  ou 10,77 % do volume útil atual;
- não há necessidade de utilização de volumes de espera para garantir a segurança do aproveitamento Cachoeira em uma operação de controle de cheias para  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . Neste caso, em função das limitações das estruturas hidráulicas, a vazão máxima efluente irá atingir  $115 \text{ m}^3/\text{s}$  superando a vazão de restrição de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . Portanto não se justifica a operação de controle de cheias pela sua ineficiência;
- não há necessidade de utilização de volumes de espera para garantir a segurança do aproveitamento Jaguari-Jacareí. Mesmo ocorrendo a concomitância das cheias com períodos de retorno de 100 e 10.000 anos a sobrelevação do NA máximo de 845,015 m em relação à cota de restrição de 844,91 m é de apenas 10 cm. Isto equivaleria à utilização de uma borda-livre de 90 cm ao invés de 1,0 m.



**FIGURA 80 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA COTA DE RESTRIÇÃO PARA ABSORVER O HIDROGRAMA COM PERÍODO DE RETORNO DE 10.000 ANOS**

**TABELA 46 – DETERMINAÇÃO DA COTA DE RESTRIÇÃO PARA ABSORVER O HIDROGRAMA COM PERÍODO DE  
RETORNO DE 10.000 ANOS**

Parâmetros	Jaguari- Jacaré	Cachoeira	Atibainha	Paiva Castro
Cota da Crista da Barragem (m)	847,00	827,67	791,32	750,24
Cota da Borda Livre (m)	846,00	826,67	790,32	749,24
NA Máximo normal (m)	844,00	821,88	786,72	745,61
NA máximo na cheia decamilenar (m)	845,11	825,21	788,02	749,44
Volume na Cota da Borda Livre (hm <sup>3</sup> )	1.149,27	159,22	373,34	51,80
Volume máximo na cheia decamilenar (hm <sup>3</sup> )	1.103,53	146,35	319,10	52,88
Volume no NA máximo normal (hm <sup>3</sup> )	1.047,50	116,60	290,30	32,90
Volume máximo armazenado na cheia decamilenar (hm <sup>3</sup> )	56,03	29,75	28,80	19,98
Volume mínimo a ser mantido (hm <sup>3</sup> )	1.093,24	129,47	344,54	31,82
Cota de Restrição para absorver a cheia decamilenar (m)	844,91	823,34	789,12	745,36

### 13. Perdas no Sistema Cantareira devido aos Volumes de Espera

Na eventualidade da adoção de volumes de espera nos reservatórios do sistema Cantareira haverá uma diminuição do volume útil para a regularização das afluições dos rios Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri. Neste caso os volumes de espera atingirão, no máximo, 33 hm<sup>3</sup>.

O volume útil do sistema Cantareira é de 980,7 hm<sup>3</sup>, sendo que 973,1 hm<sup>3</sup> correspondem aos aproveitamentos da bacia do rio Piracicaba. Assim esta perda de volume útil seria de apenas 3,4 % do volume útil do sistema Cantareira.

Não obstante foi desenvolvida a modelagem matemático-computacional da operação do sistema Cantareira seguindo as regras operacionais estabelecidas na outorga. O modelo foi concebido para simulação do Sistema Cantareira para o período de janeiro de 1930 a setembro de 2008, correspondendo ao histórico de vazões.

A Figura 81 apresenta uma síntese das principais etapas de cálculo do modelo desenvolvido para simulação. Em amarelo estão as etapas correspondentes a entrada de dados, incluindo a definição das demandas prioritária e secundária para cada mês do ano, o volume útil, a reserva estratégica de 5 %, o volume inicial para fins de simulação e o cenário hidrológico a ser considerado correspondente ao biênio 1953-1954, considerado o mais crítico do histórico.

Em azul está indicado o modelo de obtenção das curvas de aversão ao risco, desenvolvido pelo Prof. Dr. Rubem La Laina Porto. As curvas de aversão ao risco são geradas automaticamente a partir do volume útil do reservatório equivalente, a reserva estratégica e o cenário hidrológico adotado.

Em fundo branco está indicado o modelo de processamento do balanço hídrico e de partição da disponibilidade hídrica conforme indicado na Tabela 6, considerando que caso não seja possível atender à soma das vazões retiradas com a mesma prioridade o rateio será proporcional à participação de cada um no total referente à mesma prioridade.

Para um mês qualquer, determina-se a vazão afluente do reservatório equivalente, a partir da soma das vazões naturais médias mensais dos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha para o respectivo mês. Com base no armazenamento do reservatório e nas curvas de aversão ao risco (CAR), determina-se a disponibilidade hídrica para o mês. A disponibilidade hídrica mensal é subdividida para atendimento das demandas da RMSP e da bacia do rio Piracicaba considerando os critérios estabelecidos na outorga. O processamento mensal termina através do balanço hídrico do

reservatório, quando é determinado o volume no final do mês. O volume no início do mês subsequente é considerado igual ao volume no final do mês anterior.

Esta modelagem permitirá obter a série de vazões médias mensais transferidas pelo Sistema Cantareira através do túnel 5, que deságuam no rio Juqueri. Desta forma, as vazões médias mensais transferidas serão somadas às vazões do rio Juqueri afluindo ao reservatório Paiva Castro. A regra de operação do reservatório Paiva Castro consistirá em transferir as afluições para o abastecimento da RMSP através da Estação Elevatória de Santa Inês e o tratamento na ETA do Guaraú garantindo uma vazão mínima efluente de  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A modelagem matemático-computacional para simulação da operação do Sistema Cantareira permitirá determinar a série de vazões médias mensais transferidas para a ETA do Guaraú para cada alternativa de volume útil do conjunto de reservatórios. As alternativas consideradas para os volumes úteis dos reservatórios do Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha foram de 973,1, 955 e  $940 \text{ hm}^3$ .

As simulações foram feitas com passo mensal para o período de janeiro de 1930 a setembro de 2008, correspondendo ao histórico de vazões naturais médias mensais. A Tabela 47 apresenta um resumo hidrológico-estatístico das principais séries obtidas da simulação da operação do Sistema Cantareira incluindo:

- vazões médias mensais aduzidas da bacia do rio Piracicaba para a bacia do Alto Tietê através do túnel 5;
- vazões médias mensais aduzidas pelo Sistema Cantareira para a ETA Guaraú visando a distribuição para a RMSP;
- vazões médias aduzidas para a bacia do rio Piracicaba, correspondente à soma das vazões médias mensais defluentes dos aproveitamentos Jacareí-Jaguari, Cachoeira e Atibainha, considerando os vertimentos.

O resumo estatístico-hidrológico das mencionadas séries de vazões médias mensais operadas inclui as principais estatísticas - média, máximo, mínimo, desvio-padrão e coeficiente de variação - e vazões associadas às diversas garantias.

A Figura 82 apresenta as curvas de permanências das vazões médias mensais aduzidas para ETA Guaraú para as alternativas de volume útil do sistema Cantareira na bacia do rio Piracicaba de 973,1, 955 e  $940 \text{ hm}^3$ .

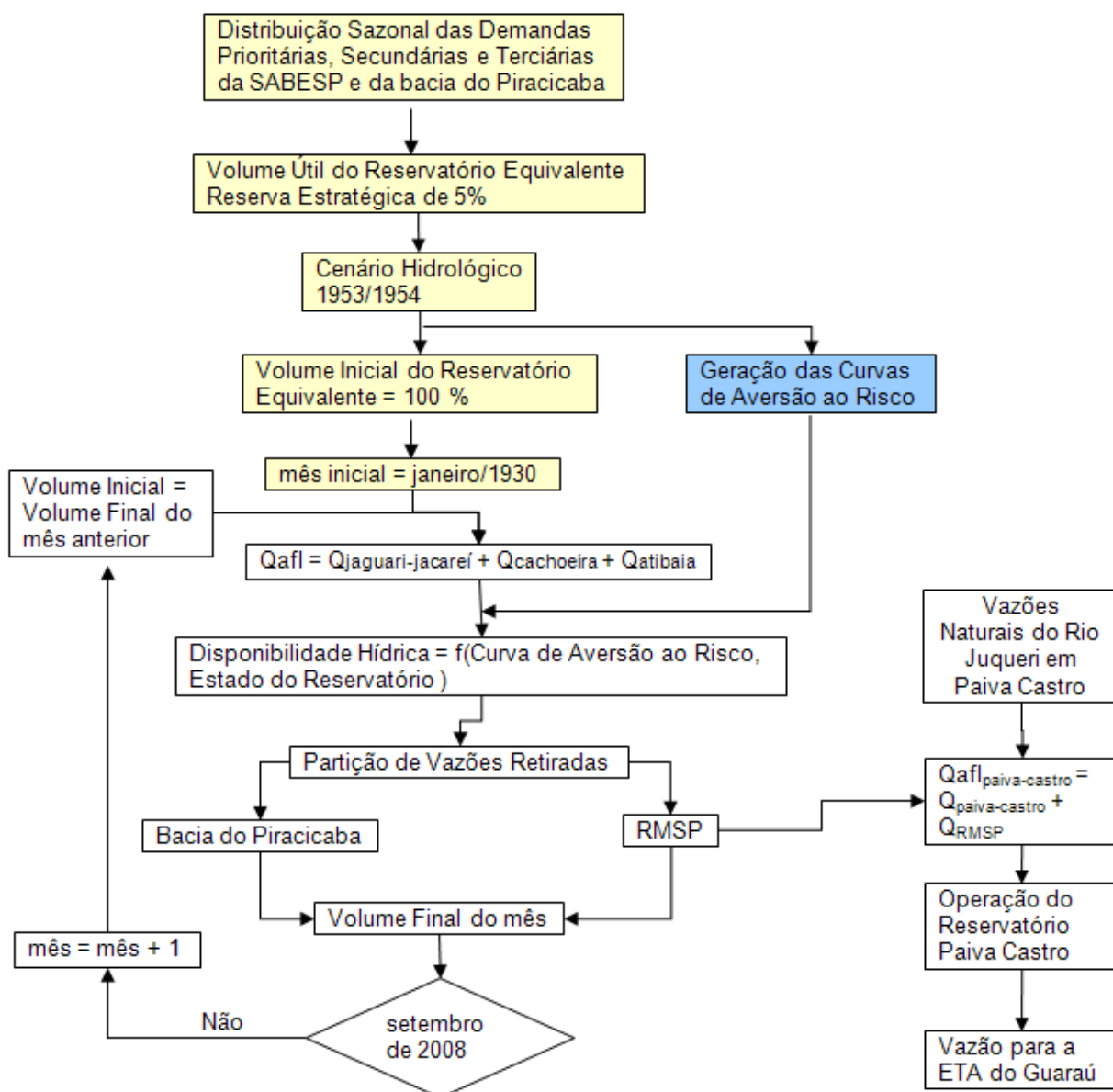


FIGURA 81 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO MODELO DE SIMULAÇÃO DAS REGRAS OPERACIONAIS

TABELA 47 – RESUMO ESTATÍSTICO-OPERACIONAL DAS SIMULAÇÕES DA OPERAÇÃO DO SISTEMA CANTAREIRA PARA AS ALTERNATIVAS DE VOLUME ÚTIL

Estatística	Volume Útil de 973,1 hm <sup>3</sup>			Volume Útil de 955,0 hm <sup>3</sup>			Volume Útil de 940,0 hm <sup>3</sup>		
	Adução para o Alto Tietê pelo Túnel 5 - RMSP (m <sup>3</sup> /s)	Adução para a ETA Guarau (m <sup>3</sup> /s)	Adução para o PIRACICABA com vertimento (m <sup>3</sup> /s)	Adução para o Alto Tietê pelo Túnel 5 - RMSP (m <sup>3</sup> /s)	Adução para a ETA Guarau (m <sup>3</sup> /s)	Adução para o PIRACICABA com vertimento (m <sup>3</sup> /s)	Adução para o Alto Tietê pelo Túnel 5 - RMSP (m <sup>3</sup> /s)	Adução para a ETA Guarau (m <sup>3</sup> /s)	Adução para o PIRACICABA com vertimento (m <sup>3</sup> /s)
média (m <sup>3</sup> /s)	30,1	32,1	9,6	30,1	32,1	9,6	30,1	32,1	9,6
máximo (m <sup>3</sup> /s)	31,0	33,0	134,7	31,0	33,0	134,7	31,0	33,0	134,7
mínimo (m <sup>3</sup> /s)	11,0	11,3	1,3	11,0	11,3	1,3	11,0	11,3	1,3
desvio-padrão (m <sup>3</sup> /s)	2,7	2,6	14,4	2,7	2,6	14,4	2,7	2,6	14,4
coef. de variação (%)	9%	8%	150%	9%	8%	150%	9%	8%	150%
Permanência (%)	Vazões (m <sup>3</sup> /s)			Vazões (m <sup>3</sup> /s)			Vazões (m <sup>3</sup> /s)		
0	31,0	33,0	134,7	31,0	33,0	134,7	31,0	33,0	134,7
1	31,0	33,0	72,4	31,0	33,0	72,4	31,0	33,0	72,4
2	31,0	33,0	58,5	31,0	33,0	58,5	31,0	33,0	58,5
3	31,0	33,0	52,1	31,0	33,0	52,1	31,0	33,0	52,1
5	31,0	33,0	44,5	31,0	33,0	44,5	31,0	33,0	44,5
10	31,0	33,0	22,9	31,0	33,0	23,0	31,0	33,0	23,2
15	31,0	33,0	10,8	31,0	33,0	10,9	31,0	33,0	10,9
20	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
25	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
30	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
35	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
40	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
45	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
50	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
55	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
60	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
65	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0	31,0	33,0	5,0
70	31,0	32,6	5,0	31,0	32,6	5,0	31,0	32,5	5,0
75	31,0	32,3	5,0	31,0	32,3	5,0	31,0	32,3	5,0
80	30,9	32,1	5,0	30,8	32,1	4,9	30,6	32,1	4,9
85	29,8	31,6	4,6	29,6	31,5	4,6	29,5	31,5	4,5
90	28,3	30,9	4,1	28,1	30,7	4,1	27,9	30,6	4,0
92	26,9	30,0	3,7	26,8	29,9	3,7	26,7	29,8	3,7
93	26,3	29,3	3,5	26,2	29,2	3,5	26,2	29,1	3,5
94	26,0	28,8	3,4	25,9	28,7	3,4	25,9	28,7	3,4
95	25,9	27,9	3,4	25,8	27,8	3,3	25,7	27,8	3,3
96	25,2	27,0	3,2	25,2	26,9	3,1	25,1	26,8	3,1
97	24,3	26,4	3,0	24,2	26,3	3,0	24,2	26,3	3,0
98	19,3	22,4	2,3	19,3	22,4	2,3	19,3	22,4	2,3
99	15,4	17,8	1,9	15,4	17,8	1,9	15,4	17,8	1,9
100	11,0	11,3	1,3	11,0	11,3	1,3	11,0	11,3	1,3

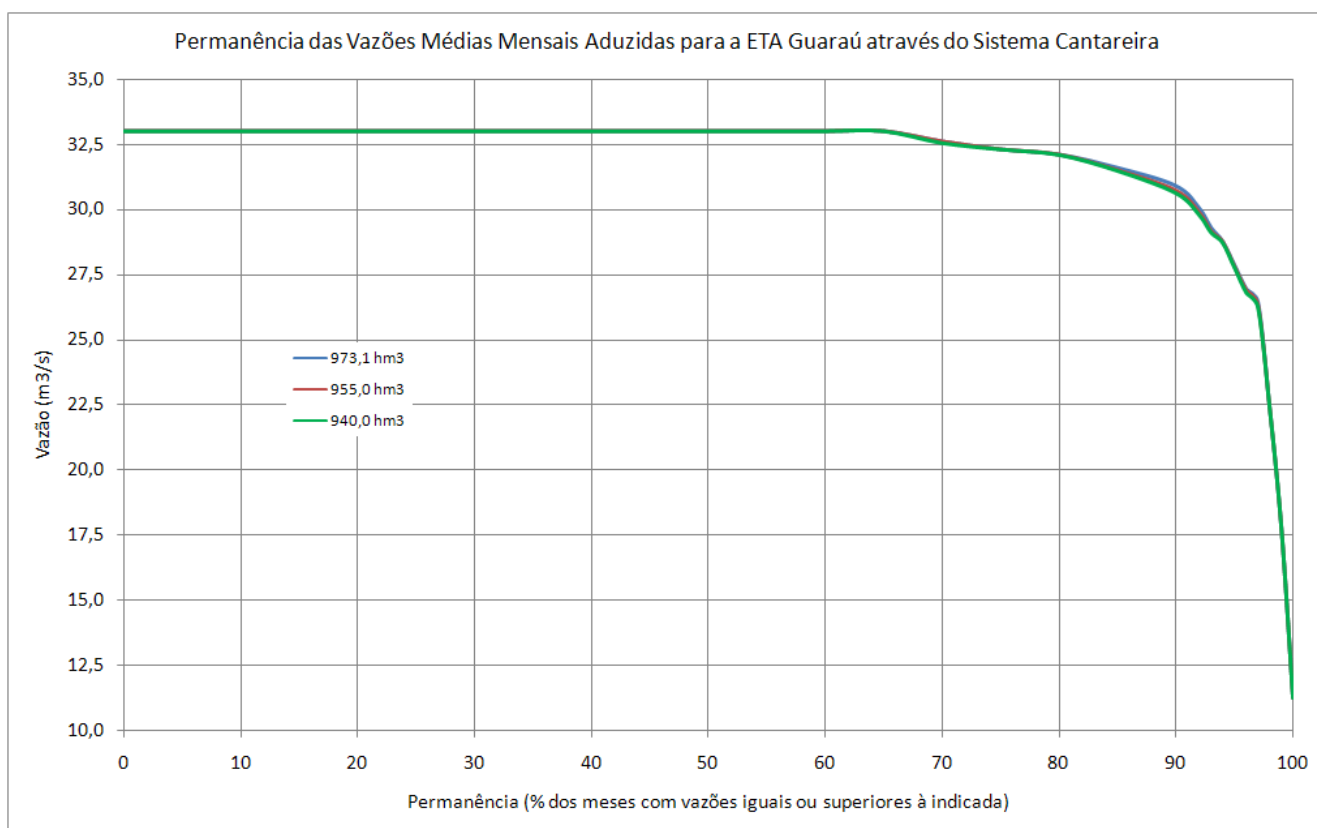


FIGURA 82

A análise da Tabela 43 e da Figura 82 permite concluir que a eventual utilização de volume de espera em até 33 hm<sup>3</sup> não causa impacto no atendimento das demandas da RMSP e da bacia do rio Piracicaba estabelecidas na outorga.

No entanto deve-se registrar que o longo período de baixa disponibilidade hídrica observado entre 1997 a 2006 resultou em uma diminuição da garantia das vazões prioritárias da bacia do rio Piracicaba de 3,0 m<sup>3</sup>/s e da RMSP de 24,8 m<sup>3</sup>/s dos anteriores 99% para 96%.



## 14. Conclusões e Recomendações

Os estudos hidrológicos para avaliação dos volumes de espera dos aproveitamentos do Sistema Cantareira considerando os aspectos de segurança hidrológica das barragens e as vazões de restrição a jusante permitiram concluir que:

- os aproveitamentos Jaguari-Jacareí, Cachoeira e Atibainha têm capacidade hidráulica para absorver com segurança os hidrogramas de projeto com período de retorno de 10.000 anos mantendo uma borda-livre, diferença entre a cota de coroamento da barragem e o NA máximo do reservatório, entre 1,90 e 3,30 m;
- o aproveitamento Paiva Castro têm capacidade hidráulica para absorver com segurança o hidrograma de projeto com período de retorno de 10.000 anos mantendo uma borda-livre de 80 cm. O reservatório tem uma área inferior a 5 km<sup>2</sup> e, portanto, não tem características para formação de ondas de grande altura. A barragem de Paiva Castro conta ainda com descarregador de emergência composto por dois diques com nível da soleira na cota 743,20 m e crista nas cotas 747,30 e 747,75 m, o que garante sua segurança;
- a operação de controle de cheias não será eficiente nos rios Cachoeira, Atibainha e Juqueri a jusante dos aproveitamentos uma vez que os hidrogramas gerados nas sub-bacias da área não controlada resultarão em inundações e impactos independentemente das vazões de restrição;
- não é possível harmonizar os objetivos de garantir a segurança do aproveitamento Paiva Castro e a vazão de restrição de 50 m<sup>3</sup>/s, mesmo com um amplo volume de espera e vazões de restrição muito superiores àquelas praticadas pela SABESP;
- não há necessidade da utilização de volumes de espera para garantir, concomitantemente, a segurança hidrológica e as vazões de restrição para o aproveitamento de Atibainha;
- as estruturas hidráulicas do aproveitamento Cachoeira não permitem garantir a vazão de restrição de 60 m<sup>3</sup>/s. Caso esta seja julgada necessária haveria a necessidade de reduzir o NA máximo normal para a cota 821,00 m resultando em uma redução do volume útil de 7,51 hm<sup>3</sup> ou 10,77 % do volume útil atual;
- não há necessidade de utilização de volumes de espera para garantir a segurança do aproveitamento Cachoeira em uma operação de controle de cheias para 60 m<sup>3</sup>/s. Neste caso, em função das limitações das estruturas hidráulicas, a vazão máxima efluente irá atingir 115 m<sup>3</sup>/s superando a vazão de restrição de 60 m<sup>3</sup>/s. Portanto não se justifica a operação de controle de cheias pela sua ineficiência;

- não há necessidade de utilização de volumes de espera para garantir a segurança do aproveitamento Jaguari-Jacareí. Mesmo ocorrendo a concomitância das cheias com períodos de retorno de 100 e 10.000 anos a sobrelevação do NA máximo de 845,015 m em relação à cota de restrição de 844,91 m é de apenas 10 cm. Isto equivaleria a utilização de uma borda-livre de 90 cm ao invés de 1,0 m.
- a eventual utilização de volume de espera nos reservatórios do Sistema Cantareira de até 33 hm<sup>3</sup> não causará alteração no atendimento das demandas da RMSP e da bacia do rio Piracicaba estabelecidas na outorga.

## 15.Referências Bibliográficas

AZIMUTE (2008), Relatório Equações Consolidado Cota x Área x Volume Sistema Cantareira

COMASP (1974), “pedido de concessão para aproveitamento das águas dos rios Juqueri, Atibainha, Cachoeira e Jaguari para abastecimento da Grande São Paulo”, São Paulo

CUNNANE, C (1978), Unbiased plotting positions – a review. *Journal of Hydrology* 37

DATA OPER Sistema Cantareira (1991). SABESP, JNS

ELETROBRÁS (1987), Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores

GRUBBS, F. and G. BECK (1972). Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. *Technometrics*, 14(4): 847-854

HOSKING, J.R.M. (1990) L-moments: Analysis and estimation of distribution using linear combination of order statistics, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 52, 105-124

KUTNER, A.S.; CONTE, A.E.; NITTA, T. – Análise Geológica e Caracterização dos solos para Avaliação do Coeficiente de Escoamento Superficial na Bacia do Alto Tietê – RMSP- XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju – 2001.

MAGNI, N. L. G. e MERO, F. (1986) - Boletim n. 4 do CTH/DAEE “Precipitações Intensas no Estado de São Paulo”.

Mapa Geológico do Estado de São Paulo - CPRM – v 2.0- Esc. 1:750.000 – 2006.

Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, CPRM / COMIG - Esc. 1: 1.000.000 – 2003.

National Environmental Research Council (1975). U.K. Institute of Hydrology Flood Studies Report, Volume II, Wallingford, U.K.

OCCHIPINTI, AG e dos Santos, P.M. (1966). “Relação entre as Precipitações Máximas de 1 dia e de 24 horas na cidade de São Paulo”

PFAFSTETTER, O. (1982) “Chuvas Intensas no Brasil”, Rio de Janeiro, DNOS, 2ª. edição

SABESP (1976) “Projeto Definitivo do Aproveitamento das Águas dos Rios Jaguari, Atibainha, Cachoeira e Juqueri, para Abastecimento de Água da Grande São Paulo”, São Paulo

SETZER, J. & LA LAINA, PORTO, R.- Boletim Técnico – DAEE “Tentativa de Avaliação do Escoamento Superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo, 1979.

SHERMAN, C.W. (1939) “Actual duration of one-day and two-days rain storms”, Civil Engineering, 9:3

SILVEIRA, A.L.L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. Revista Brasileira de recursos Hídricos, vol. 10, n.1, 5-23, Jan/Mar 2005.

STENDIGER, J.R., VOGEL, R.M., and FOUFOULA-GEORGIOU, E. (1992) Frequency analysis of extreme events. In Handbook of Hydrology, edited by D.R. Maidment, Chapter 18, MacGraw-Hill, New York.

TUCCI, C.E.M. e outros – Drenagem Urbana. ABRH, UFRS – 1995.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, SOIL SURVEY MANUAL # 18, Washington D.C., 1951, in WANIELISTA, M. – Hidrology and Water Quantity Control, J. Wiley, N.Y. – 1990.

WALLIS, J.R. (1982). Hydrologic problems associated with oilshale development,. In Environmental Systems and Management, edited by S. Rinaldi, PP. 85-102. North-Holland, Amsterdam.

WHATELY, MARUSSIA. Cantareira 2006 : um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo / Marussia Whately, Pilar Cunha. -- São Paulo : Instituto Socioambiental, 2007.

