

Estudos Hidrológicos

Dados Pluviométricos E Fisiográficos

A seguir são apresentadas os resultados do processamento dos dados pluviométricos bem como a caracterização física da área.

Coleta De Dados

Os estudos foram desenvolvidos com base nos seguintes documentos:

- Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem, DNIT, publicação IPR-715, 2005.
- Manual de Drenagem Urbana – CETESB.
- Práticas Hidrológicas – José Jaime Taborga Torrico
- Coletânea de Equações de Chuvas do Brasil- Aparecido Vanderlei Festi
- Relatório do Parque Nacional de Itaipu - IBAMA
- Dados climatológicos obtidos junto ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.
- Dados Hidrometeorológicos obtidos no portal do Sistema de Informações Hidrológicas – ANA

Fisiografia E Clima Da Região De Projeto

A região de implantação do projeto abrange áreas dos municípios de Foz do Iguaçu no Brasil e presidente Franco no Paraguai.

O relevo da bacia na região é suavemente ondulado e as altitudes variam de modo geral entre 95 a 210m.

Os principais cursos d'água são o rio Paraná e o rio Iguaçu que desenvolvem-se em leito de baixa declividade, assentado exclusivamente sobre rochas basálticas. Prevaecem na região camadas de solos de pequenas profundidades e pouca permeabilidade. Essas características indicam baixa capacidade de armazenamento dos aquíferos, com uma limitada contribuição da água subterrânea no escoamento dos rios em períodos de estiagem.

1.2.1 Solos

O substrato aflorante dos municípios é composto por uma sucessão de cerca de cinco derrames superpostos de lavas básicas, capeadas pelos seus produtos de intemperismo (os solos laterizados avermelhados). Esses têm espessura dependente da topografia e da evolução geomorfológica. Originados de material proveniente de rochas eruptivas básicas, o solo e o subsolo dos municípios apresentam uma extensa cobertura de solos argilosos. Em regiões altas predominam os latossolos roxos e nas encostas com declividade pouco acentuada predomina a terra roxa estruturada.

1.2.2 Clima

O clima de Foz de Iguaçu é subtropical úmido mesotérmico, classificado por Köppen como Cfa- clima subtropical: temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico), e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C; com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

A cidade tem uma das maiores amplitudes térmicas anuais do estado do Paraná, cerca de 10°C de diferença média entre o inverno e o verão. Por isso os verões costumam ser muito quentes, com máximas médias em torno dos 35°C, por vezes chegando a superar a marca dos 40°C, e os invernos apesar de, na média, serem considerados amenos, ainda assim propiciam quedas bruscas de temperaturas que podem fazer a temperatura cair abaixo de zero durante a passagem de frentes frias com as massas de ar polar na retaguarda.

Os fatores que controlam o clima da região são atribuídos aos jatos de baixo nível que transpõem para Este a cordilheira dos Andes transportando umidade ao longo do corredor que vai dos Andes e o antiplano brasileiro. O fenômeno climático conhecido como El Niño-Southern Oscillation é também fator significativo na circulação atmosférica afetando o regime de chuvas, com alta probabilidade de ocorrência de precipitações acima do normal na região. El Niño tem um período de recorrência interanual da ordem de 33 a 50 meses. A circulação no verão é dominada também pelo sistema monsoonal, cujo maior característica é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (SACZ).

1.2.3 Temperatura

As temperaturas médias mensais mostram uma sazonalidade clara entre inverno com temperaturas médias em torno de 15°C, e o verão, com temperatura média em torno de 25°C.

Na tabela a seguir são apresentadas as temperaturas médias das duas estações:

Tabela 1- Temperaturas Médias

estação	inverno			verão		
	mínima	média	máxima	mínima	média	máxima
Foz do Iguaçu-INMET	10	15	22	20	25	35

1.2.4 Ventos

Na estação de Foz do Iguaçu (INMET), a direção Norte (N) é a dominante, apenas sofrendo uma inversão para vento Sul (S), no início e final do dia.

A intensidade dos ventos médios mais intensos está em torno de 4km/h, revelando também pronunciada constância ao longo do ano.

1.2.5 Regime de Chuvas da Região

Para a caracterização do regime de chuvas da região foram selecionados dados de dois postos pluviométricos, a saber:

- Posto 02554002, Salto Cataratas, município de Foz do Iguaçu, altitude 152m, 25°:41':00", longitude 54°:26':00", operado pelo SUDERHSA, dados entre 09/1949 a 12/2006, dados não consistidos.
- posto 02554009, Foz do Iguaçu (oficial), município de Foz do Iguaçu, altitude 100m, latitude 25:33:00, longitude 54:35:00, dados entre 08/1940 a 11/1990, dados não consistidos.

Totais Anuais

Os totais anuais médios observados nos postos são os seguintes:

- posto Salto Cataratas: 1688mm
- posto Foz do Iguaçu (oficial): 1482mm

Na barragem de Itaipu os totais anuais registrados são de 1650mm.

Totais Mensais

Os dados dos postos mostram chuvas relativamente bem distribuídas ao longo do ano, com uma pequena redução no inverno.

O mês mais chuvoso é outubro e os dois meses mais secos julho e agosto.

Os gráficos dos totais mensais de ambos os postos são apresentados nas figuras a seguir.

Figura 1- Totais Mensais – posto 02554002

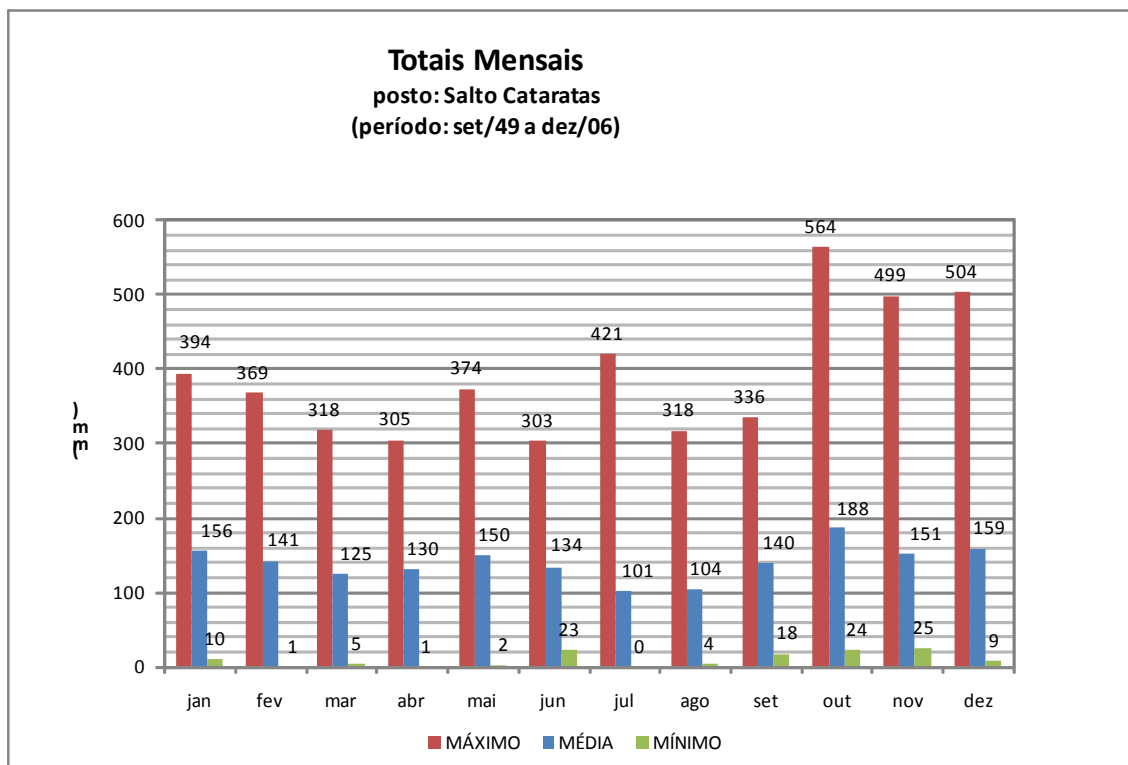
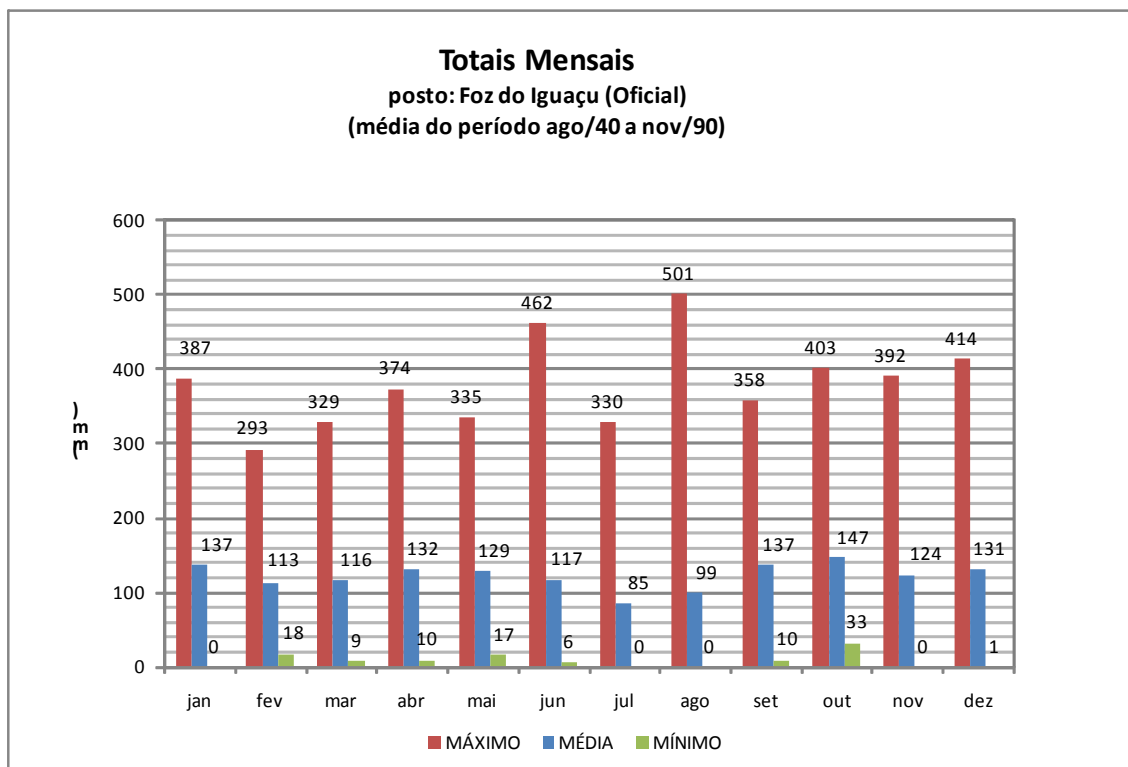


Figura 2- Totais Mensais – posto 02554000



Dias de Chuva

Os dias de chuva registrados nas duas estações estão ilustrados nos gráficos a seguir. Os dados referem-se ao total de dias de chuva em cada posto, e, também, aos dias com chuva maior de 5mm.

No posto Salto Cataratas a média anual é 92 dias de chuva (25% do tempo).

Figura 3- Dias de Chuva – posto 02554002

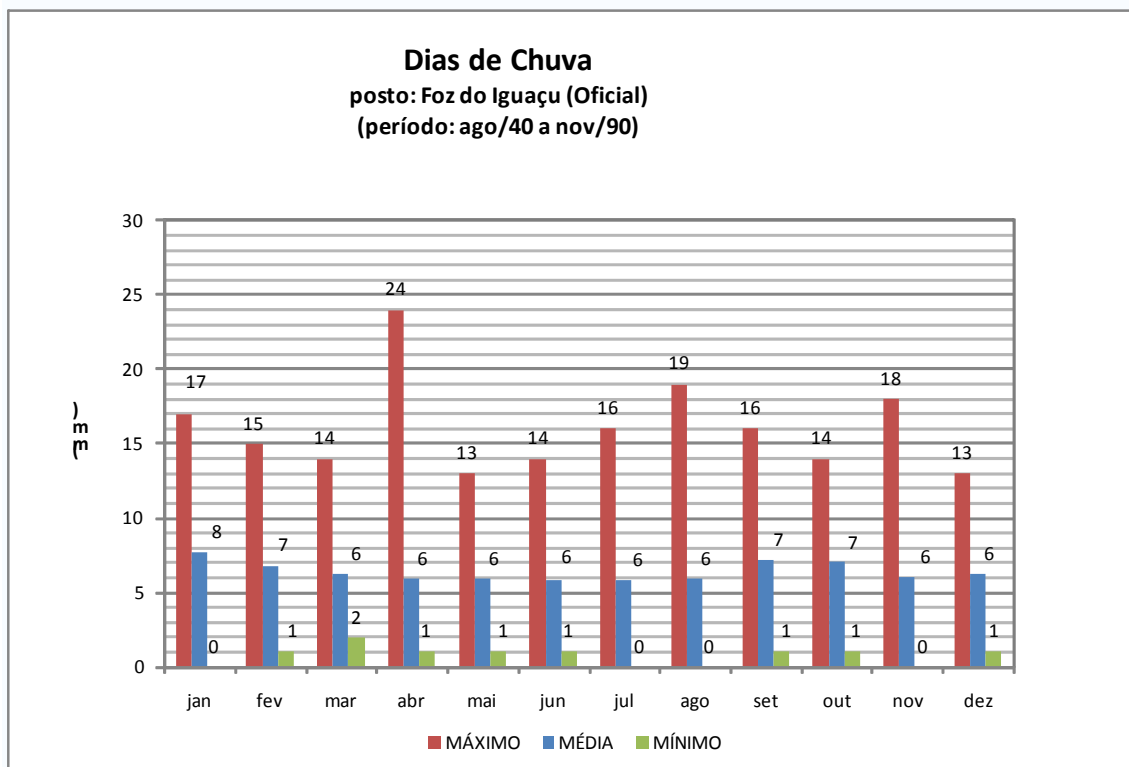
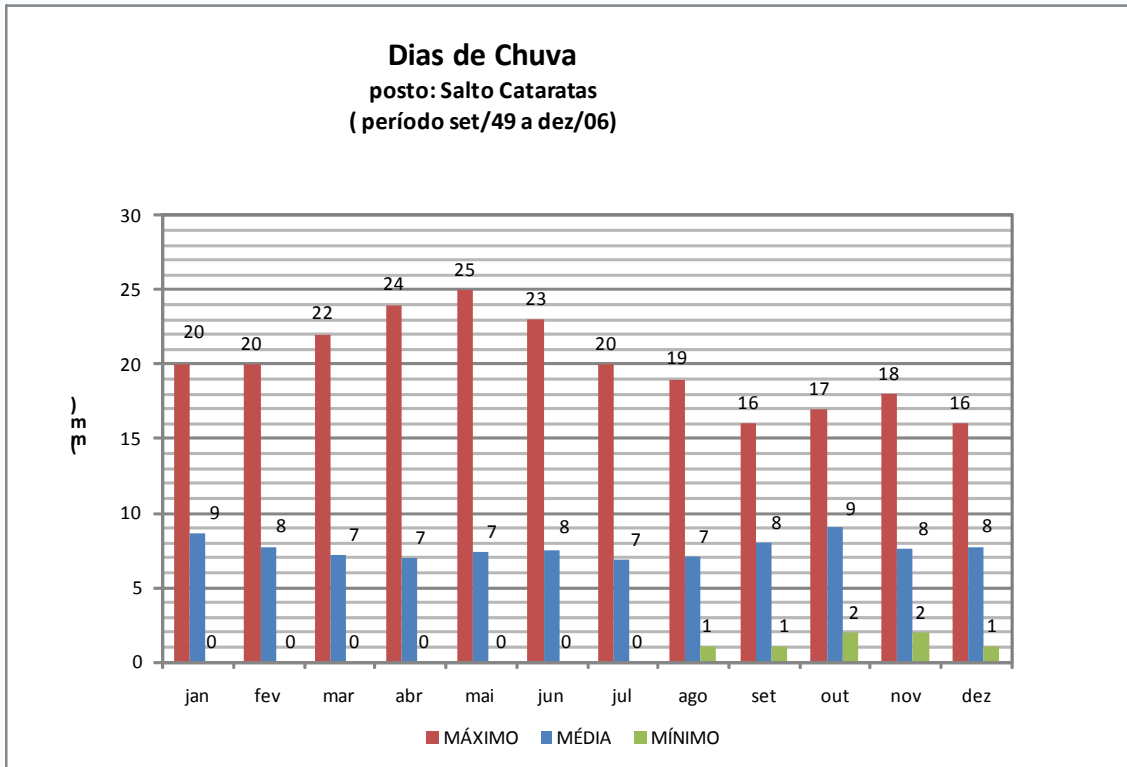


Figura 4: Dias de Chuva – posto 02554000



1.2.5 Normais Climatológicas

A seguir são apresentadas as normais climatológicas da estação de Foz do Iguaçu, do INMET, referentes ao período 1961 a 1990.

Figura 5: Temperatura do Ar

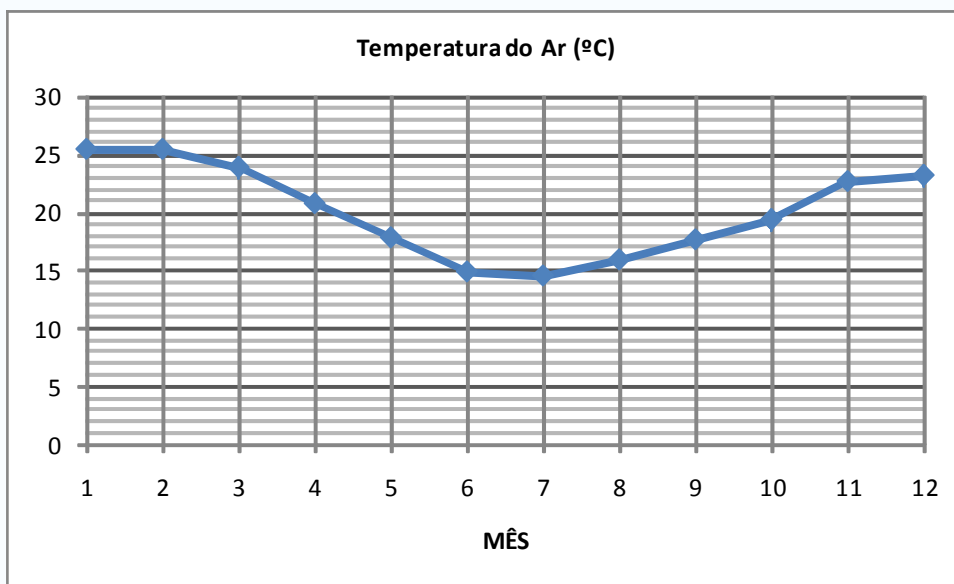


Figura 6: Temperatura Máxima

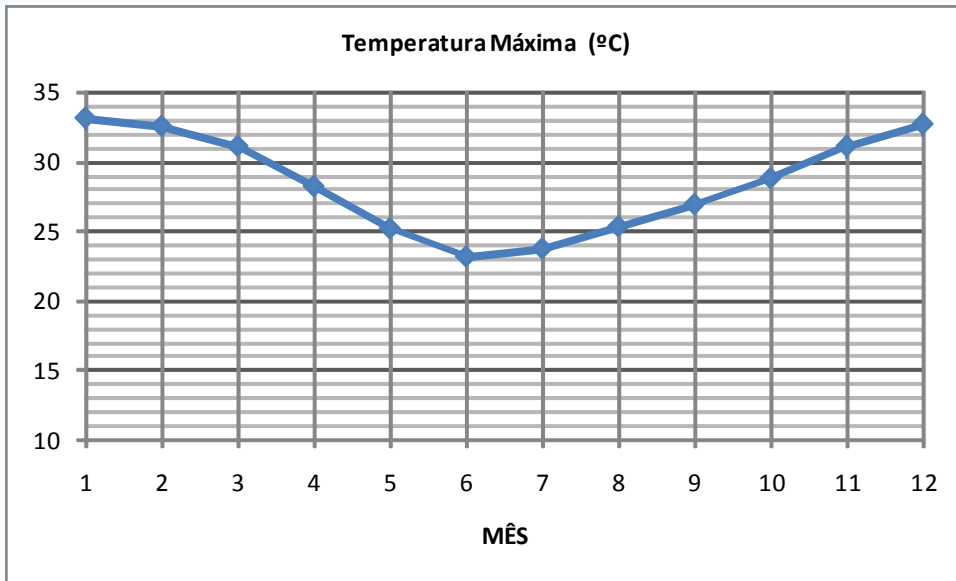


Figura 7: Temperatura Mínima

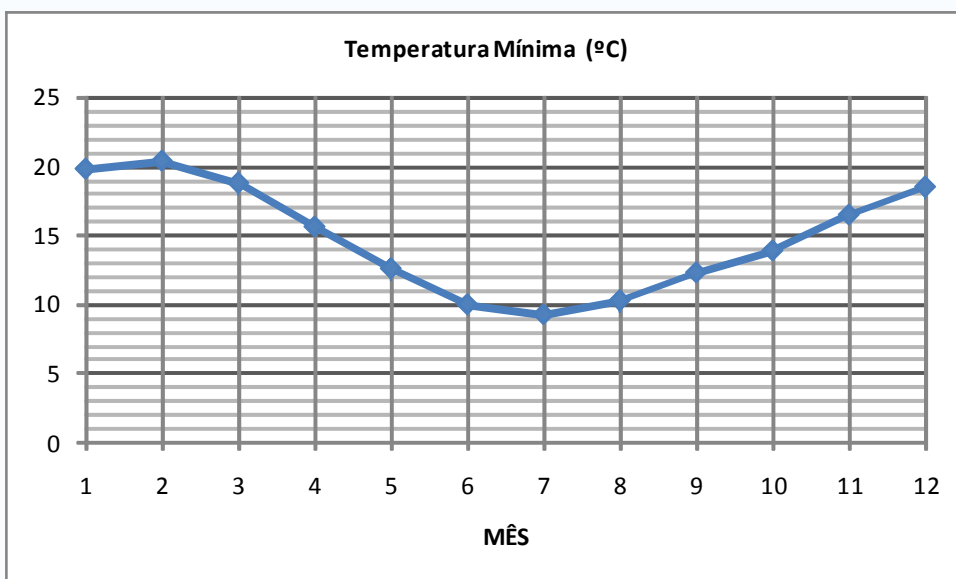


Figura 8: Temperatura Máxima Absoluta

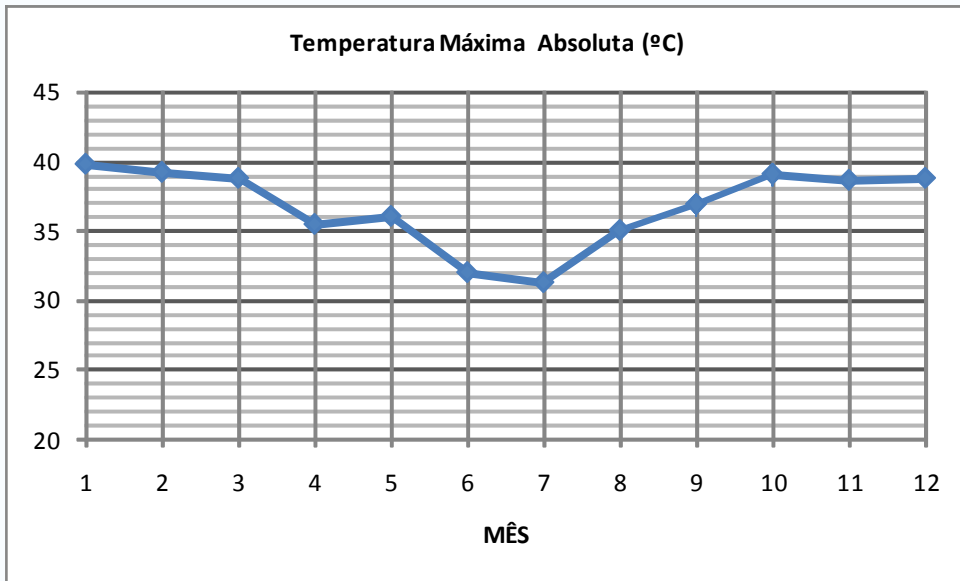


Figura 9: Temperatura Mínima Absoluta

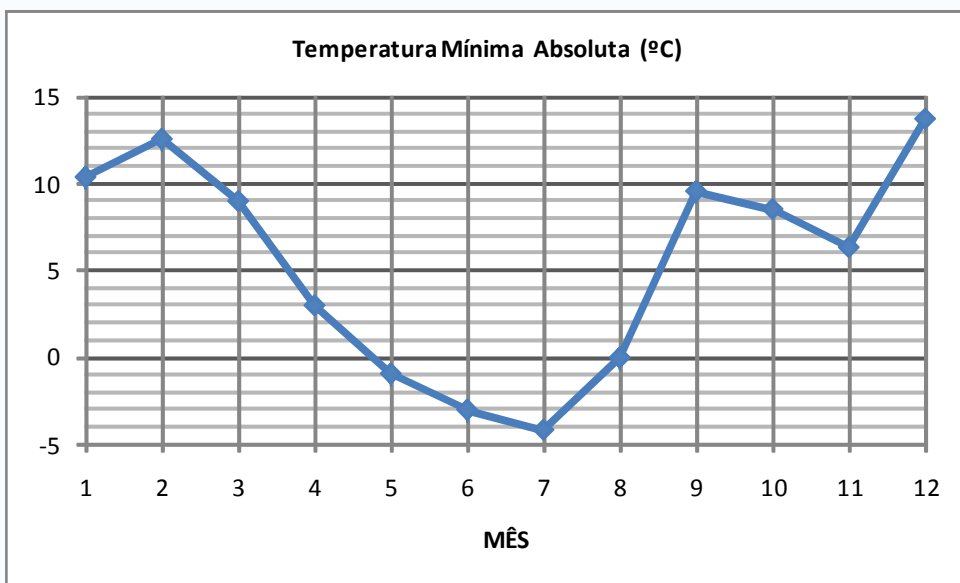


Figura 10: Evaporação Total

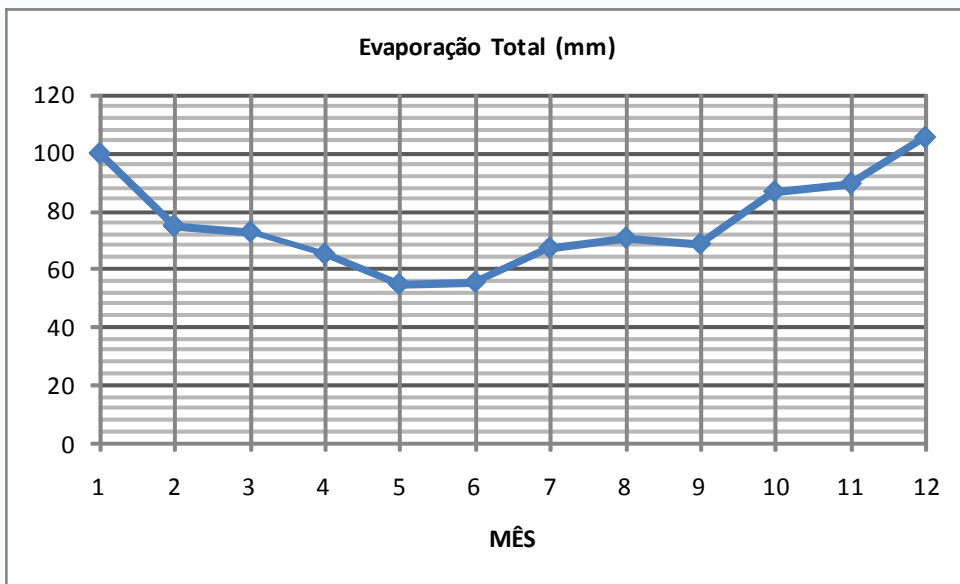


Figura 11: Umidade Relativa do Ar

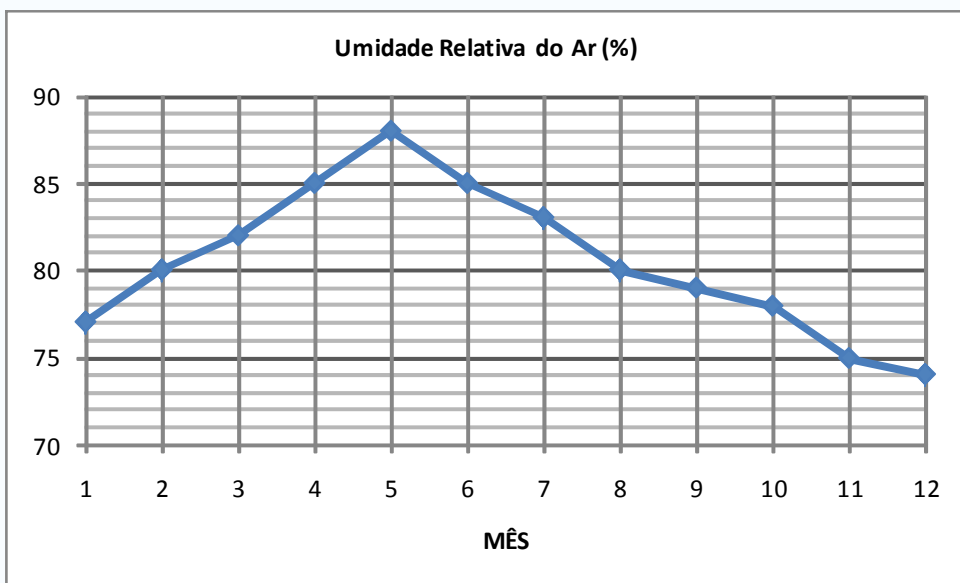


Figura 12: Insolação Total

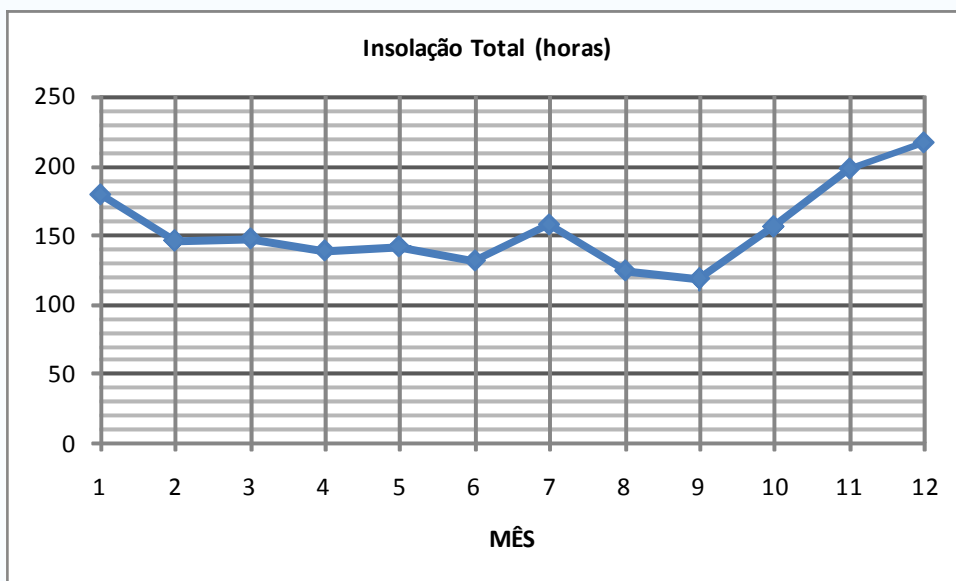
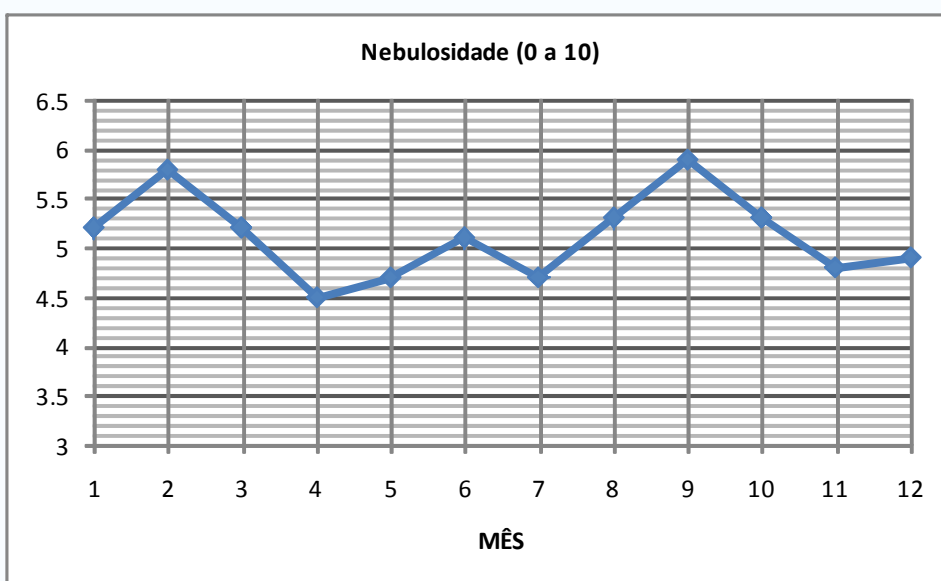


Figura 13: Nebulosidade



CHUVAS INTENSAS

1.3.1 Chuvas de 1 Dia

Foram desenvolvidas análises das chuvas de 24 horas de duração para seleção da equação de chuvas intensas.

Utilizando-se a distribuição de log Person tipo III, obteve-se, para o posto de Salto Cataratas as seguintes alturas de chuva (H) em função do período de retorno (T):

Tabela 2- Alturas de Chuva de 1 dia

T(anos)	H (mm)
100	196,5
50	183,5
25	169,7
10	149,4
5	131,8
2	102,0

As chuvas de 1 dia foram convertidas para chuva de 24 horas por meio da relação: chuva de 1 dia / chuva de 24 horas = 1,10.

1.3.2 Equação de Chuvas Intensas

A partir das chuvas de 24 horas analisadas no item anterior foi desenvolvida equação de chuvas intensas para utilização no dimensionamento das obras de drenagem do projeto. A equação tem a seguinte expressão:

$$i = \frac{1176 \cdot T^{0,162}}{(t + 6)^{0,778}}$$

onde:

i = intensidade de chuva em mm/hora.

t = duração da chuva em minutos

T = período de retorno em anos

A Tabela 3 a seguir apresenta as alturas de chuva para várias durações e períodos de recorrência, obtidas a partir da equação formulada.

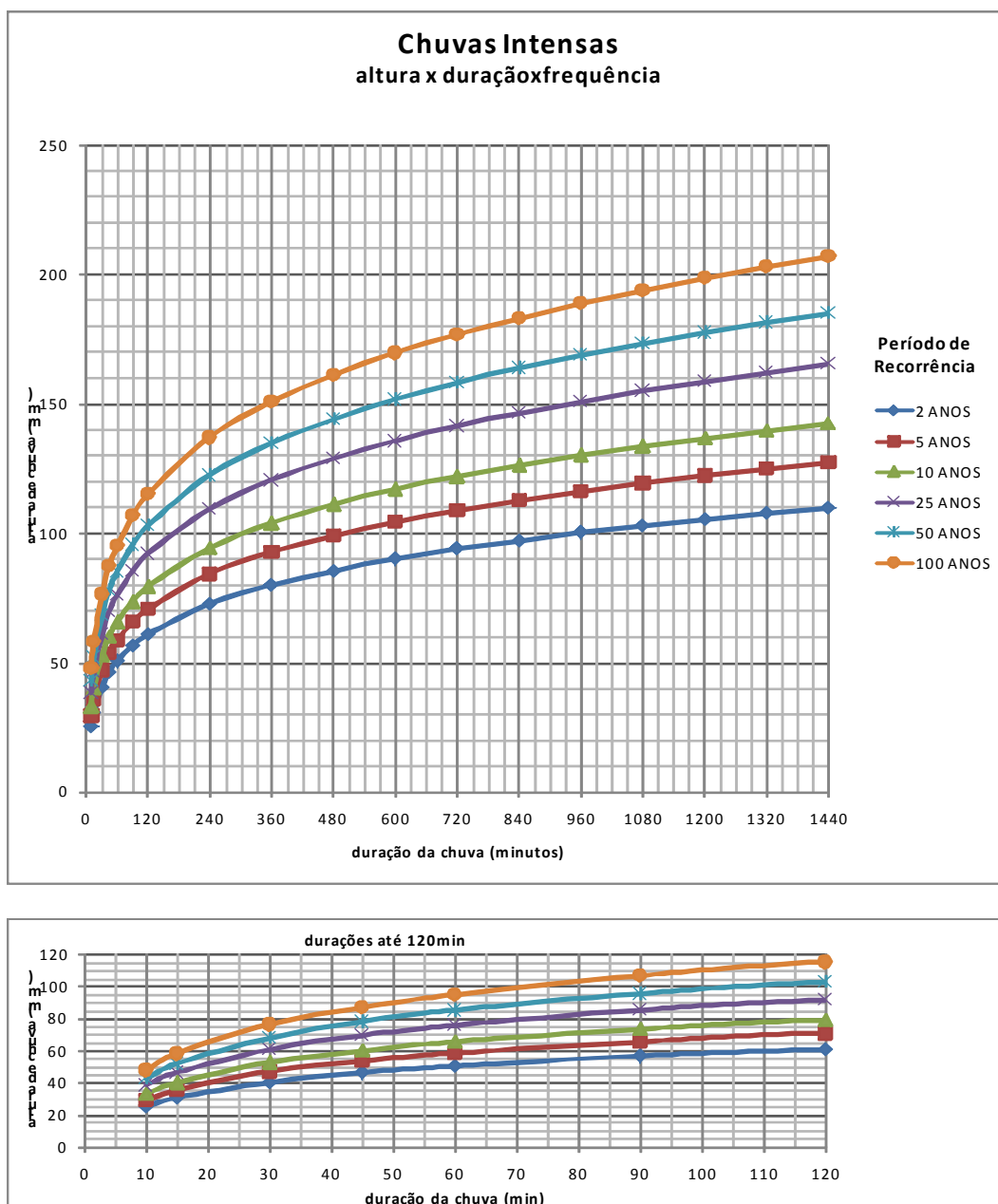
A Figura 14, ilustra as curvas de altura x duração x frequência obtidas a partir da equação citada.

Tabela 3- Altura de Chuva x Duração

t (min)	T (anos)			
	5	10	25	100
10	29.4	32.9	38.2	47.8
15	35.7	40.0	46.4	58.0
30	47.0	52.6	61.0	76.3
60	58.6	65.6	76.1	95.2
120	70.9	79.3	92.0	115.2
1440	127.4	142.6	165.4	207.0

Em relação à equação de chuvas intensas do município de Cascavél, desenvolvida por Frenlich, e que foi utilizada para obtenção das relações entre chuvas de 24 horas e demais durações, a equação do projeto apresenta valores superiores, da ordem de: 10% para T=5anos; 14% para T=10 anos; 17% para T=25 anos; 20% para T=100 anos.

Figura 14: Equação de Chuvas



DADOS FLUVIOMÉTRICOS

A seguir são apresentadas informações referentes as vazões e níveis de água dos cursos d’água da região do projeto.

DADOS LEVANTADOS

Os estudos foram baseados nos dados fluviométricos das seguintes estações:

a) Estação: 64918000 - R4

Rio: Paraná

Latitude: 25:26:30S

Longitude: 054:36:10W

Dados:

- seção batimétrica (Régua)

fonte : ITAIPU BINACIONAL

b) Estação: 64919000 - Ponte da Amizade

Rio: Paraná

Latitude: 25:30:00S

Longitude: 054:38:00W

Dados:

- Seção batimétrica (Régua)
- Série histórica de cotas médias diárias: 01/12/1975 a 30/09/2009

fonte : ITAIPU BINACIONAL

c) Estação: 65999410 - R11

Rio: Paraná

Latitude: 25:36:50S

Longitude: 054:35:59W

Dados:

- Seção batimétrica (Régua)
- Curva chave
- Série histórica de cotas médias diárias: 01/9/1977 a 30/9/2009
- Série histórica de vazões médias diárias: 01/9/1977 a 30/9/2009

fonte : ITAIPU BINACIONAL

d) Estação: 65992500 – Hotel Cataratas

Rio: Iguaçu

Latitude: 25:41:00S

Longitude: 054:26:00W

Dados:

- Seção batimétrica (Régua)
- Curva Chave
- Série histórica de vazões médias diárias: 01/01/1996 a 30/09/2009
- Série histórica de cotas médias diárias: 01/01/1996 a 30/09/2009

fonte : ITAIPU BINACIONAL

e) Estação: 65999020 – Porto Meira

Rio: Iguaçu

Latitude: 25:35:00S

Longitude: 054:33:00W

Dados:

- Seção batimétrica (não tem)
- curva-chave: não tem
- Série histórica de cotas médias diárias: 01/12/1975 a 30/09/2009

fonte : ITAIPU BINACIONAL

g) Estação: 64925000 – Porto Oficial

Rio: Paraná

Latitude: 25:33:00S

Longitude: 054:35:00W

Dados:

- Série histórica de cotas médias diárias: 10/01/1979 a 30/09/2009
- Seção batimétrica (não tem)
- Zero da régua: 86,57m (IBGE)
- Curva-chave: não tem

fonte : ITAIPU BINACIONAL

g) Estação: 64918980 – UHE

Rio: Paraná

Local: Itaipu

Dados:

- Série histórica das vazões naturais médias mensais: 01/1931 a 09/2009

fonte : ITAIPU BINACIONAL

a) Estação: 65993000 – Salto Cataratas

Rio: Iguaçu

Latitude: 25:41:00S

Longitude: 054:26:00W

Dados:

- Seção batimétrica
- Curva Chave
- Série histórica de cotas e vazões médias diárias: 01/04/1942 a 30/06/2005

fonte : Sistema de Informações Hidrológicas – ANA.

LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS

Os principais postos fluviométricos que orientaram os estudos de níveis na seção da ponte são os seguintes:

- Posto de Ponte da Amizade no rio Paraná, localizado cerca de 9km a montante da obra.
- Posto de Porto Oficial no rio Paraná, localizado cerca de 3,9 km a montante da obra.
- Posto R11 no rio Paraná, localizado cerca de 2,9km a jusante da obra.
- Posto de Porto Meira no rio Iguaçu, 12,1km a montante da foz no rio Paraná.

Influência Das Cheias Do Rio Iguaçu Nos Níveis

O eixo da nova travessia está localizado cerca de 350m a montante da margem direita do rio Iguaçu na foz. Por essa razão os níveis d'água na seção da ponte recebem influencia direta das cheias desse rio.

Na Tabela 4, são apresentadas as 20 maiores cheias anuais observadas no posto fluviométrico de ponte da Amizade, os respectivos níveis nos demais postos e vazões registradas no mesmo evento nos postos R11 e Hotel Cataratas.

A coluna 8 da tabela indica a porcentagem da descarga registrada no posto Hotel Cataratas em relação à medida no posto R11, representando aproximadamente a relação na foz entre as descargas do rio Paraná e as do rio Iguaçu.

Observa-se que as duas maiores enchentes tiveram forte influência das descargas provenientes do rio Iguaçu.

A coluna 9 indica a diferença de nível observada nas cheias entre os postos de Ponte da Amizade e R11, distantes 11,9km entre si.

Tabela 1: 20 Maiores Cheias Série Anual

Cheias Anuais em Ponte da Amizade								
pte Amizade	data do pico	Porto Oficial	R11	Porto Meira	R11	Salto Cataratas	(7) / (6)	(1) - (4)
cota		cota	cota	cota	vazão	vazão		
(m)		(m)	(m)	(m)	(m ³ /s)	(m ³ /s)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
127.70	31-mai-92	125.27	126.74	127.12	49240	27510	56%	0.96
127.59	13-jul-83	126.54	126.70	127.34	49176	26870	55%	0.89
122.82	24-jan-90	122.42	121.41	122.18	39401	9145	23%	1.41
122.37	4-fev-97	122.00	121.16	121.66	38961	7955	20%	1.21
121.95	22-mai-87	121.69	121.04	121.72	38760	16684	43%	0.91
119.99	29-abr-98	120.12	119.04	119.70	35418	14718	42%	0.95
119.82	3-dez-82	119.44	118.60	119.19	34698	7815	23%	1.22
118.90	14-jan-95	118.51	117.84	118.31	33481	12890	38%	1.06
118.32	4-out-93	118.05	117.30	117.88	32638	11941	37%	1.02
117.07	15-fev-77	-	-	116.10	-	2390	-	-
117.02	15-set-89	116.83	116.26	116.83	31038	13996	45%	0.76
116.09	1-nov-05	112.02	110.83	111.83	23463	-	-	5.26
116.01	7-mar-80	115.48	114.64	115.07	28645	2390	8%	1.37
114.72	29-dez-81	114.33	113.54	114.03	27081	5855	22%	1.18
114.35	15-mai-79	-	113.39	113.96	26872	11845	44%	0.96
112.84	9-fev-07	112.22	111.34	111.77	24112	-	-	1.50
112.41	23-fev-01	112.20	111.40	111.94	24184	6625	27%	1.01
112.24	14-out-96	111.70	111.10	111.58	23802	12674	53%	1.14
111.94	11-jan-84	111.44	110.54	110.98	23073	1022	4%	1.40
111.93	23-jun-94	111.61	110.89	111.43	23524	7675	33%	1.04

Hidrogramas Das Maiores Cheias

Os gráficos apresentados a seguir mostram os hidrogramas com as cotas registradas nos vários postos para duas cheias: a primeira com influência preponderante das vazões do rio Iguaçu (pico em 31/05/92), e a segunda com essa influência minimizada (pico em 15/06/83).

Figura 3: Cheia de 1992

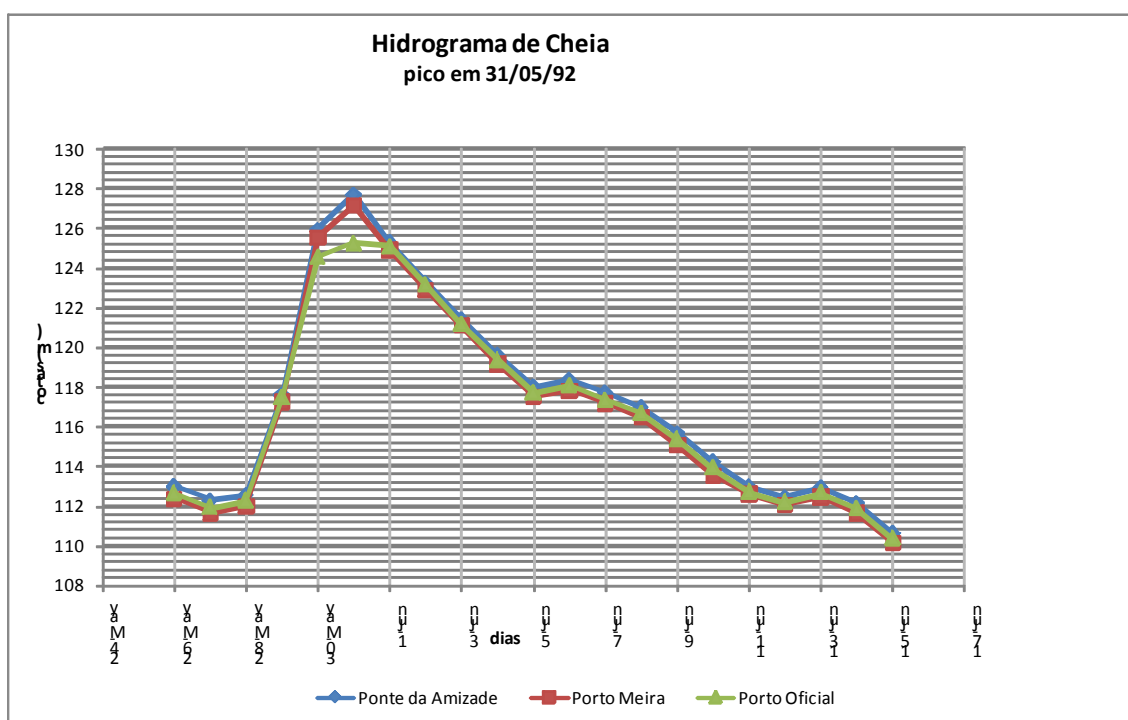
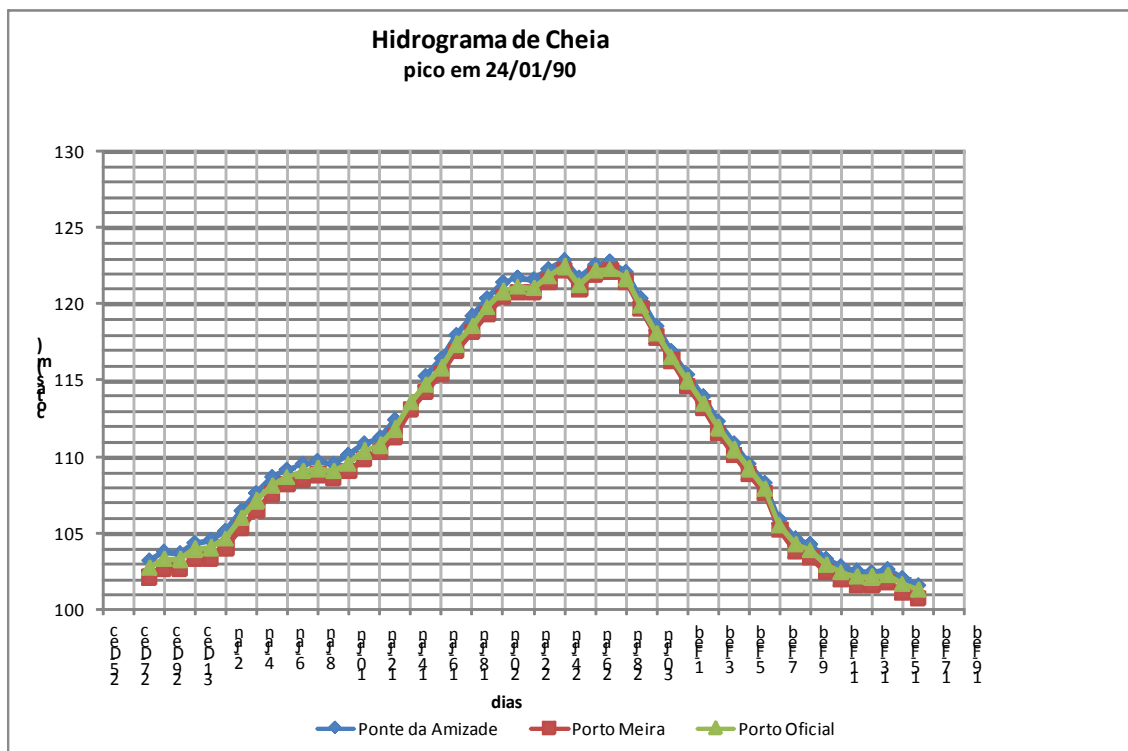


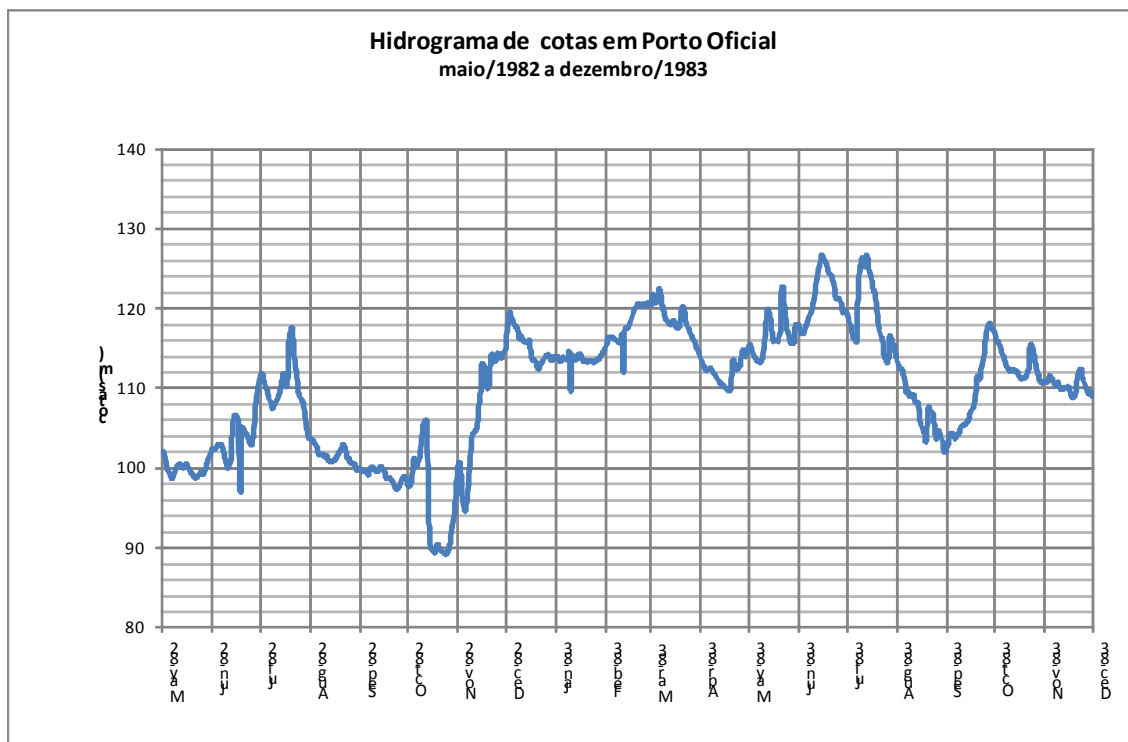
Figura 4: Cheia de 1990



Hidrograma Da Cheia Excepcional De 1983

Na figura a seguir é apresentado o hidrograma no rio Paraná em Porto Oficial, mostrando a evolução dos níveis na cheia excepcional do ano de 1983. Os dados são apresentados para o período compreendido entre maio/1982 a dezembro/1983. As cheias verificadas em 1982-1983 são atribuídas ao aumento das chuvas na bacia provocadas pelo fenômeno “El Niño”.

Figura 5: Cheia de 1983



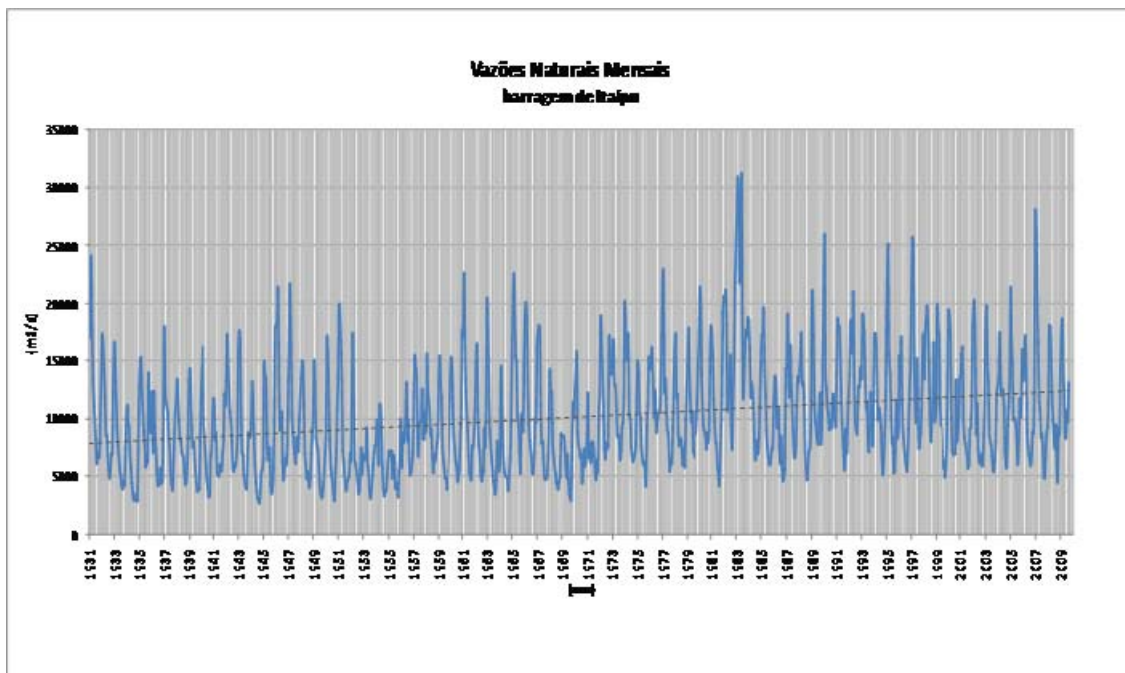
Vazões Naturais Na Barragem De Itaipu

Na figura a seguir são apresentadas as vazões naturais no rio Paraná na seção da barragem de Itaipu, para o período de janeiro/1931 a setembro/2009.

O gráfico mostra em linha tracejada a tendência observada no crescimento das vazões ao longo do tempo.

Observa-se também o período crítico entre 1952 a 1955, quando houve considerável redução de chuvas na bacia.

Figura 6: Vazões Naturais na Barragem de Itaipu



Estudo De Níveis D'água

São apresentados a seguir os resultados dos estudos de níveis d'água desenvolvidos para a seção da nova ponte, cujo objetivo é orientar o projeto e o planejamento das obras.

Dados Fluviométricos

As análises foram desenvolvidas com base nas informações de cota do posto fluviométrico Porto Oficial, cujos dados foram complementados por correlação com dados do posto Ponte da Amizade e também do posto R11, perfazendo série histórica entre dezembro de 1975 a setembro de 2009.

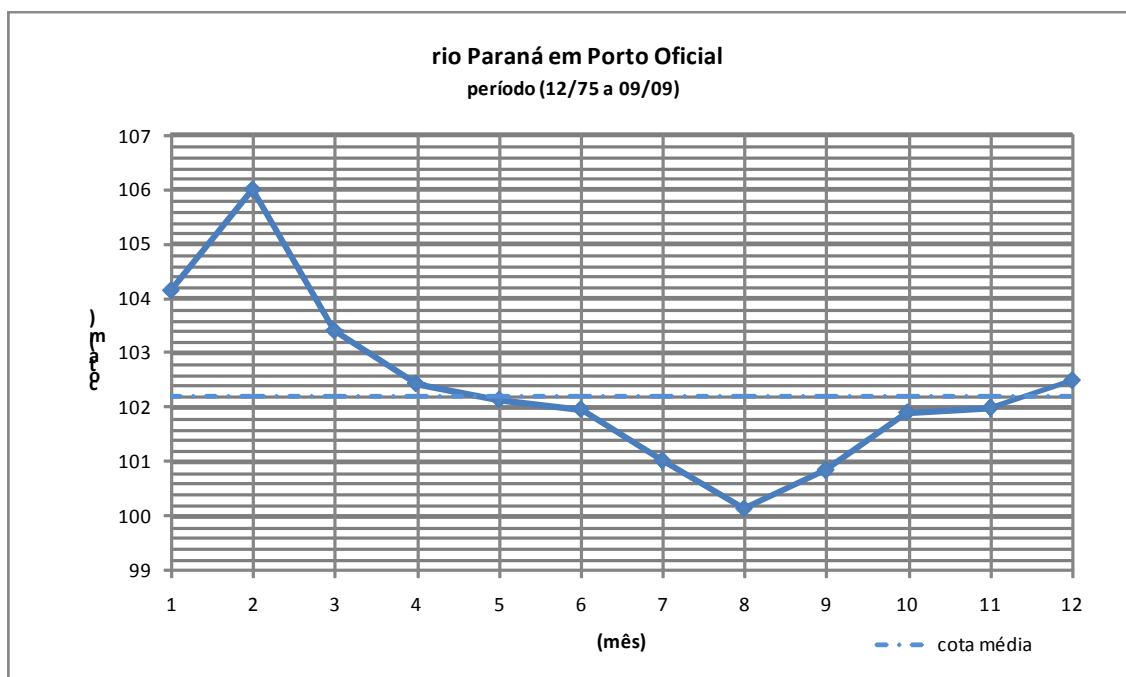
O posto Porto Oficial está localizado cerca de 3.900m a montante da seção da ponte a ser construída. A diferença de níveis entre os dois locais nas maiores cheias é da ordem de 0,50m. Por ser diferença pouco significativa para os presentes estudos, adotou-se o posto Porto Oficial como seção representativa para os estudos de níveis da nova ponte.

COTAS MÉDIAS MENSAIS

As cotas médias mensais do rio Paraná em Porto Oficial são apresentadas no Gráfico 1, a seguir.

Os meses de dezembro a abril apresentam valores acima da média (102,21m), enquanto o trimestre compreendido entre janeiro e março, apresenta os níveis mais elevados do período.

Gráfico 1: Cotas Médias Mensais



Os níveis máximos e mínimos para a seção da ponte são os seguintes:

Nível máximo: 126,50m, em 31/05/1992

Nível mínimo: 87,10m em 24/10/1982

Níveis MÁXIMOS Anuais x Período de Retorno

Os níveis máximos anuais para vários períodos de recorrência obtidos a partir da distribuição de log Person tipo III, para a série anual, são apresentados no Gráfico 2 e na Tabela 1

Gráfico 2: Rio Paraná em Porto Oficial

Níveis Máximos Anuais x Período de Retorno

General Frequency Analytical Plot for PTO OFICIAL co
Return Period

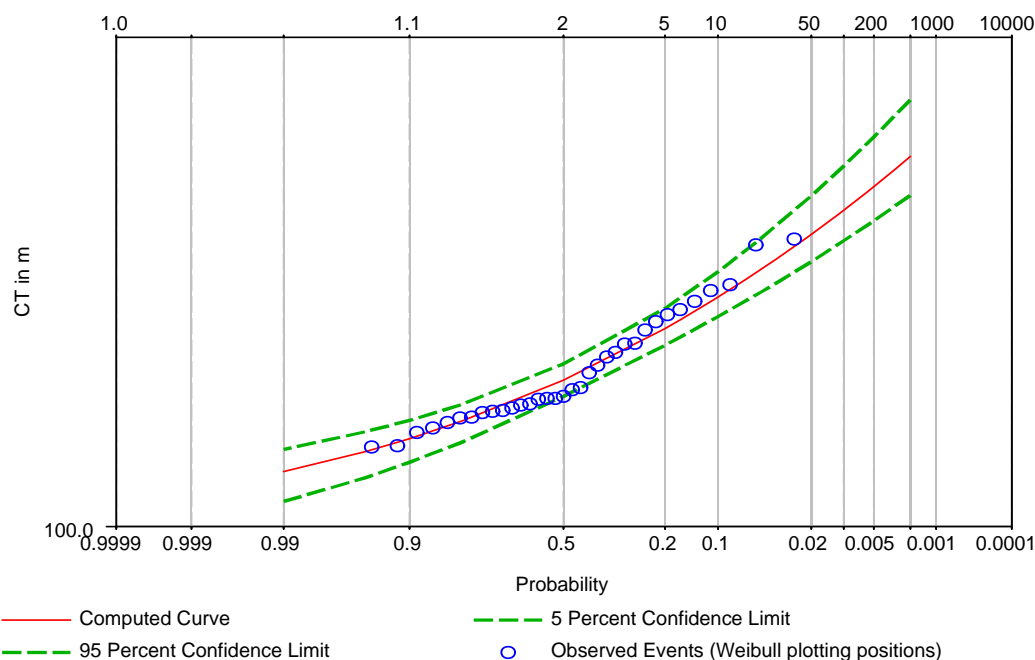


Tabela 1: Rio Paraná em Porto Oficial-

Níveis Máximos Anuais x Período de Retorno

Cota (m)	Período de Retorno (anos)
135.87	500
132.53	200
129.97	100
127.35	50
123.78	20
120.92	10
117.82	5
112.91	2

Níveis Sazonais x Período de Retorno

Com o objetivo de orientar o planejamento das obras foram calculados também os níveis máximos esperados considerando-se 4 meses consecutivos, a saber: janeiro, fevereiro, março abril; fevereiro, março, abril e maio; março, abril, maio, junho etc., perfazendo os 12 quadrimestres possíveis do ano.

Esta consideração baseou-se na admissão de que a duração das obras, em que há risco de ficarem submersas na fase de construção, é de 4 meses.

Os níveis associados aos períodos de recorrência de 2, 5, 10 e 25 anos, para cada quadrimestre considerado estão indicados na Tabela 2.

Essa análise tem particular interesse na definição de obras para as quais é necessário minimizar os riscos de galgamento, como geralmente é o caso das ensecadeiras.

Por exemplo: selecionado o quadrimestre agosto, setembro, outubro, novembro (ASON), e selecionando-se o período de recorrência de 5 anos, o nível máximo a ser considerado, conforme Tabela 2 será: 112,20m (com risco de ser igualado ou excedido de 20%).

Tabela 2: Níveis Máximos Sazonais x Período de Retorno

níveis/período de retorno - sazonal p/ 4 meses - rio Paraná em Porto Oficial							
TR	risco de ser igualado ou excedido	JJAS	JASO	ASON	SOND	ONDJ	NDJF
25 anos	4%	119.30	118.50	116.90	117.40	120.10	119.60
10 anos	10%	116.20	115.70	114.40	115.20	117.50	117.20
5 anos	20%	112.30	113.10	112.20	113.10	115.00	114.90
2 anos	50%	108.10	108.20	108.10	109.40	110.50	110.70
TR		DJFM	JFMA	FMAM	MAMJ	AMJJ	MJJA
25 anos	4%	119.80	120.40	121.30	120.70	120.70	120.90
10 anos	10%	117.30	117.70	118.70	117.90	117.70	117.60
5 anos	20%	115.00	115.30	116.30	115.40	115.00	114.60
2 anos	50%	110.70	110.80	111.90	110.70	109.90	109.10

obs: JJAS=junho, julho, agosto, setembro; JASO=julho, agosto, setembro, outubro;

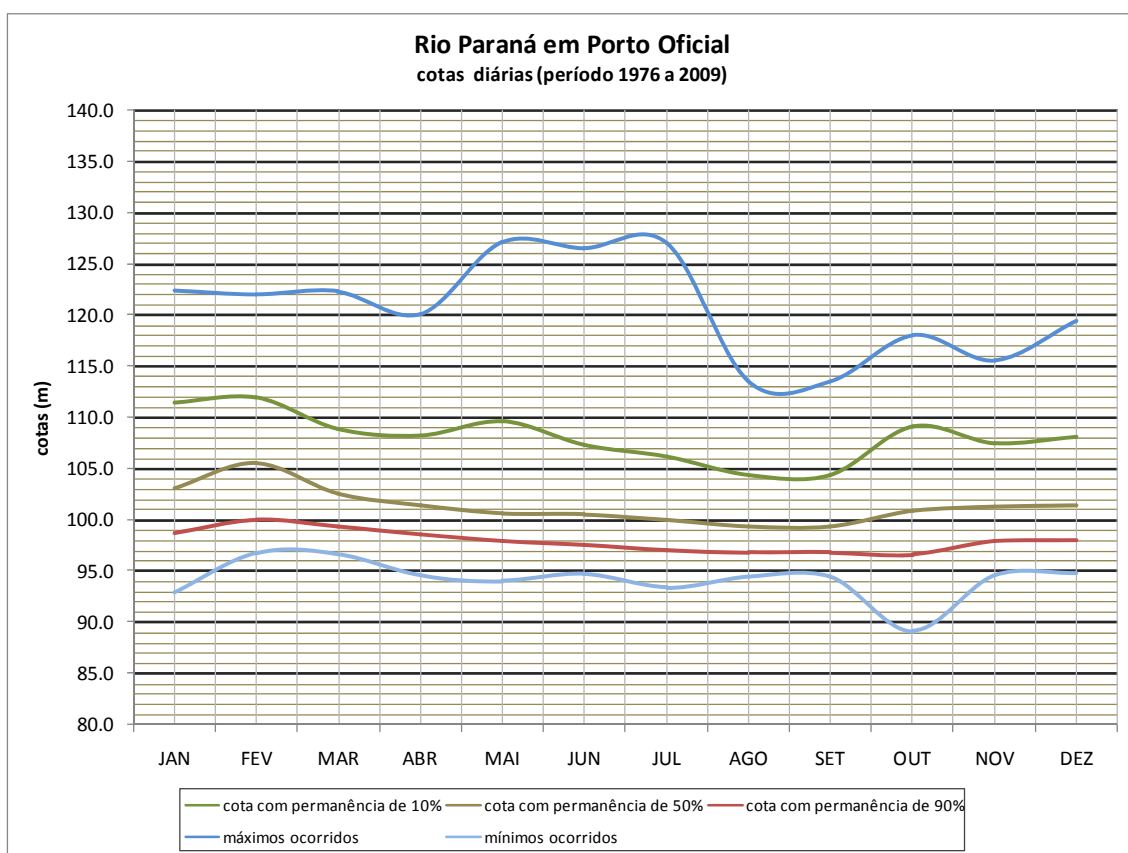
Permanência dos Níveis

Com base na série histórica de níveis d'água do posto Porto Oficial foram desenvolvidas as permanências das cotas diárias para os vários meses do ano. Para cada mês foram calculadas as permanências referentes a 10%, 50% e 90%.

Os resultados estão ilustrados no Gráfico 3, apresentado a seguir:

Gráfico 3: Rio Paraná em Porto Oficial-

Permanência de Níveis em Cada Mês



Por exemplo: para janeiro as curvas indicam os seguintes valores: curva de 10%, cota 111,5m; curva de 50%, cota de 103,2m; e curva de 90%, cota de 98,8m.

Ou seja, no mês de janeiro em 90% dos dias (de registros) os níveis ficaram acima da cota 98,8m; em 50% dos dias foram superiores à cota 103,2m, e em apenas 10% dos dias superiores a 111,5m.

O gráfico mostra ainda as curvas referentes as cotas máximas e mínimas observadas em cada mês no período de registro.

Número De Dias Com Sobrelevação Dos Níveis

Uma vez que os dados da tabela anterior não representam as irregularidades das permanências ao longo do tempo, foram analisados para cada ano o número de dias com níveis acima de uma determinada cota.

Inicialmente as análises enfocaram o quadrimestre: julho a outubro.

Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Nº de Dias com Sobrelevação da Cota de Referência

rio Paraná em Porto Oficial								
nº de dias com níveis acima da cota de referência								
mês inicial	7	cota de referência (m)						
mês final	10	106	107	108	109	110	111	112
item	ano							
1	1976							
2	1977							
3	1978							
4	1979	4	3	1	1			
5	1980							
6	1981							
7	1982	28	27	24	18	15	11	4
8	1983	96	93	89	83	79	75	63
9	1984							
10	1985							
11	1986							
12	1987							
13	1988	2						
14	1989	22	17	9	7	6	5	4
15	1990	60	44	30	18	10	7	2
16	1991							
17	1992	6	3	3	2	2		
18	1993	19	14	13	12	11	10	7
19	1994	5	2	1				
20	1995	5	4	1				
21	1996	13	9	4	3	2	1	
22	1997	37	26	17	10	6	3	3
23	1998	68	66	62	53	44	33	22
24	1999	9	6	4	1			
25	2000	20	14	10	5	1		
26	2001	2	1					
27	2002							
28	2003							
29	2004	9						
30	2005	23	15	10	8	5	4	3
31	2006							
32	2007							
33	2008	4						
34	2009	34	27	24	23	4		

nota: campos de dias vazios= zero

O número de dias indicado na tabela acima pode ser referente a uma ou mais cheias. Para ilustrar essa possibilidade é apresentada a Tabela 4, onde a cota de referência considerada é 108m. A tabela indica para cada ano o número de dias de cada uma das cheias consideradas, bem como a data de pico do evento. Os dados são para o quadrimestre julho a outubro.

Tabela 4: Discriminação dos Eventos para a Cota de Referência 108m

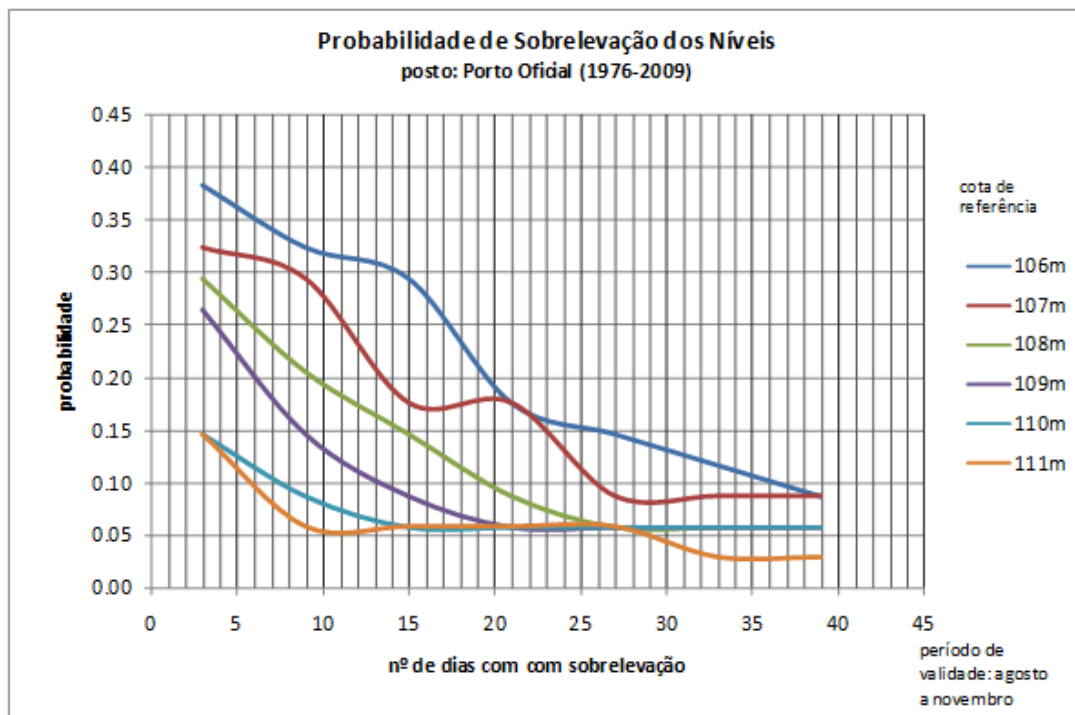
Rio Paraná em Porto Oficial			
quadrimstre: julho a outubro			
ano	nº de dias parcial	nº de dias acumulado	data do pico
1979	1	1	31/10/79
	7	7	01/07/82
1982	17	24	20/07/82
	45	45	13/07/83
1983	44	89	28/09/83
1989	9	9	15/09/89
	5	5	22/07/90
	3	8	21/08/90
	4	12	29/08/90
	1	13	02/09/90
	12	25	09/09/90
	1	26	17/09/90
	1	27	17/10/90
1990	3	30	20/10/90
1992	3	3	02/07/92
1993	13	13	04/10/93
1994	1	1	07/07/94
1995	1	1	22/10/95
	3	3	14/10/96
1996	1	4	22/10/96
	1	1	01/07/97
	3	4	05/08/97
	2	6	03/10/97
1997	11	17	13/10/97
	1	1	16/08/98
	10	11	23/08/98
	7	18	10/09/98
	8	26	21/09/98
1998	36	62	12/10/98
	1	1	06/07/99
	2	3	09/07/99
1999	1	4	11/07/99
	4	4	17/09/00
	1	5	26/09/00
2000	5	10	16/10/00
	7	7	10/10/05
2005	3	10	30/10/05
2009	24	24	29/09/09

Frequência das Sobrelevações

Com base nos dados da Tabela 3 foram desenvolvidas curvas de frequência acumulada visando estabelecer as probabilidades da cota de referência ser ultrapassada em determinado número de dias.

Os resultados das análises estão apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4: Probabilidade de Sobrelevação da Cota de Referência



O gráfico permite estimar a cota máxima a ser considerada em função do número de dias máximos desejados de sobrelevação e do risco do mesmo ser ultrapassado.

Por exemplo: caso se admita como viável 10 dias de sobrelevação no quadrimestre entre julho a outubro; e ainda como 20% o risco desse número de dias ser ultrapassado, a cota de referência a ser selecionada é a 108m, que apresenta risco próximo a 20%.

Como o período de retorno é o inverso da probabilidade ($T=1/p$), o risco de 20% corresponde a admitir que o número de dias será igualado ou superado em média a cada 5 anos ($T=1/0,20$).

Admitida a cota 108m, deve-se levar em conta ainda o freeboard para as obras. Adotando-se freeboard de 1m, a cota de projeto para as obras será de $108+1= 109m$.

ANÁLISE DA cota 108

Adotada a cota 108m foram feitas verificações com o objetivo de avaliar os riscos de ocorrer sobrelevação em outros quadrimestres do ano.

A tabela apresentada a seguir mostra em vários quadrimestres o número de dias em que a cota 108m foi ultrapassada com base no período histórico de dados.

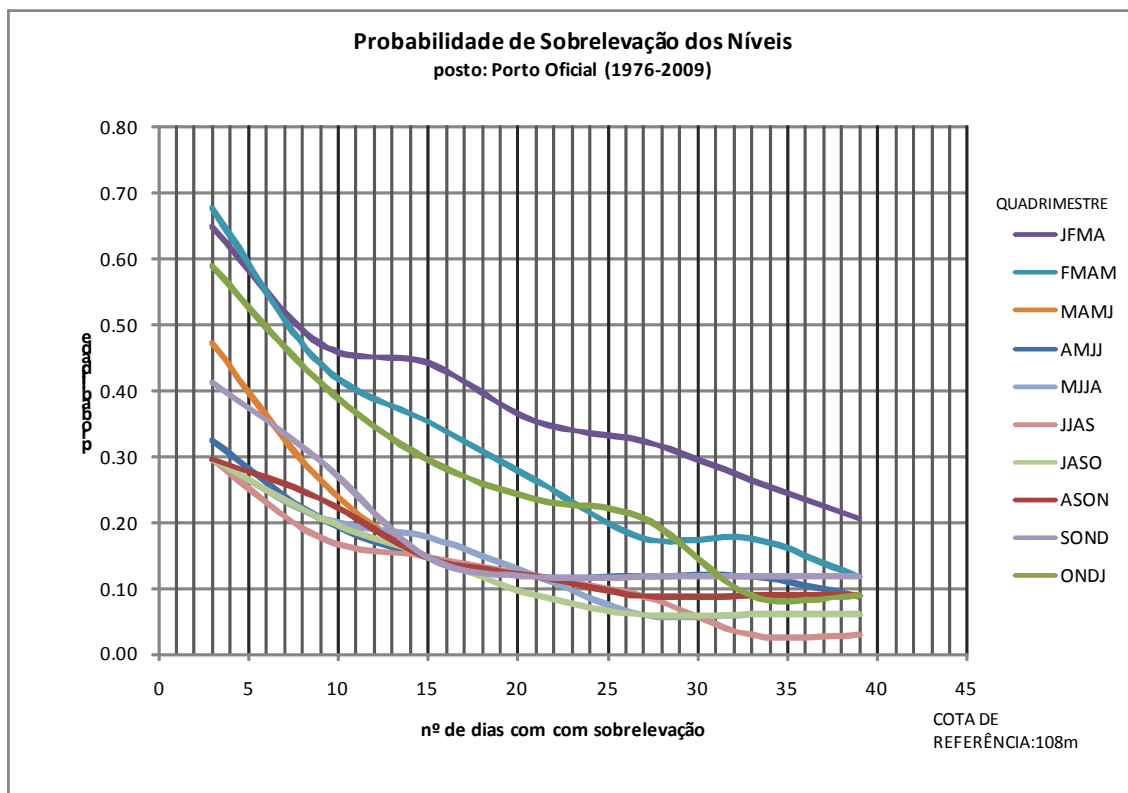
Tabela 5: Número de dias acima da cota 108 nos quadrimestres

rio Paraná em Porto Oficial.												
nº de dias com níveis acima da cota de referência 108m												
item	ano	JFMA	FMAM	AMJJ	MAMJ	AMJJ	MJJA	JJAS	JASO	ASON	SOND	ONDJ
1	1976			6	6	6	6	6		3	14	14
2	1977	54	23								1	32
3	1978	9	1									8
4	1979		7	7	7	7	7		1	5	5	5
5	1980	49	43		14						5	11
6	1981	30	11	1	1	1					15	34
7	1982	46	41	39	26	39	27	27	24	17	48	53
8	1983	120	120	122	122	122	106	88	89	88	95	113
9	1984	37	12	2	2	2	2	2				25
10	1985	18	18		4							0
11	1986		2	2	2	2	2					0
12	1987		15	23	23	23	23	8				0
13	1988		7	7	7	7	7					0
14	1989	31	21		3			9	9	9	9	10
15	1990	32	5	13	8	13	20	34	30	25	18	31
16	1991	21	21	15	15	15						0
17	1992	9	40	56	53	56	50	19	3	1	7	7
18	1993	21	25	4	17	4	4		13	13	13	13
19	1994	11	11	8	7	8	8	7	1	1	1	1
20	1995	42	26		7				1	1	1	17
21	1996	10	8	4	7	4			4	4	10	12
22	1997	45	30	10	11	10	13	13	17	44	48	63
23	1998	61	78	47	71	47	28	31	62	63	52	32
24	1999	10	3	5	1	5	5	5	4			7
25	2000								10	10	10	5
26	2001	9	9									0
27	2002	4	8	5	6	5	5				1	2
28	2003	4	4									0
29	2004		2	2	2	2	2			1	1	1
30	2005	20	13						10	14	14	21
31	2006											0
32	2007	53	43	6	15	6	4					14
33	2008											0
34	2009							7	24	24	24	24

Com base nos dados da Tabela 5 foram desenvolvidas também curvas de frequência acumulada visando estabelecer as probabilidades da cota 108m ser ultrapassada em determinado número de dias.

Os resultados das análises estão apresentados no Gráfico 5.

Gráfico 5: Probabilidade de Sobrelevação da Cota 108m nos Quadrimestres



Verifica-se no quadro acima que dentre os analisados, os quadrimestres mais críticos são: Janeiro, fevereiro, março e abril (JFMA), fevereiro, março, abril e maio (FMAM), e outubro, novembro, dezembro e janeiro (ONDJ). Os demais apresentam, grosso modo, riscos de mesma ordem de grandeza quanto ao número de dias de sobrelevação da cota 108m. Nesses quadrimestres, admitindo-se risco de 20%, o número de dias com sobrelevação varia entre 8 a 13.

Não foram analisados os quadrimestres com início em novembro e dezembro (NDJF, e DJFM). Como incorporam os meses das maiores cheias (janeiro, fevereiro e março), os riscos podem ser incluídos no grupo dos mais críticos.

Visualização das Estacas dos Blocos

Para fins de análise do número de dias em que as obras projetadas estarão submersas ou não, foi elaborada a Tabela 5 com base em análises de permanência das cotas diárias.

Tabela 5: Rio Paraná em Porto Oficial-

Dias no Ano com Cotas acima da de Referência

Cota (m)	dias do ano com níveis iguais ou superiores (%)
116	2
115	3
114	3
112	5
110	8
109	10
108	12
107	15
106	18
105	23
104	28
103	35
102	42
101	52

Por exemplo: admitindo-se a base do bloco dos pilares na cota 109m, e que a visualização das estacas se dá a partir da cota 108m, ou seja 1m abaixo, pela tabela concluí-se que as estacas estarão encobertas em 12 % do tempo ou seja, aparentes, na média, em 88% dos dias do ano.

níveis para navegação

Com o objetivo de subsidiar análises das condições de calado do rio Paraná no trecho do projeto, apresenta-se na Tabela 6, a permanência dos níveis para o período maio a novembro, que apresentam cotas médias mensais inferiores à média anual..

Tabela 6 : Rio Paraná em Porto Oficial-
Dias com Níveis Acima da Cota de Referência-
Período: maio a novembro

Cota (m)	dias com níveis iguais ou superiores (%)
100	55
99	71
98	84
97	91
96	95
95	98
94	99.5

ESTUDOS HIDRÁULICOS

PARTE 2

SUMÁRIO

	pg
OBJETIVO	37
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	37
CARACTERÍSTICAS DA OBRA DE TRAVESSIA.....	37
ANÁLISES HIDRÁULICAS	38
Rio Paraná	38
Níveis Máximos Esperados.....	38
Vazões Máximas Esperadas.....	39
Níveis e Vazões de Projeto	41
Modelo Utilizado nas Simulações	41
Sobrelevação	42
Altura Livre (freeboard)	43
Velocidade	43
Análises de Socavação	44
Socavação nos Pilares.....	45
RESULTADOS DO MODELO	47

OBJETIVO

Este documento apresenta a memória dos cálculos hidráulicos desenvolvidos para a 2ª Ponte Brasil Paraguai, sobre o rio Paraná, que interligará as cidades de Foz do Iguaçu e Ciudad Del Leste.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

No Desenvolvimento dos trabalhos foram consultados os seguintes documentos.

- Hydraulics of Bridge Waterways, HDS1, Joseph N. Bradley, FHWA, Bridge Division, março de 1978;
- HEC-RAS, River Analysis System, User´s Manual, November 2006, U.S. Army Corps of Engineers.
- Hydraulic Design Manual - Texas Department of Transportation, march 2004.
- Evaluating Scour At Bridges, fourth Edition, Hydraulic Engineering Circular nº 18 (HEC-18), Federal Highway Administration, U.S.Department of Transportation.
- Bridge Scour And Stream Instability Countermeasures Experience, Selection, and Design Guidance, Second Edition, Hydraulic Engineering Circular nº 23 (HEC-23), Federal Highway Administration, U.S.Department of Transportation.

CARACTERÍSTICAS DA OBRA DE TRAVESSIA

A nova travessia sobre o rio Paraná será realizada por meio de ponte com duas pistas cada uma com uma faixa de trânsito e acostamento. As principais características da obra são as seguintes:

- Comprimento total: 720m
- Largura do tabuleiro: 23m
- Declividade longitudinal: 1% (primeiros 100m); 2% (620m)
- Número de pilares intermediários: 02
- Dimensões dos pilares na base: 12,00m x 3,00m (direção do fluxo)
- Dimensões do blocos de Fundação: 28,00m x 36,70m (direção do fluxo)
- Cota da base dos blocos: 109,15m
- Diâmetro das estacas de fundação: 2,00m

- Linhas x colunas de estacas: 7x6
- Escondida da ponte: 0°

ANÁLISES HIDRÁULICAS

Rio Paraná

A nova ponte cruza o rio Paraná cerca de 350m a montante da foz do rio Iguaçu. A bacia hidrográfica na seção da nova obra possui superfície da ordem de 836.000km².

A ponte está localizada cerca de 30km a jusante da barragem de Itaipu. Entre a barragem e a ponte o único afluente de importância é o rio Acaraí, na margem direita, que também possui lago para geração hidroelétrica formado por barragem implantada 8km a montante da foz no rio Paraná.

No trecho de travessia o rio Paraná desenvolve-se em calha retilínea com largura na linha d'água da ordem de 400m. A inclinação das margens é da ordem de 30°.

Cerca de 400km a jusante da ponte o rio Paraná está barrado para formação do lago da usina hidroelétrica de Yacyretá, na divisa entre Paraguai e Argentina.

Em seguida à barragem o rio deixa o manto basáltico e adentra as planícies argentinas, formadas pelos seus próprios sedimentos.

Em termos geomorfológicos a ponte está localizada ainda no alto curso do rio Paraná, a uma distância de 600km, da confluência com o rio Paraguai, início do trecho médio, onde passa a correr em planície aluvial com um leito principal e largas áreas adjacentes que são inundadas por ocasião das cheias.

No trecho alto o rio corre em leito encaixado em rocha basáltica, condição que o torna praticamente incapaz de alterar seu curso, deixando-o voltado ao aprofundamento da calha.

Por não possuir leito secundário ou planície aluvial para acomodação de volumes nas enchentes, os níveis do rio Paraná no trecho da ponte, sobem e baixam rapidamente nas cheias. O reservatório de Itaipu também não possui volume para regularização e/ou amortecimento de cheias, sendo que a usina de Itaipu é classificada como a fio d'água.

A declividade do rio Paraná no trecho da nova travessia é de 0,12m/km.

Níveis Máximos Esperados

Os níveis de água máximos estimados no local da ponte a partir da série histórica, para vários períodos de retorno, são os seguintes:

**Tabela 1: Rio Paraná em Porto Oficial-
Níveis Máximos Anuais x Período de Retorno**

Cota (m)	Período de Retorno (anos)
135.87	500
132.53	200
129.97	100
127.35	50
123.78	20
120.92	10
117.82	5
112.91	2

As cheias na seção da ponte sofrem influência das descargas do rio Iguaçu que sobrelevam as águas na região da confluência provocando o alteamento dos níveis a montante. Por essa razão altos níveis na ponte nem sempre coincidem com as vazões máximas no rio Paraná na seção da ponte.

Note-se que os dois níveis mais elevados no trecho da ponte (31/05/92 e 13/06/83), foram gerados a partir de cheias onde a participação das descargas do rio Iguaçu foram superiores às do rio Paraná, na seção do rio Paraná imediatamente a jusante da foz.

Nesse sentido as máximas cheias na seção da ponte para fins de análise devem ser consideradas tanto em função dos níveis como das descargas do rio Paraná.

A velocidade da corrente na travessia, para mesmos níveis, é menor a medida que é maior a participação do rio Iguaçu nas descargas na foz.

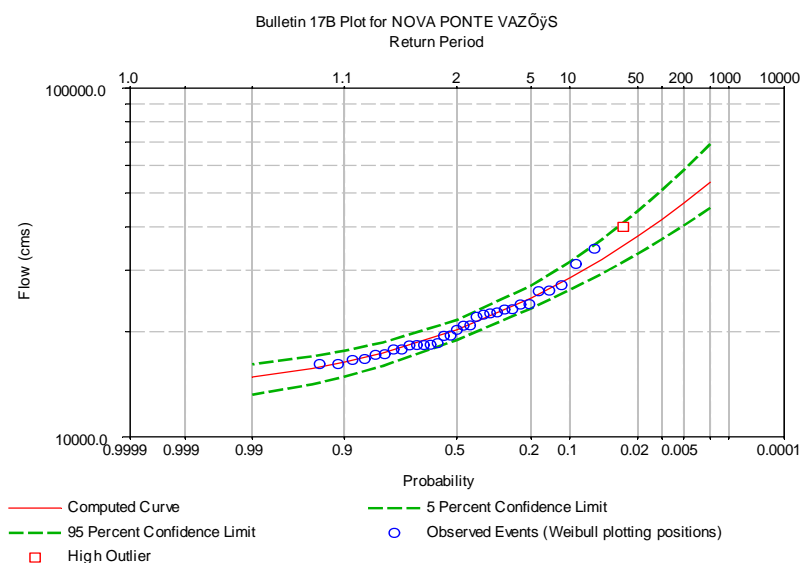
Vazões Máximas Esperadas

Com o objetivo de permitir as análises de velocidade do fluxo e do potencial de erosão na seção da ponte foram estimadas cheias para diversos períodos de recorrência.

As vazões foram estimadas a partir de série histórica utilizando-se dados de vazão do rio Paraná no posto R11, e no rio Iguaçu nos postos Hotel Cataratas e Salto Cataratas.

As vazões máximas em função de diversos períodos de recorrência estão indicadas no gráfico e tabela apresentados a seguir.

Figura 1: Cheias Máximas



**Tabela 2: Rio Paraná na Seção da Ponte
Vazões Máximas x Período de Retorno**

Vazões (m ³ /s)	Período de Retorno (anos)
500	53697.8
200	46750.1
100	41980.9
50	37581.1
20	32253.1
10	28523.7
5	24972.1
2	20271.1

Segundo informações da Itaipu Binacional os estudos realizados para o projeto da Usina Hidrelétrica de Itaipu consideraram a vazão máxima provável de 62.200m³/s.

Os dados das vazões naturais em Itaipu e dos postos do rio Iguaçu mostram o aumento das contribuições da bacia com o tempo. Entretanto não se identificou essa tendência quando analisadas as máximas do período histórico.

Por essa razão as estimativas das máximas enchentes foram feitas a partir dos dados da série histórica. Não foram considerados efeitos como alterações no uso do solo da bacia, mudanças no regime de chuvas, ou o efeito do amortecimento devido aos vários reservatórios existentes a montante.

Níveis e Vazões de Projeto

As vazões de projeto referentes ao período de retorno de 100 anos e 500 anos, são as seguintes:

- Vazão com período de retorno de 100 anos: $Q_{100} = 41.980,9\text{m}^3/\text{s}$
- Vazão com período de retorno de 500 anos: $Q_{500} = 53.697,8\text{m}^3/\text{s}$

Os níveis de projeto referentes ao período de retorno de 100 anos e 500 anos, são os seguintes:

- Nível d'água com período de retorno de 100 anos: $N.A._{100} = 129,97\text{m}$
- Nível d'água com período de retorno de 500 anos: $N.A._{500} = 135,87\text{m}$

Conforme já explicado os níveis acima indicados não estão relacionados às vazões de cheias de mesma recorrência.

Modelo Utilizado nas Simulações

Para fins de verificação do desempenho hidráulico da seção da ponte foram realizadas análises hidráulicas por meio do modelo HEC-RAS, desenvolvido pelo U.S. Corps of Engineers.

O modelo foi desenvolvido para realizar simulações hidráulicas unidimensionais, sendo que os dimensionamentos de projeto foram feitos no regime permanente, onde os procedimentos de cálculo são fundamentados basicamente na equação da energia.

Os dados de entrada são constituídos por seções da calha ao longo dos cursos d'água, obtidas a partir de informações topográficas, coeficientes de rugosidade dos vários segmentos de cada seção e distância entre as seções. Outros dados necessários dependendo da condição de simulação são as declividades do curso d'água a montante e jusante das seções extremas, e níveis máximos esperados a montante ou jusante.

Nas simulações de pontes o programa cria duas seções nas faces extremas do tabuleiro, resultado da interpolação de dados de seções próximas. Os cálculos hidráulicos para a ponte são desenvolvidos por meio dessas seções as quais são denominadas de seção interna a montante e seção interna a jusante.

No modelo foram lançadas as seções transversais disponíveis na região da ponte, utilizando-se também seções transversais disponíveis para os postos fluviométricos.

As simulações consideraram o escoamento no regime uniforme sendo utilizados como condições de contorno as informações de níveis das réguas dos postos fluviométricos.

Sobrelevação

A sobrelevação é o aumento do nível d'água a montante resultante da obstrução do fluxo devido à diminuição da seção do canal para a implantação da ponte. A ponte força a contração do fluxo na passagem o qual volta a se expandir em seguida.

No caso da ponte do rio Paraná as simulações para o caudal de projeto para a situação com ponte e sem ponte mostraram que a sobrelevação é pouco significativa.

Os encontros da ponte estão situados bem acima do nível d'água máximo, razão pela qual nesse aspecto a obra não estreita a calha natural do rio.

A redução da calha se dá pela presença dos pilares na seção hidráulica, principalmente das estacas e blocos de fundação em função de suas dimensões.

Entretanto as análises desenvolvidas mostraram que a sobrelevação dos níveis em função dos pilares alcançam valores bastante reduzidos sendo da ordem de 1cm, a uma distância da ordem de 25m a montante do eixo da travessia.

Apesar de não ser possível representar no modelo, na projeção dos pilares, em seção imediatamente a montante, é de se prever a formação de elevação em duas dimensões, com a superfície da água mais alta no alinhamento dos pilares e mais baixa lateralmente, com a diferença tendendo a se igualar a medida que se avança a montante.

Os resultados da sobrelevação obtidos para a cheia centenária são os indicados no quadro a seguir.

Quadro 1 – Sobrelevação de Níveis para Q_{100} e Q_{500}

Recorrência	Condição	Seção 25m a montante	Seções internas à Ponte		Seção 25m a jusante
			montante	jusante	
Q_{100}	Com ponte (m)	125,41	125,38	125,38	125,40
	Sem ponte (m)	125,40	125,40	125,40	125,40
	Sobreelevação	0,01	-0,02	0,02	-
Q_{500}	Com ponte (m)	131,91	313,87	131,89	131,91
	Sem ponte (m)	131,90	131,89	131,91	131,91
	Sobreelevação	0,01	-0,02	-0,02	-

Altura Livre (freeboard)

A altura livre (ou freeboard), além de manter o fluxo na condição de canal ainda que haja presença de ondas, deve ser suficiente para permitir a passagem de material transportado pelo rio nas cheias.

No caso da ponte em questão, tendo em vista a altura do tabuleiro em relação ao nível d'água, a verificação é feita somente para atender critérios de projeto.

A parte inferior do tabuleiro na parte mais baixa está na cota 160m.

A borda livre disponível é a seguinte:

- Borda livre para $N.A._{100} = 129,97m$; $160,00-129,97m = 30,03m$
- Borda livre para $N.A._{500} = 135,87m$; $160,00-135,87m = 24,13m$

O valor é bem superior ao valor do freeboard de projeto, que geralmente é de 1,0m.

Velocidade

A velocidade da água resultante do estreitamento da seção proporcionado pela estrutura deve assegurar que não resultem em risco para a obra ou o aumento de danos nas propriedades adjacentes, como erosões etc.

As velocidades médias obtidas na seção da obra para Q_{100} e Q_{500} são as indicadas no quadro a seguir:

Quadro 2 – Velocidades Médias na Seção da Ponte

Vazão	Descrição	Seções sob a ponte	
		seção montante	seção jusante
Q ₁₀₀	Velocidade média na seção (m/s)	2,35	2,30
	Nº de Froude	0,13	0,12
Q ₅₀₀	Velocidade média na seção (m/s)	2,51	2,47
	Nº de Froude	0,13	0,12

Nas **Figuras 5 e 6**, é possível visualizar a distribuição da velocidade nas seções da travessia.

Análises de Socavação

A ponte sobre o rio Paraná possui pilares intermediários sobre blocos e estacas localizados dentro da calha do rio. Os encontros estão localizados bem acima dos níveis máximos de inundação previstos, razão pela qual não necessitam ser avaliados quanto às condições de interferência no fluxo.

Somente os blocos e pilares se constituem em obstáculos ao fluxo direcionando-os às laterais.

Conforme dados do perfil geológico elaborado a partir de sondagens na seção dos pilares tem-se a seguinte composição geológica nos apoios:

Apoio AP2:

- (a1) areia granulometria média, muito compacta, espessura: 6,0m a 8,0m.
- (b1) basalto básico: composição muito escura, textura de grãos finos, alteração (A3 medianamente alterada), fraturamento (F4 rocha extremamente fraturada), qualidade da rocha R4 (má), RQD 30% a 36%.
- (c1) basalto básico: composição muito escura, textura de grãos finos, alteração (A3 medianamente alterada), fraturamento (F3 muito fraturada), qualidade da rocha R3 (regular), recuperação de 55% a 62%.
- (d1) basalto básico: composição muito escura, textura de grãos finos, alteração (A2 rocha pouco alterada, fraturamento (F3 muito fraturada), qualidade da rocha R2 (boa), RQD 82% e 84%.
-

pilar AP3

- (a2) argila siltosa com presença de pedregulhos, consistência ao longo do perfil da camada variando entre média, rija e dura; espessura 5m a 8m.
- (b2) basalto básico: composição muito escura, textura de grãos finos, alteração (A4 medianamente a muito alterada), fraturamento (F5 rocha fragmentada), qualidade da rocha R5 (má a péssima), RQD 9% a 30%; espessura 4m a 6m.
- (c2) basalto básico: composição muito escura, textura de grãos finos, alteração (A2 a A3 medianamente ou pouco alterada), fraturamento (F2 e F3, fraturada e muito fraturada), qualidade da rocha R2 e R3 (regular e boa), RQD 53% a 78%; espessura 8m a 10m.
- (d2) basalto básico: composição muito escura, textura de grãos finos, alteração (A1 rocha sã), fraturamento (F2 fraturada), qualidade da rocha R2 (boa), RQD 88% e 90%.

Socavação nos Pilares

Um efeito típico nos pilares é a formação de redemoinhos verticais e horizontais que criam erosões no entorno das obras.

Para estimar a profundidade de socavação é utilizada a equação desenvolvida pela Colorado State University (CSU).

A equação que estima a máxima profundidade de socavação é calculada por meio da seguinte equação:

$$\frac{y_s}{y_1} = 2.0K_1K_2K_3K_4 \left(\frac{a}{y_1} \right)^{0.65} \left(\frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} \right)^{0.43}$$

Onde:

- y_s = profundidade de socavação (m)
- y_1 = Profundidade do fluxo de aproximação (m).
- K_1 = Fator de correção de forma do pilar.
- K_2 = Fator de correção para o ângulo de ataque do fluxo.
- K_3 = Fator de correção para a rugosidade geral do fluxo.
- K_4 = Fator de correção por graduação dos materiais.
- a = largura do pilar (m).

- V_1 = velocidade média do fluxo imediatamente a montante do pilar (m/s).

Os cálculos da socavação foram desenvolvidos com apoio do programa HEC-RAS.

A camada inicial do apoio AP2 é constituída por areia grossa enquanto a do apoio AP3 é de argila. A metodologia de cálculo acima explicitada foi desenvolvida para solos não coesivos. A profundidade máxima de socavação em pilares localizados em solos coesivos é a mesma da em solo não coesivo. A diferença é o tempo em que o fenômeno se desenvolve. Em solos arenosos a profundidade máxima de socavação é alcançada em horas ou em uma única cheia, enquanto pode levar dias ou vários eventos de cheia em solos coesivos de argila.

No caso do rio Paraná os cálculos da profundidade de socavação levaram em consideração a camada inicial de depósito fluvial e também a camada de rocha alterada. A cota dos topos das camadas bem como do limite de socavação estão indicados no quadro a seguir:

Quadro 3 – Limites de Socavação

<i>pilar</i>	<i>material de fundo-cota de topo</i>				<i>Cota limite de socavação (m)</i>
	<i>(m)</i>				
	<i>tipo (a)</i>	<i>tipo(b)</i>	<i>tipo (c)</i>	<i>tipo (d)</i>	
Apoio 2	90,68	85,41	81,65	74,58	80,97
Apoio 3	111,33	104,31	100,33	90,02	102,36

Da tabela acima verifica-se que a socavação praticamente remove os materiais referentes ao horizonte (a) e (b), razão pela qual as fundações não devem considerar o efeito de confinamento proporcionado pelas camadas (a) e (b).

RESULTADOS DO MODELO

A seguir são apresentados Tabelas e Gráficos com os resultados do modelo de simulação.

Figura 2 – Linha d’água no trecho da ponte para Q100

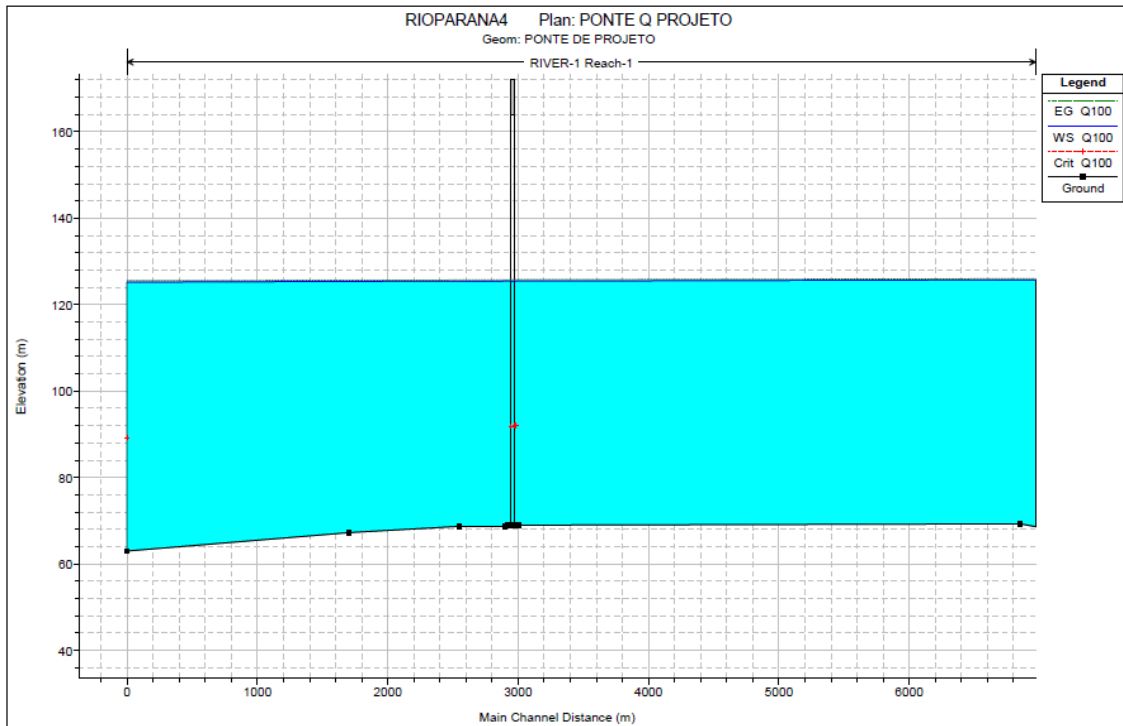


Figura 3 – Linha d’água no trecho da ponte para Q500

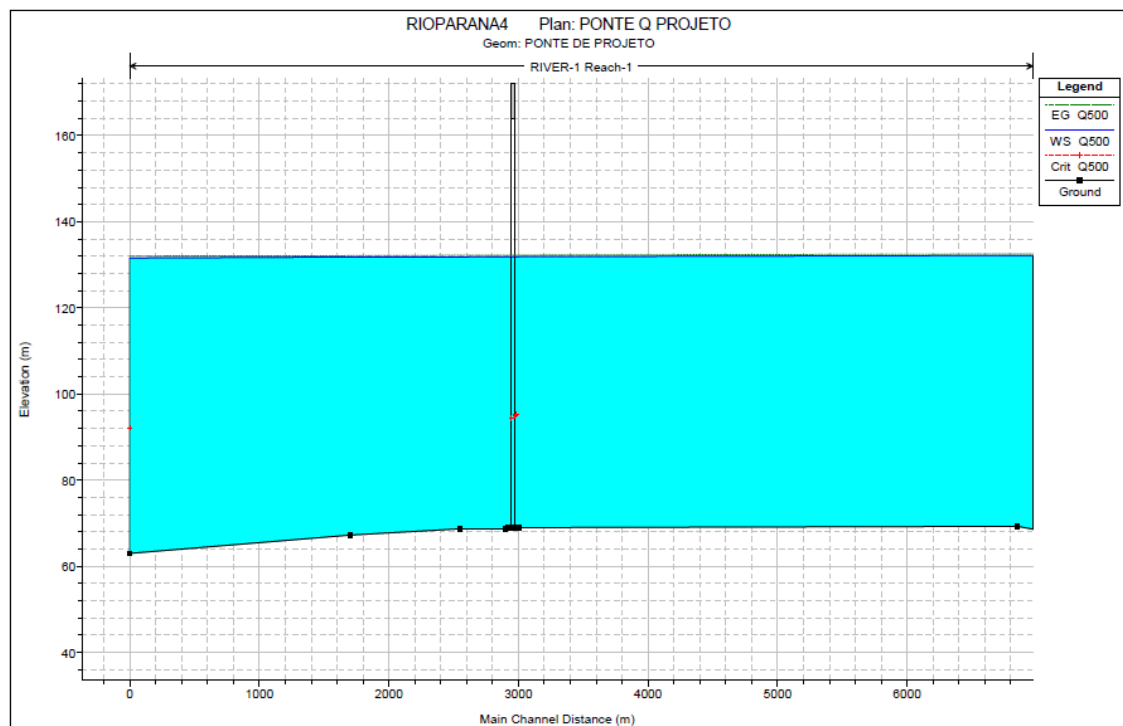


Figura 4 – Seção sob a ponte, face montante -Q100

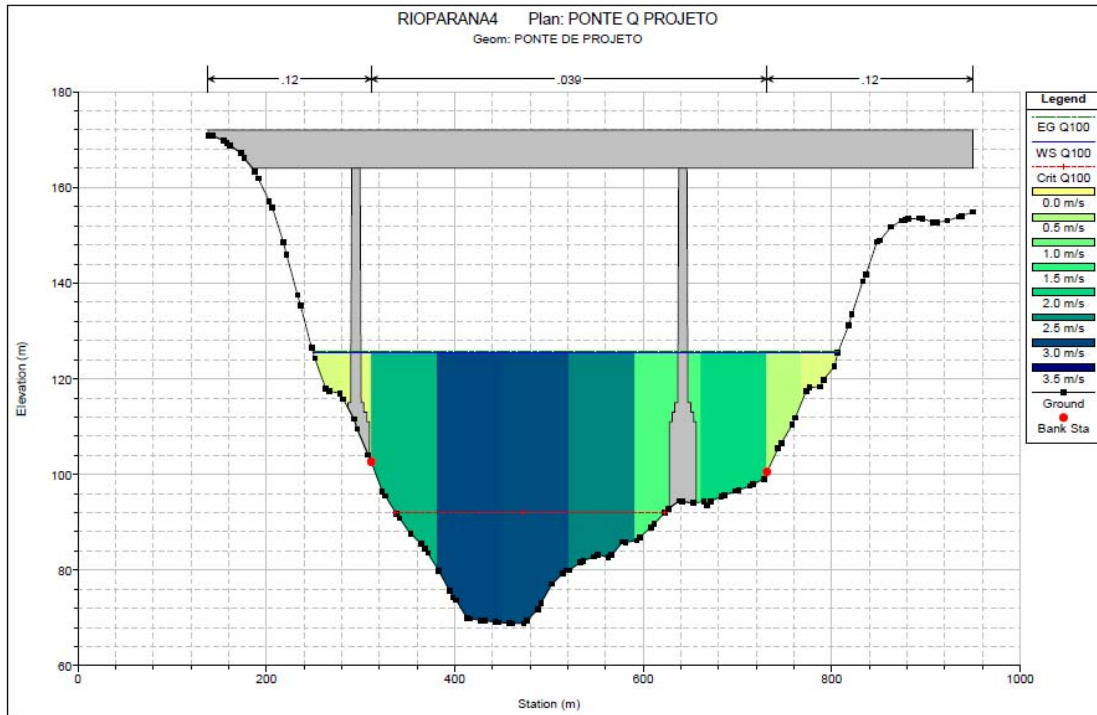


Figura 5 – Seção sob a ponte – face jusante - Q100

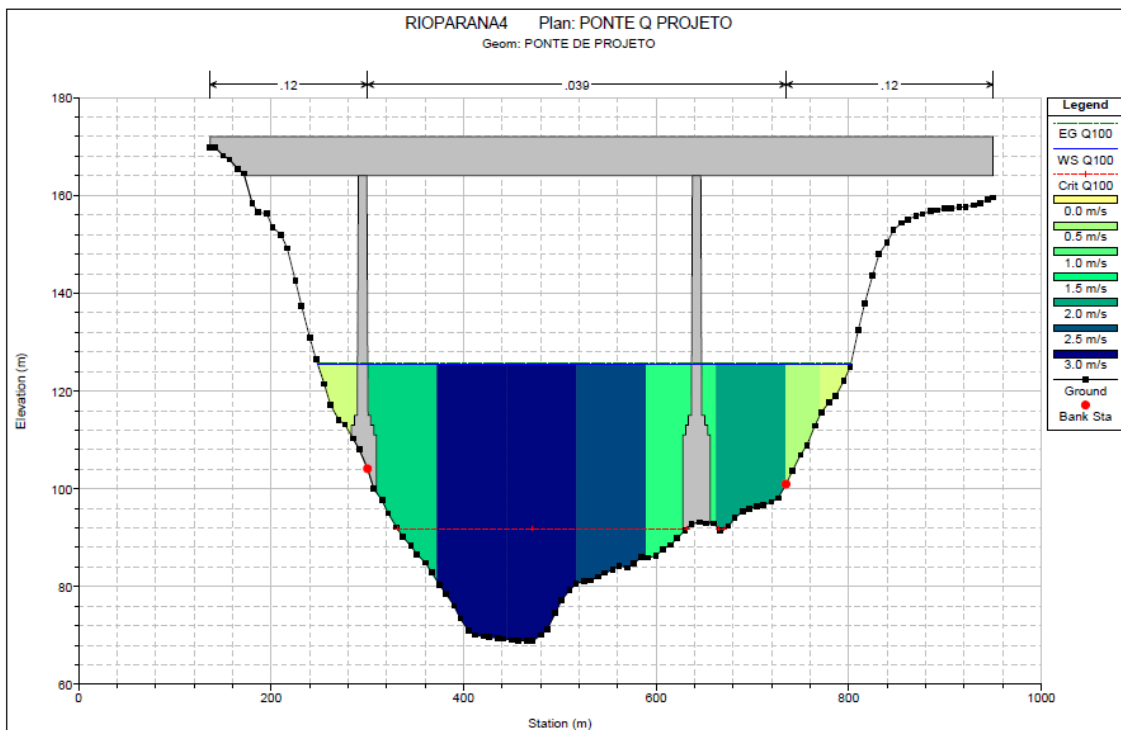


Figura 6 – Seção sob a ponte , face montante –Q500

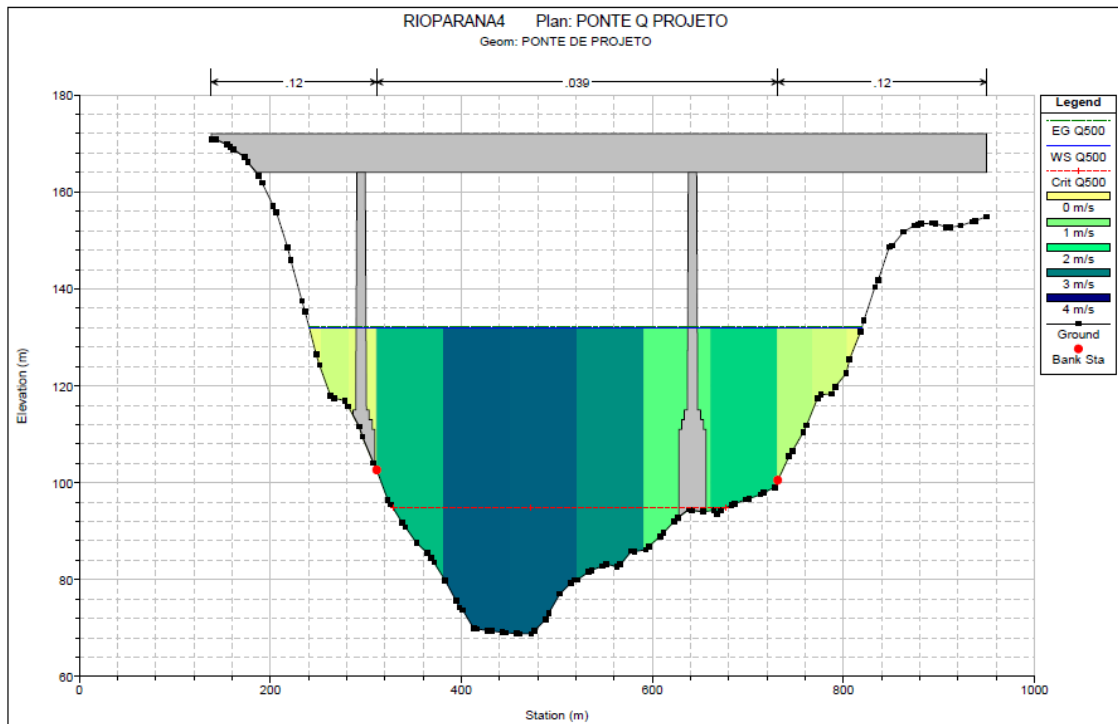
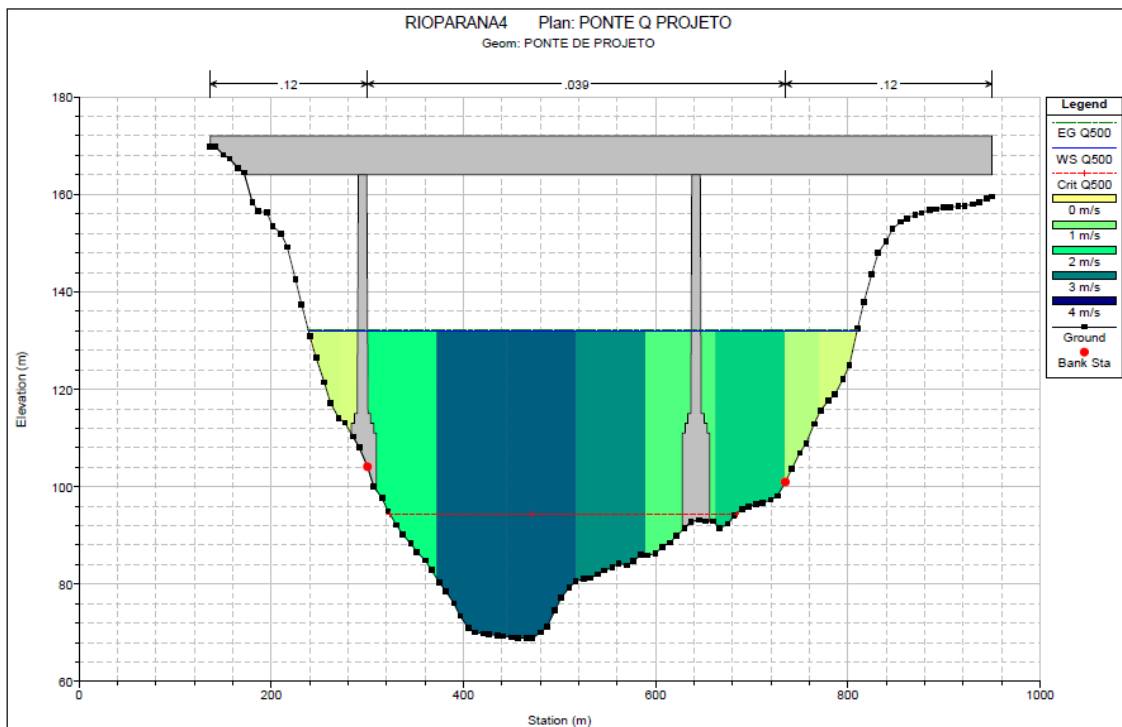


Figura 7 – Seção sob a ponte, face jusante –Q500



Quadro 4 – Tabela de Resultados Seções sob a Ponte – Q100

Plan: PQ RIVER-1 Reach-1 RS: 3.1 Profile: Q100

E.G. US. (m)	125.77	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	125.48	E.G. Elev (m)	125.76	125.76
Q Total (m3/s)	41980.89	W.S. Elev (m)	125.45	125.46
Q Bridge (m3/s)	41980.89	Crit W.S. (m)	92.08	91.86
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	56.62	56.59
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.35	2.30
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	17896.15	18290.49
Weir Submerg		Froude # Chl	0.13	0.12
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	381894.90	393103.40
Min El Weir Flow (m)	172.00	Hydr Depth (m)	33.40	34.33
Min El Prs (m)	164.00	W.P. Total (m)	648.99	655.38
Delta EG (m)	0.02	Conv. Total (m3/s)	4538173.0	4520722.0
Delta WS (m)	0.00	Top Width (m)	535.80	532.82
BR Open Area (m2)	41845.38	Frctn Loss (m)	0.00	0.00
BR Open Vel (m/s)	2.35	C & E Loss (m)	0.01	0.01
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	23.14	23.60
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	54.28	54.17

Quadro 5 – Tabela de Resultados Seção sob a Ponte – Q500

Plan: PQ RIVER-1 Reach-1 RS: 3.1 Profile: Q500

E.G. US. (m)	132.26	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	131.91	E.G. Elev (m)	132.25	132.24
Q Total (m3/s)	53697.80	W.S. Elev (m)	131.87	131.89
Q Bridge (m3/s)	53697.80	Crit W.S. (m)	94.85	94.42
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	63.04	63.02
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.51	2.47
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	21412.03	21773.37
Weir Submerg		Froude # Chl	0.13	0.12
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	512345.10	525925.80
Min El Weir Flow (m)	172.00	Hydr Depth (m)	38.39	39.57
Min El Prs (m)	164.00	W.P. Total (m)	699.72	702.34
Delta EG (m)	0.02	Conv. Total (m3/s)	5738794.0	5681805.0
Delta WS (m)	0.00	Top Width (m)	557.69	550.20
BR Open Area (m2)	41845.38	Frctn Loss (m)	0.00	0.00
BR Open Vel (m/s)	2.51	C & E Loss (m)	0.01	0.01
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	26.27	27.15
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	65.89	66.97