

CEMIG

Geração e Transmissão S.A.

RELATÓRIO TÉCNICO

↑
Relatório
Técnico

PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA CAJURU

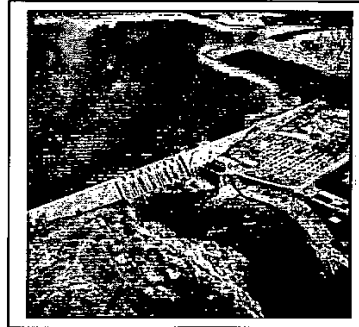
Belo Horizonte, abril/2010

SUMÁRIO

FORMULÁRIO TÉCNICO	1
RELATÓRIO TÉCNICO	4
CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	4
ESTUDOS DE VAZÕES	6
ESTUDO DE VIDA ÚTIL DO RESERVATÓRIO.....	18
DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS	20
CURVAS DE PERMANÊNCIA	21
REGRA OPERATIVA	27
OPERAÇÃO DO DESCARREGADOR DE FUNDO	31
MANUTENÇÃO DO FLUXO DE ÁGUA A JUSANTE	32
DOCUMENTO DE AUTORIZAÇÃO	33
ARRANJO GERAL DO EMPREENDIMENTO	37
LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	39

APROVEITAMENTO DE POTENCIAL HIDRELÉTRICO

Definição: Aproveitamento de um curso de água para a produção de energia elétrica, podendo ser feito com ou sem acumulação de água. O represamento tem função de acumular, durante épocas de chuvas, um volume de água suficiente para que seja suprida a necessidade no período de seca. Quando não há o represamento, não existe a interrupção do escoamento natural do curso d'água, que passa pelas turbinas e vertedouro, denominando-se aproveitamento hidrelétrico a fio d'água.



Orientações para preenchimento

- Itens Obrigatórios: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.5 e 10
- O item 9 "Reservatório", deverá ser obrigatoriamente preenchido, caso o aproveitamento possua reservatório. Caso contrário, será obrigatório, dentro do item 9, somente o subitem 9.5 referente à "Tomada d'água", e se houver Canal de Adução, o subitem 9.6.
- A descrição do empreendimento deverá ser de forma sucinta.
- Casos específicos deverão ser descritos no Relatório Técnico.
- Para a elaboração do Relatório Técnico deverá ser observado o Plano Diretor de Recursos Hídricos de Bacia Hidrográfica, quando houver.

MODULO 1 - IDENTIFICAÇÃO

→ Formulário Técnico (IGAM)

Data	FOB Nº 648402/2009
------	--------------------

1. Requerente Pessoa Física

Nome							
CPF				Identidade			
Endereço							
Distrito		Caixa Postal		UF		CEP	
DDD	Telefone	Fax		e-mail			

2. Requerente - Pessoa jurídica

Nome / Razão social Cemig Geração e Transmissão S.A.							
Nome fantasia - Cemig Geração e Transmissão S.A.				CNPJ 06.981.176/0001-58			
Endereço Av. Barbacenam 1200				Município Belo Horizonte			
Distrito		Caixa Postal		UF Minas Gerais		CEP 30190-131	
DDD 31	Telefone 3506-4188	Fax 3275-3061		e-mail recursoshidricos@cemig.com.br			
Inscrição estadual 062.322141.0098				Inscrição municipal			

3. Endereço p/ correspondência

() Repetir Campo 1 () Repetir Campo 2

Destinatário Cemig GT - Gerência de Planejamento Energético - PO/PE							
Endereço Av. Barbacena, 1200 14º andar				Município Belo Horizonte			
Distrito		Caixa Postal		UF Minas Gerais		CEP 30190-131	
DDD 31	Telefone 3506-4188	Fax 3275-3061		E-mail			

4. Responsável técnico pelo processo de outorga

Nome / Empresa Nelson Benício Marques Araújo			CREA 40682/D		ART		
Endereço Av. Barbacena, 1200 - 14º andar			Município Belo Horizonte				
Distrito		Município Belo Horizonte		UF MG		CEP 30190-131	
DDD 31	Telefone 3506-4091	Fax 3275-3061		e-mail recursoshidricos@cemig.com.br			

5. Uso dos recursos hídricos

Localidade: Carmo do Cajuru - MG			
Obra Implantada - Sim		Data da Implantação	1959
Renovação de Portaria - Não	Número e data		
Portaria com Condicionantes			
Possui Projeto Básico -- Não			

6. Descrição geral do empreendimento

A UHE Cajuru está localizada no rio Pará, bacia do Rio São Francisco, no município de Carmo do Cajuru, zona centro-oeste de Minas Gerais, distante aproximadamente 130km de Belo Horizonte. Foi construída entre 1952 e fins de 1953. Inicialmente construída com a finalidade de regularizar a geração na usina de Gafanhoto e evitar as perdas de produção nos períodos de estiagem, entrou em operação em 1959, quando foi instalada a máquina com potência de 7,2MW.

MODULO 2 – MODO DE USO**7. Coordenadas geográficas do trecho de intervenção**

(*) Assinalar Datum (Obrigatório):		<input checked="" type="checkbox"/> SAD 69 <input type="checkbox"/> WGS 84 <input type="checkbox"/> Córrego Alegre					
(*) Formato Lat/Long		Latitude			Longitude		
		20°	14'	14"	44°	45'	14"
Formato UTM (X, Y)		525.706			7.762.241		
* Fuso ou Meridional para formato UTM							
Fuso <input type="checkbox"/> 22 <input checked="" type="checkbox"/> 23 <input type="checkbox"/> 24				Meridiano central <input type="checkbox"/> 39° <input checked="" type="checkbox"/> 45° <input type="checkbox"/> 51°			

8. Modo de intervenção

8.1 Localização e características hidrológicas do ponto de intervenção	
Município Margem Direita	Carmo do Cajuru
Município Margem Esquerda	Divinópolis
Curso de água	Rio Pará
Bacia estadual: SF2 – Rio Pará	Bacia federal - Rio São Francisco
Área de drenagem a montante do ponto de intervenção (km ²) - 2.270,6	
Declividade de toda extensão do curso de água do início à foz (m/m) - 0,00427	

9. Estruturas Hidráulicas

9.1 Reservatório			
Possui Reservatório? Sim			
Comprimento do reservatório (km) - 19,139		Perímetro do Reservatório (km) - 77,813	
Largura Média (km) - 1,2158		Vida Útil (anos) - 315	
Área do reservatório (km ²) - 23,27		Tempo de Residência (h) - 1415	
9.1.1 Nível d'água a montante		9.1.2 Nível d'água a jusante	
NA máximo maximorum (m) - 756,80 m		NA máximo normal (m) - 740,70	
NA máximo normal (m) - 756,31 m		NA médio (m) - 735,80	
NA mínimo normal (m) - 748,30 m		NA mínimo normal (m) - 735,10	
9.1.3 Área inundada		9.1.4 Volumes	
NA máximo maximorum (m ²) -		Volume total (hm ³) - 192,700	
NA máximo normal (km ²) - 23,29		Volume Útil (hm ³) - 132,700	
NA mínimo normal (km ²) - 10,63		Volume Morto (hm ³) - 60,000	
9.1.5 Descarga de fundo			
Dispositivo que garantirá a vazão remanescente?	Válvula/Elétrico	Vazão a ser descarregada (m ³ /s)	150

9.2 Barragem				
Tipo do maciço - Concreto/Terra		Cota da Crista (m) - 757,31		
Comprimento da Crista (m) - 341,00				
9.3 Vertedouro				
Tipo - Controlado		Comprimento da soleira (m)		
Nº de vãos - 8		Cota da Crista (m) - 753,30		
Vazão de projeto (m³/s)	881,753	Capacidade máxima de vertimento (m³/s)	810	Período de retorno (anos):
Tipo de dissipador de energia		Bacia de dissipação em rocha		
Máxima lâmina d'água para vazão de Projeto (m)		3,00		
9.4 Comportas Vertedouro				
Tipo - Segmento		Número de comportas - 8		
Acionamento - Elétrico				
Altura - 3m				
9.5 Tomada d'água				
Número de vãos - 01				
Largura (m)				
9.6 Canal de Adução				
Possui Canal de Adução? não		Revestimento		
Extensão		Q projeto (m³/s)		

10. Circuito de alta pressão

10.1 Turbinas	
Tipo - Kaplan	
Número de unidades - 1	
Queda Líquida (m) - 16,80	
Queda Bruta (m) - 17,20	
Queda de Referência (m) - 16,80	
Vazão nominal (m³/s) - 40	
Vazão nominal unitária (m³/s) - 40	
Potência Nominal Unitária (MW) - 7,2	
Energia Firme - 3,86 MWmédio	
Energia Média - 3,86 MWmédio	
Vazão Mínima Operativa (%)	

11. Documentos para apresentação

- Justificativa da realização da intervenção

Aproveitamento do potencial hidrelétrico para geração de energia elétrica.

- **Caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica**

O entendimento do regime pluviométrico é um dos mais importantes para os estudos climáticos. Tal importância deve-se às consequências que as chuvas podem ocasionar, quando ocorrem em excesso (precipitação intensa), nos setores produtivos da sociedade, tanto econômico como social, causando enchentes, assoreamentos dos rios, quedas de barreiras, etc. Da mesma forma que nas regiões e/ou períodos de escassez de chuva, a seca, pode trazer transtornos sociais e econômicos.¹

Na bacia do Pará, onde está localizado o empreendimento, as características pluviométricas são similares ao sudeste brasileiro, com duas estações bem definidas. Por sua localização geográfica, região oeste (Figura 1), sofre a influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais como a Frente Polar Atlântica (FPA) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul atuando no inverno, e a predominância de sistemas convectivos associados ao aquecimento continental e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) atuando no verão, caracterizando assim as duas já citadas estações, uma seca (inverno) e outra chuvosa (verão)². Fatores como a latitude e a topografia interagem com a circulação atmosférica contribuindo para a grande diversificação nos valores da precipitação pluviométrica.³

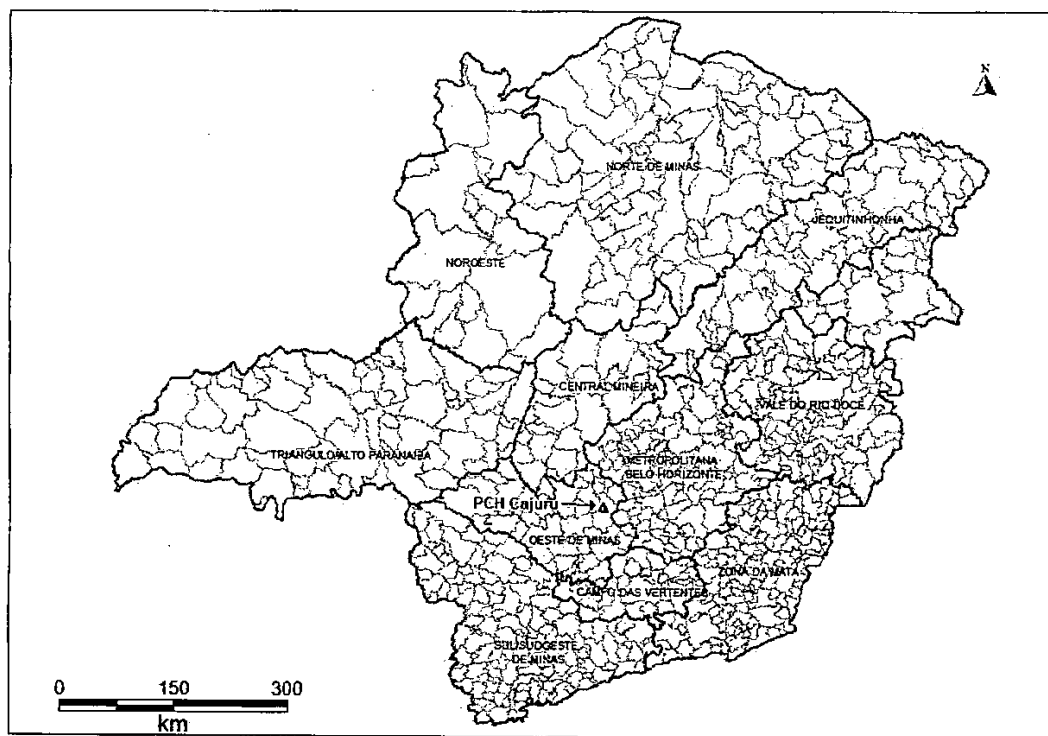


Figura 1- Localização geográfica da PCH Cajuru

¹ AYOADE, J.O; *Introdução à Climatologia para os Trópicos*; 9ª ed. – Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2002.

² NIMER, E., *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE, 1979.

³ MAIA, L., F., P., G. *Alguns Aspectos dinâmicos-climatológicos em Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Viçosa, UFV, 1986. Pág, 44.

A distribuição média mensal das chuvas na região da PCH Cajuru varia em torno de 115 mm com picos elevados nos meses de janeiro e dezembro, 270 e 294 mm respectivamente e meses com escassez hídrica próximos a 15 mm em junho, julho e agosto (Figura 2). A média anual de precipitação está próxima a 1388 mm, com mais de 80% deste total ocorrendo dentro do período chuvoso, que se estende de outubro a março (ano hidrológico).

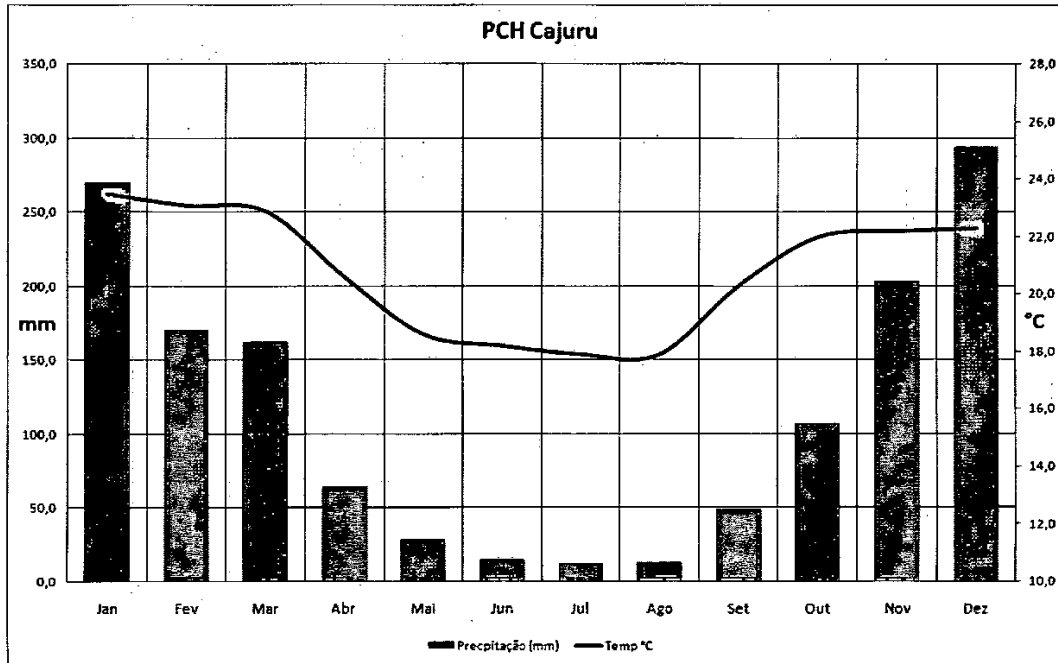


Figura 2 – Chuva média mensal para a bacia hidrográfica do empreendimento.

Os meses de abril a setembro são meses com declínio no nível pluviométrico em virtude da variação da radiação que chega a superfície causando enfraquecimento da baixa pressão e dando lugar (fortalecendo) a alta pressão. No caso da região do empreendimento, o Anti-Ciclone do Atlântico Sul. Os destaques são os meses de junho, julho e agosto, pois são meses com menores índices pluviométricos do ano na região. É comum o registro de ausência de precipitação no trimestre mais seco do ano como chuvas intensas no período chuvoso, devido aos fatores meteorológicos associados à topografia local. Este comportamento está completamente de acordo com o ciclo anual da atividade convectiva na região. Contudo, devido à dinâmica atmosférica e a ação de vários elementos interagindo e alterando esta dinâmica, tanto a estação seca quanto a chuvosa podem prolongar-se ou sofrer atrasos.

Segundo a classificação de Koppen, o clima da bacia hidrográfica da PCH Cajuru é Tropical (Cwa), onde a temperatura média do mês mais frio é inferior a 20°C e as chuvas ocorrem no verão, e o inverno é seco.

- Estudos de vazões máximas, médias e de mínimas (para cálculo da $Q_{7,10}$)

Estudo de vazões mínimas

I – Introdução

Esse estudo refere-se à estimativa da vazão $Q_{7,10}$, do rio Pará no local da Pequena Central Hidrelétrica Cajuru, para subsidiar o processo de Outorga dessa unidade de geração. A vazão $Q_{7,10}$, corresponde à vazão média mínima de sete dias associada ao período de retorno de 10 anos numa determinada seção fluvial.

II - Metodologia para Estimativa da Vazão $Q_{7,10}$ do Rio Pará em PCH Cajuru

Para obtenção da série de vazões diárias no rio Pará, em PCH Cajuru, foram utilizados os dados da estação fluviométrica de Carmo do Cajuru para o período de 1931-1952 e da estação Ponte do Vilela para o período de 1953-2008. Os postos encontram-se no rio Pará e possuem áreas de drenagem próximas à da PCH Cajuru. As tabelas a seguir, obtidas do sistema HidroWeb, da Agência Nacional de Águas, caracterizam as estações.

Dados da Estação	
Código	40150000
Nome	CARMO DO CAJURU
Código Adicional	-
Bacia	RIO SÃO FRANCISCO (4)
Sub-bacia	RIOS SÃO FRANCISCO,PARAOPEBA E (40)
Rio	RIO PARÁ
Estado	MINAS GERAIS
Município	DIVINÓPOLIS
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-20:10:52
Longitude	-44:47:38
Área de Drenagem (km ²)	2402

Tabela 1.1 – Dados da estação Carmo do Cajuru

Dados da Estação	
Código	40130001
Nome	PONTE DO VILELA
Código Adicional	-
Bacia	RIO SÃO FRANCISCO (4)
Sub-bacia	RIOS SÃO FRANCISCO,PARAOPEBA E (40)
Rio	RIO PARÁ
Estado	MINAS GERAIS
Município	ITAGUARA
Responsável	CEMIG
Operadora	CEMIG
Latitude	-20:23:53
Longitude	-44:37:20
Área de Drenagem (km ²)	1620

Tabela 1.2 – Dados da estação Ponte do Vilela

Estimativa da $Q_{7,10}$ para a PCH Cajuru:

A partir da série de vazões médias diárias para o rio Pará em Ponte do Vilela, foi obtida a amostra das vazões médias mínimas de sete dias para cada ano. A adoção da estação Ponte do Vilela se justifica pelo fato dela estar localizada na mesma bacia do empreendimento e também a montante da PCH Cajuru, que a partir de 1953 proporcionou certa regularização das vazões do rio Pará no trecho de jusante. A amostra de vazões é apresentada na tabela a seguir:

Rio Pará em ponte do Vilela	
Ano	Q média mínima de 7 dias : Q_{7min} (m ³ /s)
1939	10,00
1940	8,22
1941	#N/D
1942	#N/D
1943	#N/D
1944	#N/D
1945	#N/D
1946	#N/D
1947	#N/D
1948	#N/D
1949	#N/D
1950	#N/D
1951	7,49
1952	#N/D
1953	9,64
1954	#N/D
1955	#N/D
1956	8,72
1957	#N/D
1958	#N/D
1959	#N/D
1960	#N/D
1961	#N/D

1962	#N/D
1963	#N/D
1964	#N/D
1965	12,22
1966	7,17
1967	8,74
1968	9,03
1969	6,44
1970	7,30
1971	4,06
1972	8,43
1973	9,04
1974	9,64
1975	8,03
1976	8,96
1977	8,42
1978	8,41
1979	9,92
1980	#N/D
1981	#N/D
1982	#N/D
1983	#N/D
1984	#N/D
1985	#N/D
1986	#N/D
1987	#N/D
1988	#N/D
1989	#N/D
1990	#N/D
1991	#N/D
1992	#N/D
1993	12,30
1994	9,17
1995	8,89
1996	7,73
1997	17,04
1998	10,25
1999	7,45
2000	7,68
2001	5,52
2002	4,34
2003	5,46
2004	7,21
2005	9,19
2006	7,79
2007	4,06
2008	5,16

Tabela 1.3 - Amostra de vazões mínimas médias de 7 dias
Obs.: #N/D – falha de dados

Determinada a amostra das vazões médias mínimas de sete dias Q_{7min} , procede-se o estudo de análise de frequência de vazões mínimas, descrito a seguir. Ordena-se a amostra em ordem crescente e calcula-se para cada elemento sua posição de plotagem $(i/n+1)$, que corresponde à probabilidade de ocorrência de valor inferior. Plota-se os valores Q_{7min} versus o inverso da posição de plotagem, que equivale ao período de retorno TR, em anos. Ajusta-se, então, uma curva (manualmente) ou a distribuição de Weibull aos pontos plotados e busca-se o valor associado ao TR de 10 anos. Como o valor de interesse, a vazão média mínima de sete dias associada ao período de retorno de dez anos, encontra-se na faixa observada da curva, recomenda-se o ajuste gráfico. Os resultados da análise de frequência encontram-se representados na tabela e gráfico a seguir.

Análise de Frequência da Q_{7min}			
Vazões Médias Mínimas de 7 dias em Ordem Crescente	Nº de Ordem (i)	Prob=i/(n+1) (X < que)	TR= 1/P (anos)
4,06	1	2,70%	37,00
4,06	2	5,41%	18,50
4,34	3	8,11%	12,33
5,16	4	10,81%	9,25
5,46	5	13,51%	7,40
5,52	6	16,22%	6,17
6,44	7	18,92%	5,29
7,17	8	21,62%	4,63
7,21	9	24,32%	4,11
7,30	10	27,03%	3,70
7,45	11	29,73%	3,36
7,49	12	32,43%	3,08
7,68	13	35,14%	2,85
7,73	14	37,84%	2,64
7,79	15	40,54%	2,47
8,03	16	43,24%	2,31
8,22	17	45,95%	2,18
8,41	18	48,65%	2,06
8,42	19	51,35%	1,95
8,43	20	54,05%	1,85
8,72	21	56,76%	1,76
8,74	22	59,46%	1,68
8,89	23	62,16%	1,61
8,96	24	64,86%	1,54
9,03	25	67,57%	1,48
9,04	26	70,27%	1,42
9,17	27	72,97%	1,37
9,19	28	75,68%	1,32
9,64	29	78,38%	1,28
9,64	30	81,08%	1,23
9,92	31	83,78%	1,19
10,00	32	86,49%	1,16
10,25	33	89,19%	1,12
12,22	34	91,89%	1,09
12,30	35	94,59%	1,06
17,04	36	97,30%	1,03

Tabela 1.4 – Análise de Frequência Vazões Mínicas

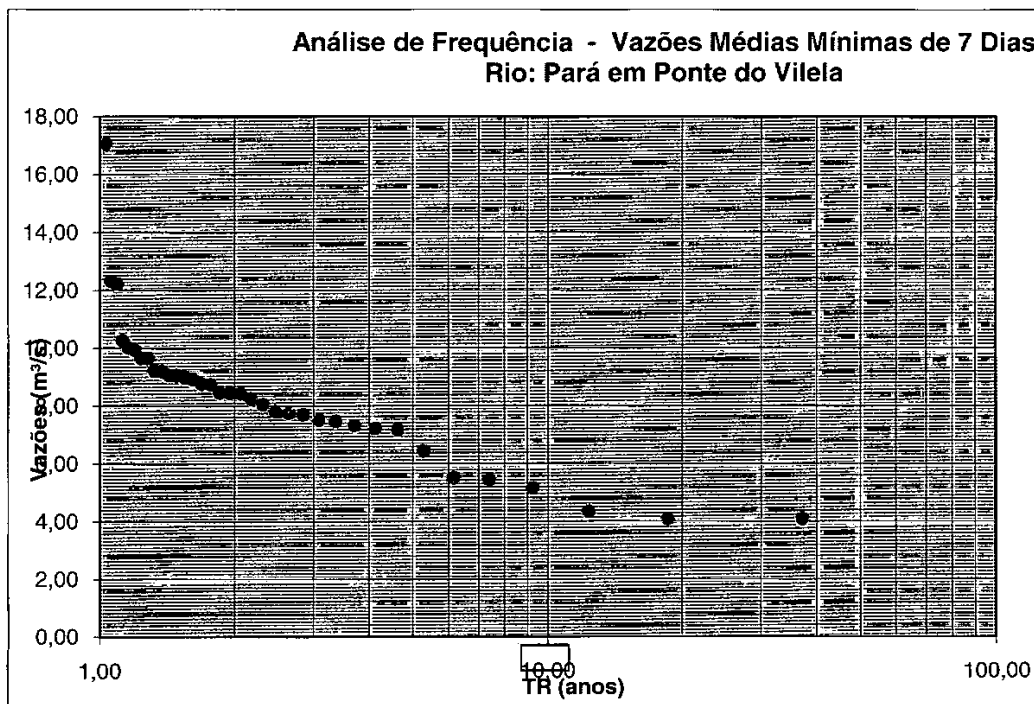


Figura - 1.1 - Análise gráfica de vazões mínimas

Pelo ajuste gráfico, obtém-se o valor da vazão mínima de sete dias de 4,7 m³/s associada ao período de retorno de 10 anos para o rio Pará em Ponte do Vilela.

Pelo ajuste da distribuição probabilística de Weibull, utilizando-se o software ALEA - desenvolvido pela EE-UFMG, obtém-se 5,07m³/s.

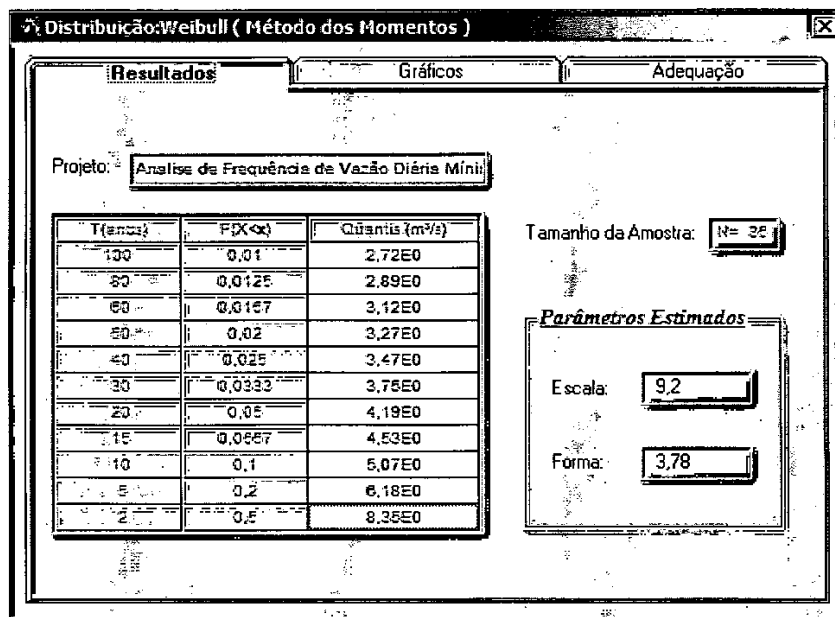


Figura 1.2 - Resultado extraído da análise de frequência no modelo ALEA - UFMG

Como a distribuição probabilística de Weibull não apresentou um bom ajuste à calda inferior, e como o período de retorno está dentro da faixa observada, a bibliografia recomenda que se adote o ajuste gráfico, portando a $Q_{7,10}$ adotada será de $4,7\text{m}^3/\text{s}$ para o rio Pará em Ponte do Vilela. Para obtenção da $Q_{7,10}$ no local da usina, a partir da vazão em Ponte do Vilela, será adota a equação $Q_{PCH\text{ Cajuru}} = 1,406 * Q_{Ponte\ do\ Vilela}$, obtendo-se $Q_{7,10}$ em PCH Cajuru igual a $6,6\text{ m}^3/\text{s}$.

Estudo de vazões médias mensais

A PCH Cajuru está localizada na Bacia do rio São Francisco, no município de Itaguara, na região central de Minas Gerais. O curso de água principal é o rio Pará, afluente do rio São Francisco.

A seguir é apresentada a série de vazões médias mensais para a PCH Cajuru, atualizada até 2008, baseada na série de Carmo do Cajuru com a equação

$$Q_{PCH\text{ Cajuru}} = 0,949 * Q_{Carmo\ do\ Cajuru} \quad \text{para o período de 1931 até 1952}$$

e na série do posto Ponte do Vilela com a equação

$$Q_{PCH\text{ Cajuru}} = 1,406 * Q_{Ponte\ do\ Vilela} \quad \text{para o período de 1953 até 2008:}$$

SÉRIE DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m^3/s)

Janeiro de 1931 a Dezembro de 2008

ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1931	35,91	32,40	90,43	88,67	42,05	26,95	21,25	17,47	13,78	15,72	17,47	25,46	35,63
1932	70,06	28,71	24,58	15,45	12,29	14,66	13,70	10,80	8,53	6,26	22,56	45,57	22,76
1933	106,23	51,89	39,77	31,08	31,26	26,78	21,77	19,40	14,66	16,51	18,61	77,44	37,95
1934	63,83	22,30	16,51	16,33	14,75	10,97	10,89	10,18	10,18	10,10	13,96	18,61	18,22
1935	77,08	85,86	47,59	65,67	37,93	19,75	14,57	13,61	13,08	9,75	14,49	46,27	37,14
1936	34,59	29,32	42,58	24,85	18,79	12,55	10,36	8,14	8,48	13,17	29,67	51,01	23,63
1937	116,09	44,76	44,05	32,12	30,30	24,00	18,52	15,14	13,94	30,89	61,11	130,56	46,79
1938	77,62	79,61	58,30	42,69	42,58	30,35	25,57	24,87	22,78	32,41	46,49	89,14	47,70
1939	116,55	109,81	54,88	43,52	35,90	29,47	27,67	21,94	19,03	21,29	18,64	40,51	44,93
1940	42,85	58,13	66,76	33,34	27,79	21,51	16,80	13,74	14,07	20,39	46,28	53,07	34,56
1941	75,73	46,87	54,21	50,86	30,18	26,51	23,56	17,81	20,21	20,52	22,65	55,27	37,03
1942	86,34	43,62	50,97	34,39	26,84	22,78	20,06	16,29	17,20	30,39	37,02	62,73	37,39
1943	126,31	78,79	90,17	52,56	39,09	34,52	28,31	25,44	23,80	26,27	26,61	59,14	50,92
1944	43,38	79,77	53,27	33,97	26,90	22,55	18,51	15,46	13,40	14,34	21,31	36,34	31,60
1945	46,83	78,65	43,88	48,46	30,39	25,84	21,11	16,83	15,24	18,75	32,53	55,20	36,14
1946	73,49	32,74	50,46	47,30	30,68	25,81	21,30	16,78	14,83	24,16	27,09	30,46	32,92
1947	52,18	52,41	98,72	45,38	33,34	28,49	24,88	21,85	29,48	21,11	21,62	47,39	39,74
1948	55,86	48,13	50,65	30,42	23,24	20,68	16,59	13,82	12,39	14,33	47,02	119,55	37,72
1949	86,81	117,53	53,93	39,53	30,84	27,79	21,38	18,17	20,16	21,41	27,64	83,19	45,70
1950	77,65	93,33	61,78	47,47	33,76	26,78	22,00	17,48	16,49	18,71	64,11	71,08	45,89
1951	51,04	87,50	74,50	55,26	35,55	28,08	22,85	18,71	14,75	14,91	12,55	31,94	37,30
1952	49,51	82,78	93,32	48,59	31,70	28,98	21,46	16,92	15,72	17,93	19,73	38,32	38,75
1953	32,36	27,57	25,06	45,73	22,92	18,39	17,21	16,69	18,65	17,20	25,36	47,24	26,20
1954	32,23	43,02	23,70	32,50	24,02	17,44	13,50	11,47	9,57	10,97	40,66	39,58	24,89
1955	77,15	47,54	35,50	27,99	18,28	16,87	13,66	11,59	9,60	16,45	25,54	71,78	30,99
1956	58,65	35,07	49,43	26,80	23,79	22,25	19,06	16,84	20,07	16,73	21,19	85,44	32,94
1957	61,24	54,07	62,36	71,94	43,71	28,65	23,09	19,55	26,18	18,17	45,96	72,51	43,95

PCH CAJURU

1958	38,87	48,91	34,93	27,60	27,07	20,62	21,40	13,78	17,51	31,26	21,31	38,87	28,51
1959	38,06	33,84	60,78	27,33	17,23	14,09	11,87	10,79	9,12	14,45	35,00	40,74	26,11
1960	80,52	79,17	77,37	34,96	30,96	24,44	20,15	16,15	15,31	19,56	26,75	43,40	39,06
1961	121,82	143,80	99,28	49,44	35,74	24,28	19,15	16,01	12,81	11,52	16,29	19,45	47,47
1962	41,51	49,35	24,80	15,79	13,61	11,99	10,51	9,89	13,07	17,83	22,55	71,56	25,21
1963	48,74	46,15	23,11	13,66	11,18	10,47	10,02	9,89	8,72	10,72	11,46	63,46	22,30
1964	84,42	68,75	59,12	18,74	16,16	11,55	12,05	10,52	8,27	13,68	27,95	53,21	32,03
1965	126,14	146,05	126,38	44,34	33,96	24,64	20,92	18,03	20,90	23,59	35,14	70,98	57,59
1966	152,97	59,70	82,66	33,37	20,75	18,12	17,59	14,47	16,58	33,11	57,78	67,23	47,86
1967	95,01	112,69	63,37	51,99	34,92	28,81	23,06	18,44	17,69	20,94	46,77	51,82	47,13
1968	65,94	55,10	49,96	37,50	24,70	20,74	19,10	18,42	25,90	26,03	23,73	100,57	38,97
1969	68,03	47,16	46,26	24,32	18,96	20,25	17,20	15,06	14,21	24,15	47,30	72,62	34,63
1970	66,42	53,68	31,53	25,97	20,05	17,80	18,69	14,02	16,93	25,93	35,91	23,31	29,19
1971	18,35	17,01	15,91	12,89	9,53	14,45	9,37	8,29	11,37	17,79	56,15	103,56	24,55
1972	46,99	41,72	57,10	38,95	25,59	21,05	28,94	17,73	16,53	23,75	56,67	75,39	37,53
1973	75,99	56,64	43,99	38,22	28,16	24,39	22,04	18,75	17,62	26,63	36,14	57,98	37,21
1974	93,04	44,35	61,12	46,52	31,34	27,11	24,15	20,24	17,43	22,32	20,47	43,97	37,67
1975	79,95	56,00	33,94	30,83	23,11	18,63	21,53	15,54	13,48	20,87	61,80	46,18	35,15
1976	31,47	37,14	27,97	20,33	17,07	17,58	18,60	16,39	32,64	28,98	42,48	63,43	29,51
1977	70,11	55,75	45,78	37,02	24,61	21,83	18,89	15,61	18,57	15,09	31,06	44,08	33,20
1978	107,91	45,68	39,61	31,62	32,35	29,60	23,63	18,68	17,65	19,82	38,33	44,25	37,43
1979	90,23	153,69	91,35	53,11	39,76	32,28	31,43	27,24	28,10	25,01	44,08	87,70	58,67
1980	161,78	81,27	47,23	68,48	36,26	37,12	29,17	22,71	20,92	27,06	41,20	120,61	57,82
1981	84,76	53,81	51,87	32,96	27,94	29,85	22,48	20,90	16,99	30,73	58,68	67,40	41,53
1982	110,31	62,93	75,28	49,81	38,36	33,11	28,80	24,69	20,29	36,51	42,66	79,54	50,19
1983	155,49	118,38	109,82	82,57	68,74	92,11	53,29	42,55	49,11	71,61	111,32	153,10	92,34
1984	73,75	50,74	43,05	43,64	33,07	28,12	24,70	24,94	28,99	29,22	28,44	83,88	41,04
1985	175,53	113,11	112,14	61,85	45,36	38,28	33,92	30,47	30,25	28,99	33,09	51,39	62,86
1986	90,10	81,47	53,39	35,66	32,93	27,34	24,33	27,05	20,12	16,22	19,82	106,63	44,59
1987	82,23	57,42	48,90	44,26	31,64	28,14	24,06	21,24	22,78	20,13	26,09	62,39	39,11
1988	41,61	55,59	45,28	32,13	25,09	22,84	19,37	17,30	14,55	22,12	26,02	31,10	29,42
1989	41,64	45,24	48,27	27,52	21,69	20,01	18,39	18,54	15,96	17,04	27,79	46,79	29,07
1990	45,74	29,63	33,27	26,22	23,01	17,45	17,41	17,04	18,03	15,22	18,34	24,48	23,82
1991	94,34	60,77	41,26	44,23	26,47	23,52	21,18	18,60	17,82	31,87	19,97	34,09	36,18
1992	121,45	118,07	55,57	44,35	38,38	29,85	26,36	22,91	25,41	25,27	51,47	60,61	51,64
1993	59,19	83,60	65,06	54,48	36,09	34,66	25,14	22,00	20,76	26,13	24,07	34,52	40,48
1994	91,37	40,38	55,63	36,64	33,11	25,23	20,68	17,21	14,48	15,45	16,41	43,43	34,17
1995	30,30	86,88	47,27	37,10	24,63	18,59	15,66	12,91	13,56	18,73	22,53	73,98	33,51
1996	81,24	37,56	39,76	22,28	18,66	15,07	13,46	12,83	16,37	14,64	54,62	67,87	32,86
1997	69,64	55,34	54,55	41,77	30,61	41,08	36,59	31,16	30,25	30,56	35,96	67,15	43,72
1998	57,19	62,67	43,56	33,06	33,56	31,01	21,97	23,14	16,44	23,63	31,06	46,20	35,29
1999	44,44	32,90	69,06	33,90	24,57	20,72	17,98	13,93	14,96	14,30	28,40	41,43	29,72
2000	66,91	61,57	57,92	36,06	25,45	21,05	19,21	16,08	19,67	13,57	24,28	36,19	33,16
2001	55,08	24,53	20,95	15,40	13,50	10,96	9,35	8,82	9,43	10,72	21,69	68,86	22,44
2002	54,33	74,86	47,11	24,04	18,64	13,99	12,05	9,55	10,28	8,31	23,13	16,98	26,11
2003	101,73	54,32	62,90	30,59	22,33	16,68	13,98	11,87	10,09	9,40	16,31	60,79	34,25
2004	86,29	83,04	52,77	37,30	26,06	24,40	20,68	15,15	12,34	12,73	13,39	83,66	38,98
2005	120,08	80,65	99,86	49,85	46,39	32,88	25,72	20,36	20,38	16,37	42,99	89,82	53,78
2006	45,79	53,19	51,73	29,58	21,60	17,48	14,36	12,30	14,04	16,45	23,49	58,43	29,87
2007	132,18	75,74	34,71	27,45	19,22	14,90	12,38	10,23	7,64	10,42	20,38	44,05	34,11
2008	49,31	82,84	79,30	47,76	23,12	17,20	12,77	10,16	11,07	9,29	14,66	129,74	40,60
Média	75,56	63,63	55,14	38,44	28,23	24,07	20,33	17,28	17,30	20,44	32,32	60,94	37,81
Mínima	18,35	17,01	15,91	12,89	9,53	10,47	9,35	8,14	7,64	6,26	11,46	16,98	12,00
Máxima	175,53	153,69	126,38	88,67	68,74	92,11	53,29	42,55	49,11	71,61	111,32	153,10	98,84

Tabela 2.1 – Série de vazões médias mensais

A tabela 2.1 e a figura 2.1 apresentam a série de vazões médias mensais do rio Pará em PCH Cajuru, para o período de 1931 a 2008, resultando uma Vazão MLT de 37,81 m³/s.

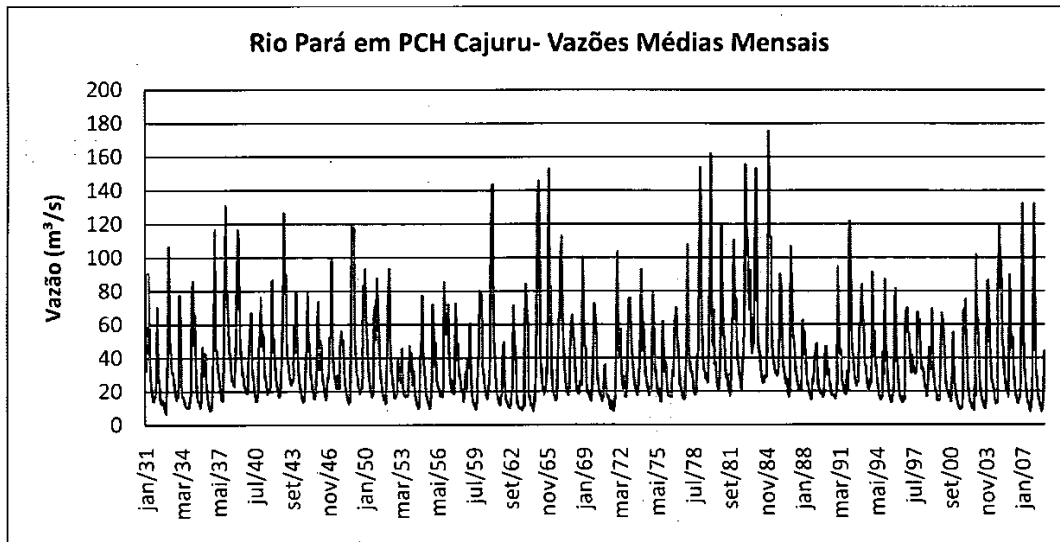


Figura 2.1 – hidrograma de vazões médias mensais do rio Pará em PCH Cajuru

A figura 2.2 mostra o resumo do regime hidrológico do rio Pará em PCH Cajuru, com representação das vazões médias mensais máximas, médias e mínimas do período 1931 a 2008.

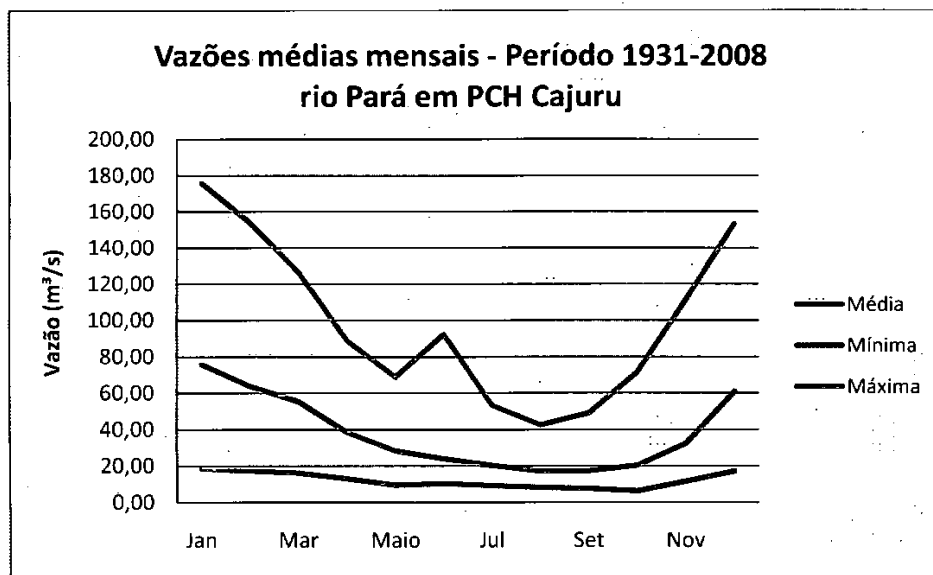


Figura 2.2 – Vazões Médias Mensais Máximas, Médias e Mínimas do Rio Pará em PCH Cajuru

A tabela 2.2 e a figura 2.3 apresentam a curva de permanência das vazões médias mensais do rio Pará em PCH Cajuru, período 1931 a 2008. A vazão Q95% corresponde a 11,44 m³/s.

% Tempo Vazões <= Q	Q _{MM} (m ³ /s)	% Tempo Vazões <= Q	Q _{MM} (m ³ /s)
0%	175,53	50%	28,46
5%	91,36	55%	26,05
10%	76,54	60%	24,15
15%	62,38	65%	22,06
20%	54,33	70%	20,43
25%	48,16	75%	18,65
30%	44,16	80%	17,30
35%	38,93	85%	15,92
40%	34,39	90%	13,97
45%	31,18	95%	11,44
50%	28,46	100%	6,26

Tabela 2.2 - Curva de Permanência de Vazões Médias Mensais do rio Pará em PCH Cajuru

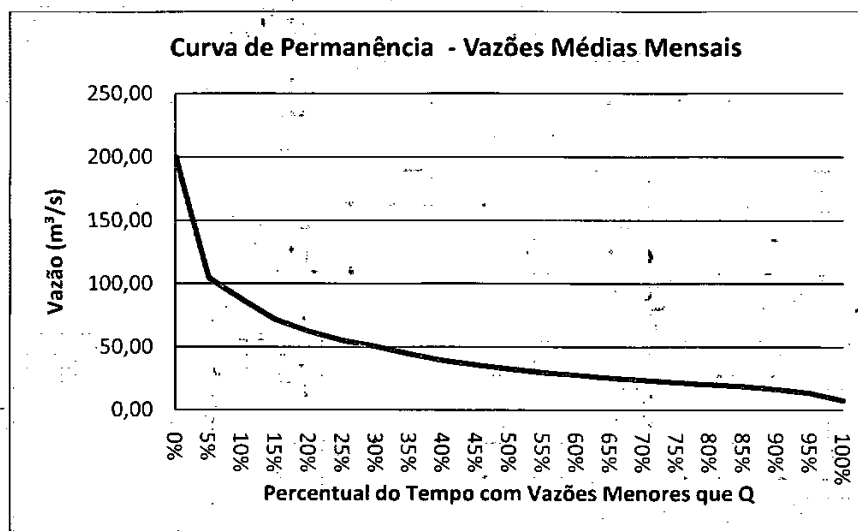


Figura 2.3 - Curva de Permanência de Vazões Médias Mensais do rio Pará em PCH Cajuru

1971	233,30
1972	154,28
1973	109,13
1974	134,52
1975	153,34
1976	79,59
1977	118,53
1978	226,72
1979	129,82
1980	#N/D
1981	#N/D
1982	#N/D
1983	#N/D
1984	#N/D
1985	#N/D
1986	#N/D
1987	#N/D
1988	#N/D
1989	#N/D
1990	#N/D
1991	#N/D
1992	#N/D
1993	102,20
1994	182,04
1995	270,60
1996	174,30
1997	620,00
1998	109,80
1999	141,40
2000	107,40
2001	203,00
2002	118,80
2003	214,70
2004	329,10
2005	246,20
2006	111,00
2007	249,80
2008	476,80

Tabela 3.1 - Amostra de vazões máximas médias diárias
Obs.: #N/D – falha de dados

A figura a seguir mostra o resultado do ajuste da amostra de vazões máximas médias diárias do rio Pará em Ponte do Vilela, sendo a distribuição Exponencial a que apresentou o melhor ajuste, além de ser a distribuição de probabilidade recomendada pela Eletrobrás quando a assimetria da amostra é superior a 1,5, a qual no caso de Ponte do Vilela foi da ordem de 2,5.

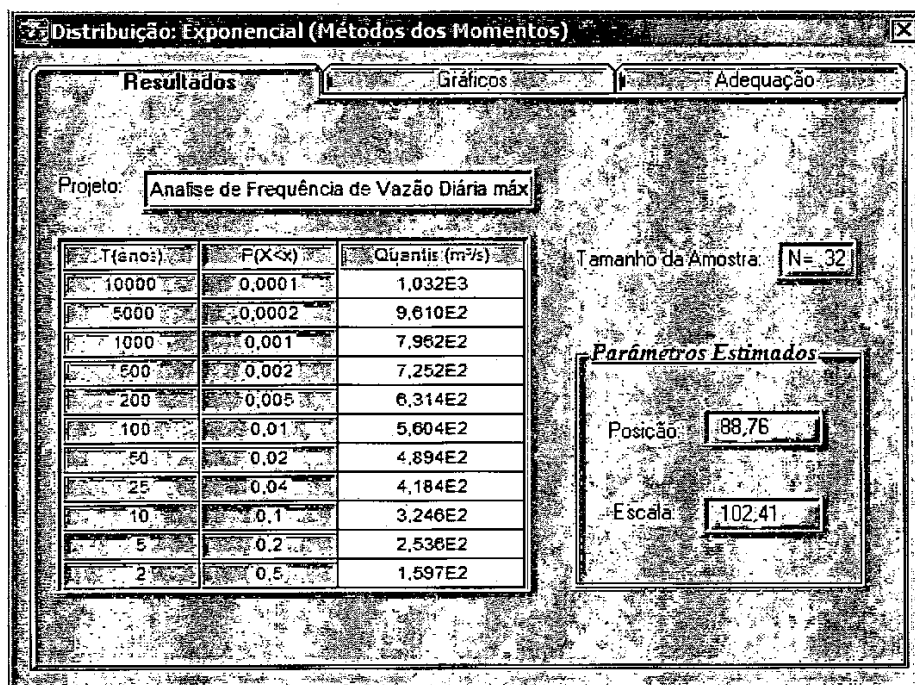


Figura 1 - Análise de frequência do rio Pará em PCH Cajuru, extraída do software ALEA – UFMG

A Tabela 3.2 mostra o resultado obtido para a PCH Cajuru.

RESERVATÓRIO PCH CAJURU			
TR	Q médias diárias máximas Ponte do Vilela	Q médias diárias máximas PCH Cajuru	Q máximas instantâneas PCH Cajuru
Anos	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
2	160	220	278
5	254	350	442
10	325	447	565
25	418	575	727
50	489	673	850
100	560	771	974
200	631	869	1097
500	725	998	1260
1000	796	1096	1384
5000	961	1323	1671
10000	1032	1421	1794

Tabela 3.2 - Vazões extremas obtidas para o rio Pará em PCH Cajuru.

• Estudos sedimentológicos e de determinação da vida útil do reservatório

A PCH Cajuru está localizada no rio Pará, o qual possui posto sedimentométrico instalado na região do posto Porto Pará. Dadas as grandes incertezas associadas à determinação do transporte de sedimentos em cursos d'água, serão adotados como referência para a estimativa do aporte de sedimentos ao reservatório da PCH Cajuru, os resultados contidos na referência "Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros - Eletrobrás", o PEMS de 70 t/km²/ano, que é o valor para rio Pará na estação Porto Pará. Considerando um transporte de arraste da ordem de 35% do transporte em suspensão, teríamos uma descarga sólida total de 95 t/km²/ano. Assim, estima-se que o aporte de sedimentos ao reservatório da PCH Cajuru seja da ordem de 241.300 t/ano.

A composição média deste sedimento, calculada a partir dos resultados de análises de laboratório das amostras coletadas, é dada abaixo:

Composição Média do Sedimento Total em Porcentagem

- cascalho	5
- areia	30
- silte	63
- argila	2

O peso específico do sedimento afluente ao reservatório, com base na composição média dada acima e englobando cascalho e areia em uma só classe, foi estimado usando-se o método e pesos específicos descritos em Lara, J. M. - Pemberton, E. L. - Initial Unit Weight of Deposited Sediments - Bureau of Reclamation, 1963, através da fórmula:

$$Pe = 0,01602 (0,35 \times 97 + 0,63 \times 71 + 0,02 \times 35) = 1,27 \text{ ton/m}^3$$

Usando os pesos correspondentes a reservatório cuja operação exigirá abaixamentos moderados (Tipo II).

Previsão de Vida Útil do Reservatório

A previsão de vida útil do reservatório de Cajuru foi estimada adotando-se uma capacidade de retenção de 100% e não considerando a compactação do sedimento, pela expressão:

$$T = \frac{V \times Pe}{Qst} \times 10^6$$

Qst

onde:

T	vida útil do reservatório de Cajuru (anos)
V	volume morto do reservatório (hm ³)
Pe	peso específico do sedimento (ton/m ³)
Qst	descarga sólida total média de longo termo (ton/ano)

$$T = \frac{60 \times 1,27 \times 10^6}{241300} = 315 \text{ anos,}$$

que é a estimativa da provável vida útil do reservatório de Cajuru. Esse valor, apesar de elevado, é coerente devido às dimensões do reservatório e ao rio Pará ser um dos afluentes do rio São Francisco que apresenta menor aporte de sedimentos.

• **Dimensionamento das Estruturas Hidráulicas**

Barragem
Tipo - concreto / gravidade Comprimento (m) - 438 Altura máxima (m) - 23

Reservatório	
NAs de montante NA Máximo Maximorum (m) - 756,80 m NA Máximo Normal (m) - 756,31 m NA Mínimo (m) - 748,30 m Depleção máxima (m) - 8	Áreas inundadas No NA Máximo Normal (km ²) - 23,29 No NA Mínimo Normal (km ²) - 10,63
Volumes Volume total (hm ³) - 192,70 Volume útil (hm ³) - 132,70 Volume morto (hm ³) - 60,00	Canal de Fuga NA Máximo (m) - 740,70 NA Médio (m) - 735,80 NA Mínimo (m) - 735,10
Outras Informações Comprimento do reservatório (km) - 19,139 Largura média (km) - 1,2158 Perímetro (km) - 77,813	

Características Hidráulicas do Vertedouro	
Válvula de Fundo Tipo - cônica Quantidade - 2 Largura (m) - 2,44m de diâmetro na cota 738,02	Comportas Tipo - segmento Quantidade - 8 Largura (m) - 9,1 Altura (m) - 3

Tomada D'água
Características Tomada de água incorporada à barragem e situada na margem esquerda do rio. Um conduto de 4,5m de diâmetro e 28,2m de comprimento e engolimento máximo de 40m ³ /s.

• Tabela de permanência das vazões durante todo o período de dados

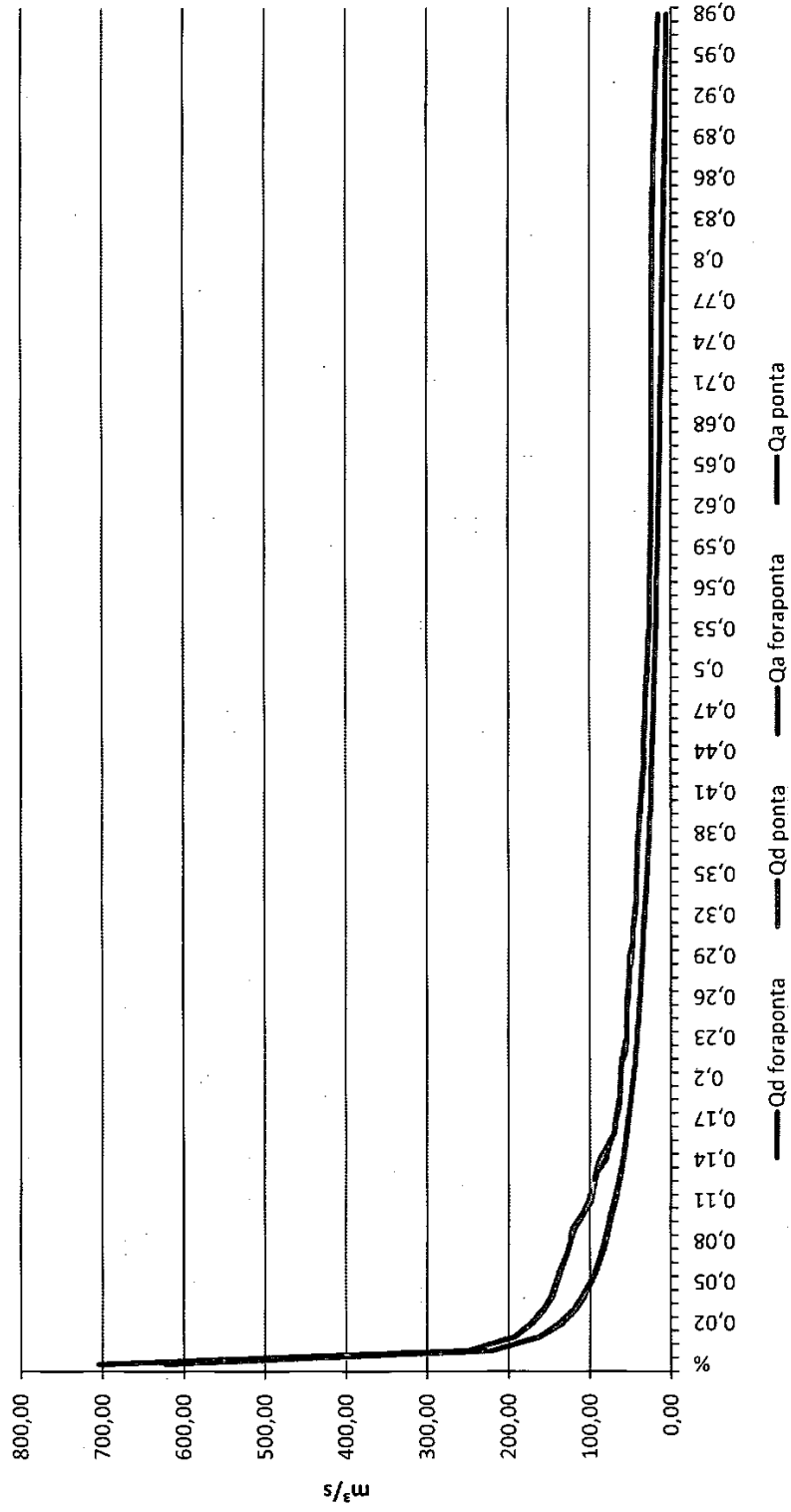
Permanência	Aflúente fora de ponta	Defluente fora de ponta	Aflúente ponta	Defluente ponta
0	622,66	704,52	622,66	704,52
0,01	221,20	249,52	223,84	249,10
0,02	162,29	192,33	163,12	193,06
0,03	134,14	170,72	139,10	172,75
0,04	117,51	156,08	120,79	158,22
0,05	106,92	145,49	109,71	147,86
0,06	98,67	140,16	100,05	142,07
0,07	91,37	134,76	92,67	136,40
0,08	84,98	128,28	86,88	128,83
0,09	80,11	123,88	81,89	123,97
0,1	76,58	118,18	78,33	121,82
0,11	72,62	108,26	74,31	110,04
0,12	68,25	97,80	69,87	101,26
0,13	65,04	94,87	66,10	96,68
0,14	61,38	91,52	62,43	92,87
0,15	58,91	80,18	59,42	88,53
0,16	56,39	76,72	56,88	79,07
0,17	54,44	69,96	54,92	70,15
0,18	52,51	67,71	52,99	68,17
0,19	50,59	63,45	50,59	64,80
0,2	48,24	62,22	48,24	62,45
0,21	46,37	61,48	46,37	61,62
0,22	44,49	61,29	44,49	61,36
0,23	43,08	55,50	43,08	58,11
0,24	41,68	54,75	41,68	54,84
0,25	40,43	54,55	40,43	54,63
0,26	39,19	54,26	38,94	54,34
0,27	37,95	52,51	37,95	53,56
0,28	36,96	51,51	37,12	51,82
0,29	35,88	51,06	35,88	51,22
0,3	35,05	47,62	35,05	50,81
0,31	34,22	47,16	34,22	47,20
0,32	33,40	46,38	33,40	46,54
0,33	32,57	43,91	32,15	45,07
0,34	31,33	42,99	31,33	43,02
0,35	30,50	42,60	30,08	42,63
0,36	29,26	42,27	29,26	42,33
0,37	28,43	41,58	28,43	41,70
0,38	27,60	40,53	27,60	40,90
0,39	26,77	40,12	26,77	40,23
0,4	25,94	38,51	25,94	38,61
0,41	25,12	37,72	25,12	38,16
0,42	24,45	36,08	24,45	36,44
0,43	24,12	34,97	23,79	35,43
0,44	23,46	33,13	23,46	33,16
0,45	23,21	33,05	23,13	33,10
0,46	22,49	32,92	22,49	32,94
0,47	21,83	32,17	21,80	32,86
0,48	21,50	31,46	21,39	31,79

Permanência	Afluente fora de ponta	Defluente fora de ponta	Afluente ponta	Defluente ponta
0,49	20,93	31,09	20,93	31,33
0,5	20,51	30,45	20,36	30,66
0,51	20,07	28,51	20,07	29,59
0,52	19,49	28,46	19,49	28,50
0,53	18,91	27,70	18,91	27,96
0,54	18,62	26,37	18,37	26,64
0,55	18,04	25,91	18,04	26,17
0,56	17,75	25,67	17,75	25,73
0,57	17,17	25,43	17,17	25,50
0,58	16,88	25,19	16,88	25,32
0,59	16,42	24,93	16,59	25,02
0,6	16,01	24,45	16,01	24,78
0,61	15,72	24,04	15,75	24,14
0,62	15,22	23,88	15,25	23,94
0,63	14,96	23,86	14,96	23,87
0,64	14,55	23,83	14,64	23,84
0,65	14,17	23,78	14,17	23,78
0,66	13,86	23,76	13,91	23,76
0,67	13,46	23,75	13,61	23,75
0,68	13,15	23,74	13,25	23,75
0,69	12,92	23,71	13,04	23,73
0,7	12,68	23,68	12,68	23,69
0,71	12,45	23,67	12,60	23,67
0,72	12,21	23,65	12,21	23,66
0,73	11,85	23,63	11,98	23,64
0,74	11,65	23,63	11,74	23,63
0,75	11,43	23,60	11,51	23,61
0,76	11,27	23,57	11,27	23,58
0,77	11,00	23,55	11,04	23,55
0,78	10,79	23,50	10,83	23,53
0,79	10,46	23,43	10,63	23,47
0,8	10,21	23,38	10,27	23,41
0,81	9,92	23,27	9,92	23,33
0,82	9,59	23,14	9,59	23,21
0,83	9,32	23,00	9,33	23,07
0,84	8,97	22,85	9,01	22,90
0,85	8,71	22,75	8,71	22,79
0,86	8,42	22,50	8,43	22,67
0,87	8,14	21,93	8,25	22,20
0,88	7,89	21,43	7,94	21,45
0,89	7,71	21,30	7,73	21,32
0,9	7,45	20,96	7,53	20,96
0,91	7,31	20,52	7,31	20,52
0,92	7,01	20,01	7,08	20,01
0,93	6,79	19,63	6,79	19,63
0,94	6,50	19,02	6,51	19,02
0,95	6,31	18,38	6,33	18,42
0,96	6,04	17,86	6,04	17,93
0,97	5,80	16,83	5,85	16,88
0,98	5,71	16,59	5,71	16,63
0,99	5,55	15,92	5,55	15,92

PCH CAJURU

- Curva de permanência das vazões afluentes e defluentes durante todo o período de dados

Permanência Vazões - PCH Cajuru



• Tabela de permanência das vazões durante o período seco

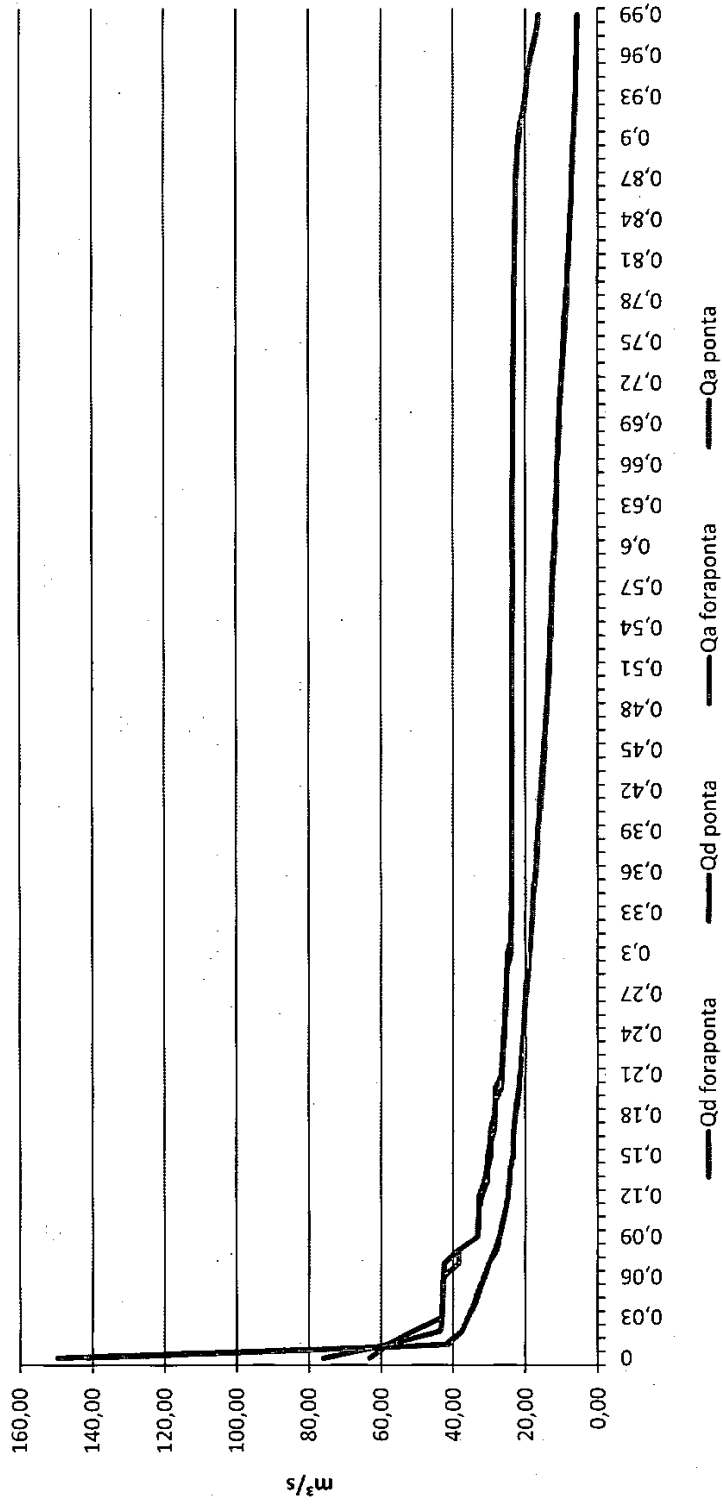
Permanência	Afluentes fora de ponta	Defluente fora de ponta	Afluentes ponta	Defluente ponta
0	149,87	76,00	141,59	63,20
0,01	41,68	58,26	42,15	58,11
0,02	37,54	51,16	37,54	43,53
0,03	35,88	43,02	35,88	43,02
0,04	34,22	43,02	33,89	42,97
0,05	32,98	42,91	32,57	42,80
0,06	31,33	42,66	31,45	42,60
0,07	30,08	42,55	30,08	38,48
0,08	28,01	38,46	28,43	38,38
0,09	27,19	33,16	27,19	33,13
0,1	26,36	33,13	26,36	33,01
0,11	25,53	32,94	25,53	32,93
0,12	24,78	32,93	24,78	32,09
0,13	24,45	31,54	24,45	30,67
0,14	24,12	30,71	24,12	30,43
0,15	23,46	30,47	23,46	29,64
0,16	23,46	29,69	23,46	29,57
0,17	23,13	29,59	23,13	28,50
0,18	22,80	28,50	22,80	28,47
0,19	22,47	28,46	22,14	28,43
0,2	21,80	28,43	21,80	26,75
0,21	21,51	26,72	21,51	26,54
0,22	21,22	26,50	21,22	26,38
0,23	20,93	26,29	20,93	26,15
0,24	20,64	26,06	20,64	25,93
0,25	20,36	25,79	20,36	25,72
0,26	20,23	25,64	20,23	25,50
0,27	20,07	25,47	19,86	25,43
0,28	19,78	25,35	19,49	25,26
0,29	19,20	25,20	19,20	25,14
0,3	18,91	25,07	18,91	24,10
0,31	18,62	24,10	18,62	24,02
0,32	18,33	24,01	18,33	23,96
0,33	18,04	23,95	18,04	23,89
0,34	18,00	23,89	18,04	23,88
0,35	17,75	23,88	17,62	23,87
0,36	17,25	23,87	17,17	23,85
0,37	16,88	23,85	16,95	23,84
0,38	16,67	23,84	16,88	23,79
0,39	16,59	23,80	16,59	23,78
0,4	16,30	23,78	16,30	23,78
0,41	15,80	23,77	16,01	23,76
0,42	15,51	23,76	15,75	23,76
0,43	15,22	23,76	15,48	23,76
0,44	14,96	23,76	15,22	23,75
0,45	14,73	23,75	14,96	23,75
0,46	14,64	23,75	14,70	23,75
0,47	14,35	23,75	14,43	23,74
0,48	14,17	23,74	14,17	23,73

Permanência	Afluente fora de ponta	Defluente fora de ponta	Afluente ponta	Defluente ponta
0,49	13,91	23,74	13,91	23,72
0,5	13,65	23,73	13,65	23,70
0,51	13,39	23,71	13,61	23,68
0,52	13,36	23,70	13,39	23,67
0,53	13,15	23,68	13,15	23,66
0,54	12,92	23,67	13,15	23,66
0,55	12,85	23,66	12,92	23,65
0,56	12,68	23,66	12,68	23,64
0,57	12,60	23,65	12,68	23,63
0,58	12,45	23,64	12,45	23,63
0,59	12,21	23,63	12,35	23,63
0,6	11,98	23,63	12,10	23,62
0,61	11,85	23,63	11,98	23,61
0,62	11,74	23,62	11,74	23,60
0,63	11,51	23,60	11,65	23,59
0,64	11,43	23,59	11,51	23,58
0,65	11,27	23,58	11,43	23,56
0,66	11,23	23,57	11,27	23,55
0,67	11,04	23,55	11,04	23,55
0,68	10,83	23,55	11,00	23,54
0,69	10,63	23,54	10,79	23,51
0,7	10,58	23,52	10,63	23,49
0,71	10,36	23,49	10,42	23,47
0,72	10,10	23,47	10,21	23,44
0,73	9,92	23,44	9,94	23,42
0,74	9,62	23,41	9,73	23,40
0,75	9,38	23,40	9,54	23,38
0,76	9,16	23,37	9,32	23,34
0,77	8,93	23,34	9,14	23,30
0,78	8,74	23,30	8,93	23,25
0,79	8,56	23,26	8,61	23,21
0,8	8,42	23,23	8,56	23,14
0,81	8,25	23,17	8,28	23,09
0,82	8,07	23,11	8,14	23,05
0,83	7,87	23,06	7,94	22,98
0,84	7,71	23,00	7,73	22,90
0,85	7,59	22,92	7,59	22,82
0,86	7,45	22,84	7,45	22,74
0,87	7,31	22,77	7,31	22,67
0,88	7,08	22,69	7,18	22,44
0,89	6,93	22,46	6,98	22,20
0,9	6,79	22,29	6,79	21,78
0,91	6,60	22,02	6,60	21,15
0,92	6,40	21,59	6,50	20,52
0,93	6,31	20,78	6,33	20,12
0,94	6,13	20,17	6,19	19,87
0,95	5,96	19,88	6,04	19,51
0,96	5,88	19,46	5,96	18,69
0,97	5,71	18,62	5,80	17,58
0,98	5,71	17,75	5,71	16,92
0,99	5,63	16,93	5,71	16,43

PCH CAJURU

- Curva de permanência das vazões afluentes e defluentes durante o período de estiagem

Permanência Vazões - Período Seco - PCH Cajuru



- **Regra operativa**

A PCH Cajuru dispõe de telemedição do nível de montante e dispositivos de proteção para parar a unidade geradora e abrir a válvula de fundo, mantendo o rio Pará na sua vazão mínima.

As situações operativas do reservatório de Cajuru podem ser classificadas em:

No período seco: não há alocação de volume de espera.

No período chuvoso: há alocação do volume de espera.

O uso das regras operativas para tomada de decisões deverá seguir os seguintes passos:

Considerar dois valores de NA cujas leituras guardem entre si determinados intervalos de tempo.

Calcular a vazão defluente Q_d , observando as eventuais variações na vazão turbinada Q_t ou na vazão vertida Q_v , durante o intervalo de tempo entre duas leituras do NA .

Calcular a vazão afluente Q_a .

Com o valor de Q_a e o último NA lido no intervalo de tempo considerado, entrar no diagrama de operação, localizando a "região" indicada por este par de valores.

Metodologia adotada para cálculo de vazões:

Cálculo da Vazão Defluente:

$$Q_d = Q_t + Q_v$$

Q_d - vazão defluente (m^3/s)

Q_t - vazão turbinada (m^3/s)

Q_t - geração (MW)/ C_p

Q_v - vazão vertida (m^3/s)

Q_v - $Q_{comp} + Q_{válvula}$

$Q_{comp} / Q_{válvula}$ - vazão pelas comportas e válvulas (m^3/s)

OBS.: se durante o intervalo de tempo considerado houver variação em Q_t ou Q_v , deverá ser utilizada, no cálculo de Q_d , a média ponderada

$$Q = \frac{aQ_1 + bQ_2 + cQ_3 + \dots + xQ_n}{a + b + c + \dots + x}$$

onde;

$Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n \Rightarrow$ valores das vazões (Q_t ou Q_v) ocorridas durante o intervalo de tempo considerado.

$a, b, c, \dots, x \Rightarrow$ duração em horas dos intervalos durante os quais ocorrerá $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ respectivamente.

Cálculo da Vazão Afluente

$$Q_a = Q_d \pm N \times \frac{V_{NA}}{T}$$

Q_a - vazão afluente (m³/s)

Q_d - vazão defluente total (m³/s)

N - número de variação unitária em função do NA .

vna - valor absoluto da variação do nível do reservatório, (em centímetros) no intervalo de tempo considerado. (número sempre positivo).

t - intervalo de tempo considerado (em horas)

Para fins de decisões operativas, a vazão afluente será calculada considerando a variação de nível apurada entre leituras de NA espaçadas entre si de:

6 horas situação normal
4 horas – outras situações

Vazões de Restrição

$$Q_r = 300 \text{ m}^3/\text{s}$$

a jusante de Gafanhoto combinada com a vazão do rio Itapecerica.

Para vazões defluentes acima de 150 m³/s, a MT Manufatura deve ser avisada e também a cada incremento de vazão defluente.

Para vazões superiores a 300 m³/s ocorrerão transbordamentos generalizados na calha do rio e inundação da usina São José (Usina do Sinico). Além disso, dependendo das condições do Rio Itapecerica (a jusante de Gafanhoto), ocorrerão transbordamentos na cidade de Conceição do Pará, São Gonçalo do Pará e Pitangui.

As empresas instaladas no entorno do lago de Gafanhoto: Curtume Nunes, Copasa Divinópolis, SAAE Carmo de Cajuru, também podem sofrer danos com a elevação de vazão e devem ser avisados a partir de 300 m³/s.

Para vazões superiores a 430 m³/s também pode ocorrer inundação na Usina de Gafanhoto, caso o Rio Itapecerica esteja cheio e represe o Rio Pará. Haverá elevação do canal de fuga da usina e conseqüente inundação. Para evitar isso a operação local deve ser avisada com a antecedência possível, da evolução da vazão do posto Pari e de Cajuru, e assim instalar barreiras de contenção.

Evolução do NA em situação extrema e manobras nos extravasores

As duas válvulas de fundo devem ser abertas prioritariamente e somente após esgotar os recursos destas, abrir as comportas do vertedouro.

Pode haver dificuldade de manobra (fechamento) quando praticadas aberturas acima de 2,5 m nas comportas.

A capacidade de descarga dos dispositivos extravasores da UHE Cajuru é suficiente para a passagem da Cheia Máxima de Projeto – CMP , sem galgamento.

O Volume de Espera tem pequena importância para o amortecimento da CMP, cujo volume é muito grande. Entretanto, para as cheias mais frequentes, o V.E. consegue promover redução apreciável nos picos propagados a jusante.

Sem os descarregadores de fundo, ocorrerá o galgamento das estruturas de concreto (evolução do NA até a cota 758,43m), com duração estimada de 22h. Caso o nível ultrapasse a cota máximo normal se faz necessária a colocação de sacaria de areia junto a ombreira da barragem de terra visando a sua proteção. Este resultado mostra a importância de se manter os descarregadores de fundo em condições de operação, com a realização de testes ao iniciar o período chuvoso.

Relacionamento com a Fitedi – Usina do Sinico

A Usina de Sinico , necessita de uma vazão de no mínimo 23 m³/s para permanecer operante. Caso a unidade geradora de Cajuru tenha uma indisponibilidade não programada, a Usina de Sinico deve ser atendida através de vertimento.

A Fitedi, quando comunicada previamente, tem recursos para remanejar suas cargas de maneira que a Usina do Sinico fique operante com uma defluência de até 7,4 m³/s em Cajuru.

Defluência mínima para manutenção do nível de Gafanhoto

A defluência de Cajuru deve garantir a manutenção do nível de Gafanhoto na cota 681,00 m pois abaixo dela, o abastecimento de água para Divinópolis (Copasa) fica impossibilitado e também a captação para o Curtume Nunes instalado às margens do reservatório.

Defluência mínima para captação em Carmo do Cajuru

A defluência mínima de Cajuru para atendimento à captação de água da cidade de Carmo do Cajuru é de 13 m³/s. Em caso de indisponibilidade não programada da unidade geradora, o vertimento deve ser iniciado imediatamente com esta vazão.

Taxa de variação de vazão defluente

A taxa máxima recomendável de variação de defluência total (vazão turbinada + vazão vertida), para evitar danos à calha do rio, é de 100 m³/s por dia podendo ser ultrapassada em caso de emergência.

Restrições/Recomendações Ambientais

Vazão mínima a jusante

Para fins ambientais, proteção da ictiofauna e visando não afetar a morfologia fluvial, deve-se garantir uma vazão a jusante do aproveitamento, de valor não menor que a vazão mínima média mensal natural. Assim, qualquer ocorrência que leve à parada total da unidade geradora será seguida da abertura automática de uma das válvulas de fundo em 15%. Este procedimento visa garantir o restabelecimento da vazão do rio. Caso o operador esteja na usina, este deverá partir de imediato a unidade geradora e se não for possível, ajustar a vazão defluente no valor mais adequado para a ocasião.

Este valor ($5,4 \text{ m}^3/\text{s}$) corresponde ao mínimo a ser praticado, devendo ser levado em conta qualquer outra eventual restrição operativa, permanente ou temporária (seja nos extravasores, seja na turbina), prevalecendo a mais severa.

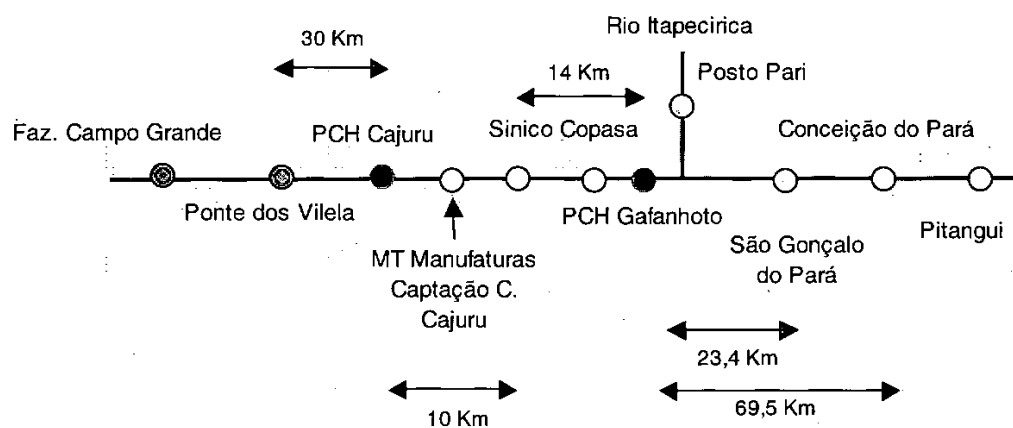
Operação do vertedor

As manobras nas comportas do vertedouro devem ser lentas e graduais, tanto na abertura como no fechamento, visando evitar variações bruscas no rio, evitando assim acidentes com pessoas e ocorrências ambientais. Sugere-se uma variação de defluência da ordem de 30% da vazão anterior, a cada 30 minutos.

Não foi verificado, até o momento, nenhum tipo de restrição com relação às manobras nas comportas do vertedor do ponto de vista ambiental, se respeitada a recomendação acima.

O fechamento das comportas do vertedor deve ser evitado no período noturno, assim como nos fins de semana em qualquer horário.

Distâncias entre os pontos de interesse



OBS: Para calcular o tempo de viagem considerar uma velocidade de $1,5 \text{ m/s}$ ($5,4 \text{ Km/h}$).

- **Operação do descarregador de fundo**

A PCH Cajuru não possui dispositivo de descarga de fundo. Existem duas válvulas que regulam a perenização e o controle de cheias, mas não caracterizam descarga de fundo.

- **Manutenção do fluxo de água a jusante**

Como observado nos estudos sedimentológicos e de determinação de vida útil do reservatório da PCH Cajuru, o rio Pará é um dos afluentes do rio São Francisco que apresenta menor aporte de sedimentos e sua retenção no reservatório é bastante reduzida, proporcionando uma estimativa de tempo de vida útil de aproximadamente 315anos.

Por se tratar de usina a fio d'água, o aporte de sedimentos ao reservatório não causa problemas à sua capacidade de geração. Esse fato tem sido evidenciado ao longo do histórico operativo da usina, durante o qual não houve registro de redução da geração associada ao depósito de sedimentos no reservatório.

De qualquer forma o fluxo de água para jusante, quando ocorrer a perda da geração, fica garantido pelas 2 válvulas de fundo e pelas 8 comportas do vertedouro.

Autorização Aneel

PORTARIA Nº 123, DE 17 DE ABRIL DE 1997

O MINISTRO DE ESTADO DE MINAS E ENERGIA, no uso da atribuição conferida pelo art. 3º do Decreto nº 1.717, de 24 de novembro de 1995, nos termos do art. 19 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995 e tendo em vista o que consta do Processo nº 29000.022764/91-58, resolve:

Art. 1º Fica prorrogada pelo prazo de vinte anos, contado a partir de 8 de julho de 1995, a concessão outorgada à Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, pelo Decreto nº 44.372, de 26 de agosto de 1958, para a exploração da Usina Hidrelétrica de Cajuru e seu sistema de transmissão associado, localizada no rio Pará, Município de Carmo do Cajuru, Estado de Minas Gerais, com potência de 7.200 kW.

Parágrafo único. As ampliações de potência e recapitações, necessárias ao atendimento do crescimento de mercado, deverão ser submetidas à aprovação do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE.

Art. 2º A prorrogação da concessão referida no artigo anterior somente terá eficácia com a assinatura do respectivo contrato de concessão, firmado nos termos dos arts. 23 e 31 da Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e art. 25 da Lei nº 9.074/95, a ele se aplicando as disposições legais e regulamentares que vierem a ser estabelecidas para o setor elétrico.

Art. 3º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

RAIMUNDO BRITO

Publicado no D.O de 22.04.1997, seção 1, p. 7.903
Este texto não substitui o publicado no D.O de 22.04.1997

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL

RESOLUÇÃO AUTORIZATIVA Nº 1.338, DE 22 DE ABRIL DE 2008

Transfere da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG para a CEMIG Geração e Transmissão S.A. as concessões para geração de energia elétrica que especifica, retifica o art. 1º da Resolução Autorizativa nº 583, de 22 de maio de 2006, e dá outras providências.

Relatório

Voto

(*) Vide alterações e inclusões no final do texto.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto no art. 27 da Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no art. 3º, inciso XIII, da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, incluído pelo art. 17 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, com base no art. 1º do Decreto nº 4.932, de 23 de dezembro de 2003, com redação dada pelo Decreto nº 4.970, de 30 de janeiro de 2004, na Portaria MME nº 124, de 14 de junho de 2007, na Resolução Autorizativa nº 407, de 20 de dezembro de 2004, no Contrato de Concessão de Geração nº 007/1997, o que consta do Processo nº 48500.004705/00-92, e considerando que:

a anuência à proposta de transferência das concessões e a versão do patrimônio da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, para fins de reestruturação societária e segregação das atividades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, foi realizada por meio da Resolução Autorizativa nº 407, de 20 de dezembro de 2004, e

por equívoco se fez constar do art. 1º da Resolução Autorizativa nº 583, de 22 de maio de 2006, as usinas hidrelétricas de Dona Rita e Lajes, resolve:

Art. 1º Transferir da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG para a CEMIG Geração e Transmissão S.A. as concessões referentes às usinas a seguir relacionadas:

	Usinas	Potência (MW)	Rio	Município Barramento	Município Casa de Força	Termo Final da Concessão
1	Emborcação	1.192,00	Paranaíba	Catalão e Araguari	Araguari	23.07.2025
2	Luiz Dias	1,62	Lourenço Velho	Itajubá	Itajubá	19.08.2025
3	Nova Ponte	510,00	Araguari	Nova Ponte	Nova Ponte	23.07.2025
4	Pandeiros	4,20	Pandeiros	Januária	Januária	22.09.2021
5	Poço Fundo	9,16	Machado	Poço Fundo	Poço Fundo	19.08.2025
6	Rio de Pedras	9,28	Pedras	Itabirito	Itabirito	19.09.2024
7	Santa Luzia	0,704	Piedade	Centralina	Centralina	25.02.2026
8	São Bernardo	6,82	São Bernardo	Piranguçu	Piranguçu	19.08.2025
9	Xicão	1,808	Santa Cruz	Campanha	Campanha	19.08.2025

Art. 2º Retificar o art. 1º da Resolução Autorizativa nº 583, de 22 de maio de 2006, que passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 1º Autorizar a transferência para a CEMIG Geração e Transmissão S.A., das concessões outorgadas à Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, referentes às usinas a seguir relacionadas:

	Usinas	Potência (MW)	Rio	Município Barramento	Município Casa de Força	Termo Final da Concessão
1	Anil	2,080	Jacaré	Santana do Jacaré e Candeias	Santana do Jacaré	08.07.2015
2	Bom Jesus do Galho	0,36	Sacramento	Bom Jesus do Galho	Bom Jesus do Galho	Registrada
3	Cajurú	7,20	Pará	Carmo do Cajurú e Divinópolis	Divinópolis	08.07.2015
4	Camargos	46,00	Grande	Itutinga e Nazareno	Itutinga	08.07.2015
5	Eólica-Elétrica Experimental do Morro do Camelinho	1,00	-	Gouveia	Gouveia	Registrada
6	Formoso	0,44	-	Formoso	Formoso	Registrada
7	Gafanhoto	14,00	Pará	Divinópolis	Divinópolis	08.07.2015
8	Igarapé	131,00	(UTE)	Juatuba	Juatuba	13.08.2024
9	Irapé	360,00	Jequitinhonha	Berilo e Grão Mogol	Grão Mogol	28.02.2035
10	Itutinga	52,0	Grande	Itutinga e Nazareno	Nazareno	08.07.2015
11	Jacutinga	0,72	Mogi-Guaçu	Jacutinga	Jacutinga	Registrada
12	Jaguara	424,00	Grande	Sacramento e Rifaina	Sacramento e Rifaina	28.08.2013
13	Joasal	8,40	Paraibuna	Juiz de Fora	Juiz de Fora	08.07.2015
14	Marmelos	4,00	Paraibuna	Juiz de Fora	Juiz de Fora	08.07.2015
15	Martins	7,70	Uberabinha	Uberlândia	Uberlândia	08.07.2015
16	Miranda	408,00	Araguari	Uberlândia e Indianópolis	Indianópolis	23.12.2016
17	Paciência	4,08	Paraibuna	Matias Barbosa	Matias Barbosa	08.07.2015
18	Peti	9,40	Sta. Bárbara	São Gonçalo do Rio Abaixo	São Gonçalo do Rio Abaixo	08.07.2015
19	Piau	18,012	Piau	Piau	Piau	08.07.2015
20	Poquim	1,408	Poquim	Itambacuri	Itambacuri	08.07.2015
21	Salto Grande	102,00	Santo Antônio	Braúnas	Braúnas	08.07.2015
22	Salto Morais	2,394	Tijuco	Ituiutaba	Ituiutaba	01.07.2020
23	Santa Marta	1,00	Ticororó	Grão Mogol e Francisco de Sá	Grão Mogol	08.07.2015
24	São Simão	1.710,00	Paranaíba	Santa Vitória e São Simão	São Simão	11.01.2015
25	Sumidouro	2,120	Sacramento	Bom Jesus do Galho	Bom Jesus do Galho	08.07.2015
26	Três Marias	396,00	São Francisco	Três Marias	Três Marias	08.07.2015
27	Tronqueiras	8,50	Tronqueiras	Coroaci	Coroaci	08.07.2015
28	Volta Grande	380,00	Grande	Conceição das Alagoas	Conceição das Alagoas	23.02.2017

Art. 3º Fica aprovada a minuta do Termo Aditivo ao Contrato de Concessão de Geração nº 007/1997, formalizando a transferência das concessões de que trata o art. 1º desta Resolução, que deverá ser assinado pela Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG e CEMIG Geração e Transmissão S.A. no prazo de até 45 (quarenta e cinco) dias a contar da data da publicação desta Resolução.

Art. 4º Ficam convalidados os atos praticados pela CEMIG Geração e Transmissão S.A sob a vigência da Resolução Autorizativa nº 407, de 20 de dezembro de 2004.

Art. 5º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JERSON KELMAN

Este texto não substitui o publicado no D.O. de 09.05.2008, seção 1, p. 58, v. 145, n. 88.

(*) Texto em negrito com redação alterada conforme retificação publicada no D.O. de 09.07.2008, seção 1, p. 54, v. 145, n. 130.

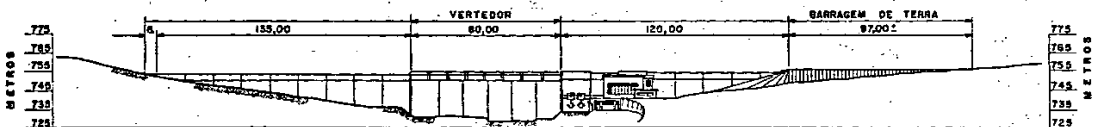
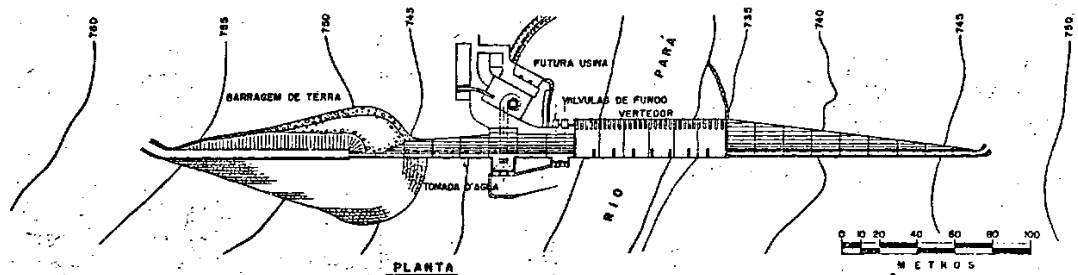
• Arranjo Geral do Empreendimento

A UHE de Cajuru está localizada no rio Pará, bacia do Rio São Francisco, no município de Carmo do Cajuru, zona centro-oeste de Minas Gerais, distante aproximadamente 130km de Belo Horizonte. Foi construída entre 1952 e fins de 1953. Inicialmente construída com a finalidade de regularizar a geração na usina de Gafanhoto e evitar as perdas de produção nos períodos de estiagem, entrou em operação em 1959, quando foi instalada a máquina com potência de 7,2MW. Possui um reservatório com volume de $192,2 \times 10^6 \text{ m}^3$.

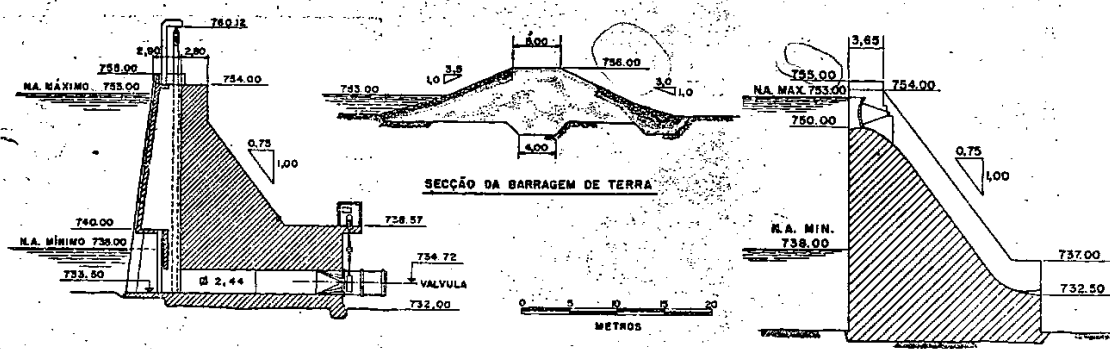
Fazem parte da estrutura:

- Uma barragem com comprimento total de 438m e 23m de altura máxima. A maior parte do barramento é constituída por uma barragem de concreto-gravidade (341m). Possui uma barragem de terra homogênea na margem esquerda, com altura máxima de cerca de 10m e comprimento da crista de 97m. A drenagem da barragem consiste de um dreno de pé que conduz a água percolada para uma canaleta a jusante da estrutura.
- Extravadores compostos de um vertedouro de descarga controlada, situado no centro da estrutura, no leito do rio, assentado sobre rocha, com 80m de comprimento e capacidade máxima de $810 \text{ m}^3/\text{s}$ e duas válvulas de descarga de fundo, de 2,44m de diâmetro e capacidade máxima de $75 \text{ m}^3/\text{s}$, cada.
- Tomada de água incorporada à barragem e situada na margem esquerda do rio.
- Um conduto de 4,5m de diâmetro e 28,2m de comprimento e engolimento máximo de $40 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Uma casa de força do tipo abrigada convencional com uma unidade geradora com capacidade de 7.200kW.

Uma reavaliação das elevações topográficas de Cajuru foi feita recentemente e conclui-se que existia um erro de poucos metros nas elevações antigas. Entretanto, como todos os documentos examinados usam as elevações antigas, sem correção, todas as elevações desde relatório serão os valores antigos. Para se obter a elevação real, é necessário somar o valor de 3,305m.

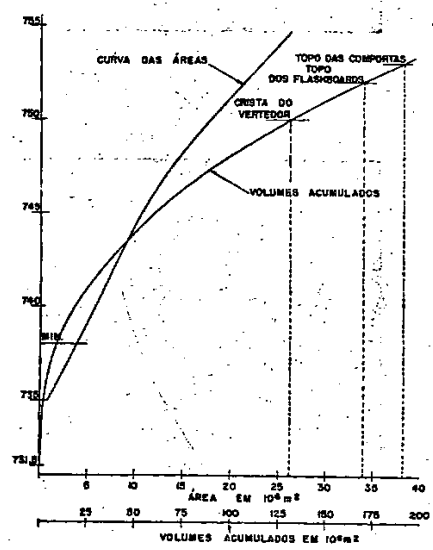


VISTA DE JUSANTE



SEÇÃO PELA VALVULA DE FUNDO

SEÇÃO NO VERTEDOR



DIMENSÕES E VOLUMES PRINCIPAIS

ALTURA MÁXIMA DA BARRAGEM	ATÉ O TOPO DAS COMPORTAS	23,00 m
COMPRIMENTO TOTAL DA BARRAGEM NA CRISTA		438,00 m
COMPRIMENTO DA BARRAGEM DE CONCRETO		341,00 m
COMPRIMENTO DA BARRAGEM DE TERRA		97,00 m
COMPRIMENTO BRUTO DO VERTEDOR		80,00 m
VOLUME BRUTO ARMAZENADO FINAL		192,5 x 10 ⁶ m ³
VOLUME ÚTIL ARMAZENADO FINAL		164,0 x 10 ⁶ m ³
ÁREA INUNDADA FINAL		2329 ha

VOLUMES

CONCRETO	45,000 m ³
ESCAVAÇÃO EM ROCHA	8,000 m ³
ESCAVAÇÃO EM TERRA	14,900 m ³
BARRAGEM DE TERRA	11,200 m ³



CENTRAIS ELÉTRICAS DE MINAS GERAIS, S. A.

AVENIDA AFONSO PENA, 726 - BELO HORIZONTE - MINAS - BRASIL

PCH CAJURU

6

- Localização e acesso à barragem

A usina hidrelétrica Cajuru está situada no rio Pará, afluente do rio São Francisco, no município de Divinópolis, na região centro-oeste de Minas Gerais. O acesso se dá pela BR 262 até Juatuba, daí pela MG-050 até Divinópolis, de onde se segue por 8 km por estrada não pavimentada. A Usina fica a cerca de 131 km de distância de Belo Horizonte.

