

PEA 3560 – Engenharia de Energia Hidroelétrica
Professor : José Aquiles Baesso Grimoni
GABARITO - 1ª PROVA – 2019

1ª Questão (2,5 pontos, sendo meio ponto por item)

Faça um esboço de uma hidroelétrica com os seguintes elementos e explique a função de cada um:

- a) Reservatório e barragem;
- b) Vertedouro;
- c) Tomada d'água;
- d) Chaminé de equilíbrio;
- e) Casa de força, principais componentes da mesma e funções.

Reservatório

Função : local onde se acumula a água represada pela barragem criando um desnível no rio, com isto temos a possibilidade de armazenar energia potencial da água.

Barragem

Função: represar a água para captação e desvio; aproveitamento elétrico e regularização das vazões.

Vertedouro

Função: Permite a passagem direta da água para jusante. É necessário para descarregar as cheias e evitar que a barragem seja danificada.

Tomada d'água

Função: local na barragem onde a água do reservatório entra no conduto forçado em direção a turbina

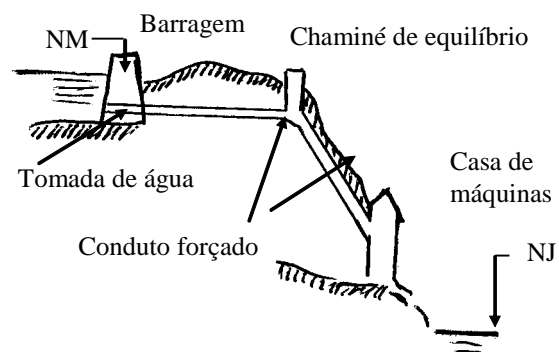
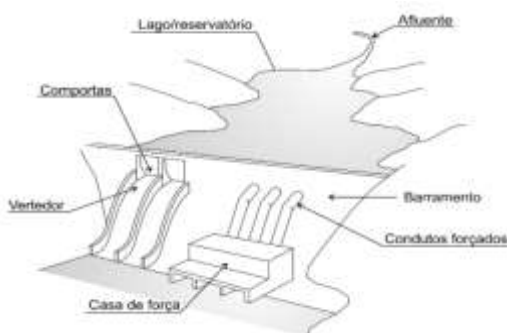
Chaminé de equilíbrio

Função : elemento que controla a pressão no conduto forçado evitando o golpe de aríete sobre a turbina. O *golpe de aríete* se denominam as variações de pressão decorrentes de variações da vazão, causadas por alguma perturbação

Casa de força

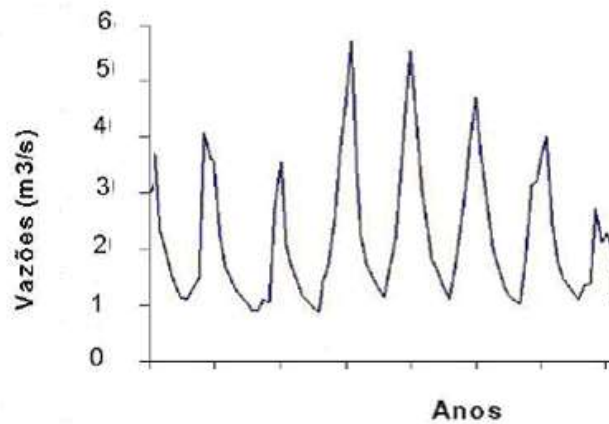
Função: É o local de instalação das turbinas hidráulicas, gerador elétrico e demais equipamentos, ou seja, local onde se gera energia mecânica e elétrica.

Desenho Hidroelétrica e seus componentes



2ª Questão (2,0 pontos, sendo meio ponto por item)

Considere um aproveitamento hidrelétrico que possui a curva de vazão instantânea mostrada abaixo.



Considerando a viabilidade técnica e econômica de se construir uma UHE com reservatório hidráulico para atendimento da demanda firme de 5 MW médios.

PEDE-SE :

- Calcule a vazão firme do empreendimento;
- Refaça os cálculos considerando a vazão natural firme do rio como se a usina fosse a fio d'água. Calcule a demanda média a ser atendida e compare e explique os resultados. Qual o nível de regularização adotado?

Dados : $H_{top} = 200$ m, $\eta_{turbina} = 90\%$, $\eta_{gerador} = 85\%$, perdas hidráulicas = 8%

a)

$$P(kW) = \eta_{gerador} \times \eta_{turbina} \times \eta_{hidraulica} \times 9,81 \times Q \times H$$

$$P(kW) = 5000 = 0,9 \times 0,85 \times 0,92 \times 9,81 \times Q \times 200$$

$$Q = \frac{5000}{0,9 \times 0,85 \times 0,92 \times 9,81 \times 200}$$

$$Q = 3,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

b)

$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P(kW) = 0,9 \times 0,85 \times 0,92 \times 9,81 \times 1 \times 200$$

$$P(kW) = 1,38 \text{ MW}$$

Este valor de potencia média é menor que o do item a)

A relação potencia igual a relação de vazões que é de

$$\text{Relação vazões} = 1/3,61 = 0,277$$

3ª Questão (3,0 pontos, sendo 1,0 ponto por item)

Considere o fluviograma dado pela tabela a seguir. A partir dos dados de vazão apresentados

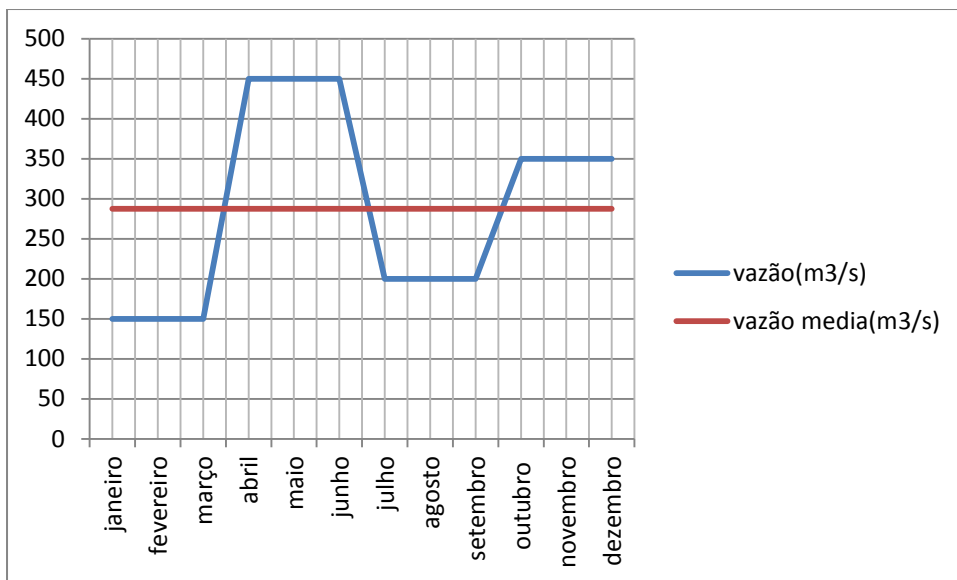
PEDE-SE :

- Construir o Diagrama de Rippl no papel milímetro em anexo;
- Determine a máxima vazão regularizada, considerando repetição do ciclo anual de vazões apresentado;
- Determine a capacidade do reservatório que permite obter a vazão máxima regularizada.

Mês	Vazão (m ³ /s)	Mês	Vazão (m ³ /s)	Mês	Vazão (m ³ /s)	Mês	Vazão (m ³ /s)
JAN	150	ABR	450	JUL	200	OUT	350
FEV		MAI		AGO		NOV	
MAR		JUN		SET		DEZ	

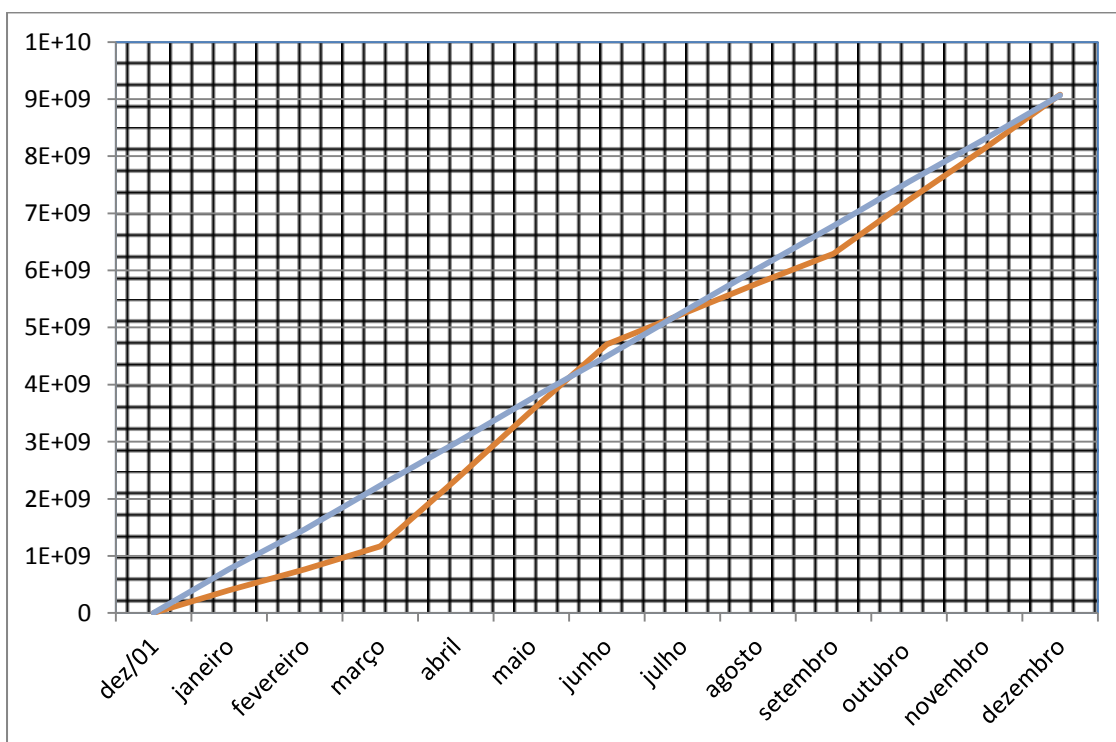
a)

mês	vazão(m ³ /s)	vazão media(m ³ /s)	dia s mês s	segundos mês (s) (24x60x60x numero dias)	volume mensal(m ³) (segundos mês x vazão)	volume acumulado(m ³)	volume acumulado(m ³) vazão media
dez/01						0	0
janeiro	150	287,5	31	2678400	401760000	401760000	770040000
fevereiro	150	287,5	28	2419200	362880000	764640000	1465560000
março	150	287,5	31	2678400	401760000	1166400000	2235600000
abril	450	287,5	30	2592000	1166400000	2332800000	2980800000
maio	450	287,5	31	2678400	1205280000	3538080000	3750840000
junho	450	287,5	30	2592000	1166400000	4704480000	4496040000
julho	200	287,5	31	2678400	535680000	5240160000	5266080000
agosto	200	287,5	31	2678400	535680000	5775840000	6036120000
setembr o	200	287,5	30	2592000	518400000	6294240000	6781320000
outubro	350	287,5	31	2678400	937440000	7231680000	7551360000
novembr o	350	287,5	30	2592000	907200000	8138880000	8296560000
dezembr o	350	287,5	31	2678400	937440000	9076320000	9066600000



b)

$$Q = \text{Media das Vazões} = (3 \times 150 + 3 \times 450 + 3 \times 200 + 3 \times 350) / 12 = 287,5 \text{ m}^3/\text{s}$$



Temos 2 períodos críticos em que a vazão é menor que a media (287,5 m³/s)

Janeiro até abril

$$\text{Volume necessário} = 287,5 \times (31 + 28 + 31 + 30) \times 24 \times 60 \times 60 = 2980800000$$

$$\text{Volume afluyente} = (150 \times 31 + 150 \times 28 + 150 \times 31 + 450 \times 30) \times 24 \times 60 \times 60 = 2332800000$$

$$\text{Capacidade do reservatório} = \text{Volume necessário} - \text{Volume afluyente} = 2980800000 - 2332800000$$

$$\text{Capacidade do reservatório} = 648000000 \text{ m}^3$$

e

julho a outubro

$$\text{Volume necessário} = 287,5 \times (31 + 31 + 30 + 31) \times 24 \times 60 \times 60 = 3055320000$$

$$\text{Volume afluyente} = (200 \times 31 + 200 \times 31 + 200 \times 30 + 350 \times 31) \times 24 \times 60 \times 60 = 2527200000$$

$$\text{Capacidade do reservatório} = \text{Volume necessário} - \text{Volume afluyente} = 3055320000 - 2527200000$$

$$\text{Capacidade do reservatório} = 528120000 \text{ m}^3$$

O maior volume é de 648000000 m³

4ª Questão (2,5 pontos, sendo meio ponto por item)

As turbinas da Hidrelétrica de Itaipu, no Rio Paraná, possuem as seguintes características:

- Queda nominal: 120 m
- Vazão nominal: 660 m³/s
- Potência nominal : 971500 CV
- Pares de pólos: 38

PEDE-SE:

- Calcular a rotação nominal das turbinas (rpm);
- Calcular a velocidade específica das turbinas (rpm) utilizando a fórmula mais rigorosa;
- Consultando a tabela anexa, determinar o tipo de turbina utilizada em Itaipu;
- Utilizando a fórmula empírica adequada para o cálculo da velocidade específica, recalculer esse parâmetro e comparar com a resposta do item b);
- Calcular a potência de cada máquina de Itaipu (MW), a partir da vazão e da altura de queda, adotando um rendimento total (turbina+gerador+circuito hidráulico) de 90,2% e uma aceleração da gravidade de 9,81 m³/s.

a)

$$n = 60 f/p = (60 \times 60)/38 = 94,7 \text{ rpm}$$

b)

$$ns = \frac{(n \cdot \sqrt{PT(CV)})}{H_{top} \cdot H_{top}^{1/4}}$$

$$ns = \frac{(94,7 \cdot \sqrt{971500})}{120 \cdot 120^{1/4}}$$

$$ns = 235,08 \text{ rpm}$$

$$Pt \text{ (kW)} = 971500 \times 736 = 715 \text{ MW}$$

c)

Consultando a tabela - Francis veloz altura de 200 a 300 rpm

d)

$$ns = \frac{2300}{\sqrt{H_{top}}}$$

$$ns = \frac{2300}{\sqrt{120}}$$

$$ns = 210 \text{ rpm}$$

e)

$$P \text{ elétrica} = 9,81 \times H_{top} \times Q \times \eta \text{ total} = 9,81 \times 120 \times 660 \times 0,902 = 700 \text{ MW}$$

Fórmulas:

$$n_s = \frac{(n \cdot \sqrt{PT(CV)})}{H_{top} \cdot H_{top}^{1/4}} \quad (\text{geral}) \quad P_{mec} = 9,8 \cdot \eta_T \cdot \eta_H \cdot Q \cdot H_{top} \text{ [kW]}$$

$$n_s = \frac{2300}{\sqrt{H_{top}}} \quad (\text{Francis – empírica})$$

$$n_s = \frac{3100}{\sqrt{H_{top}}} \quad (\text{Kaplan – empírica})$$

$$n_s = \frac{2600}{\sqrt{H_{top}}} \quad (\text{Propeller – empírica})$$

$$n_s = \sqrt{ro} \cdot \frac{510}{\sqrt{H_{top}}} \quad (\text{Pelton – empririca}) \quad ro = \text{número de injetores}$$

n = velocidade nominal (RPM) , Pmec (CV)

$$n_p = \frac{n \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_{top}^3}} \quad n = \frac{60f}{p} \quad p = \text{nº de pares de polos}$$

MODO DE OPERAR	VELOCIDADE ESPECÍFICA (RPM)	TIPO DE TURBINA	ALTURA DISPONÍVEL DO APROVEITAMENTO
A	Até 18 rpm	Pelton 1 injetor	Até 800 m
A	18 a 25 rpm	Pelton 1 injetor	400 a 800 m
A	26 a 35 rpm	Pelton 1 injetor	100 a 400 m
A	26 a 35 rpm	Pelton 2 injetores	400 a 800 m
A	36 a 50 rpm	Pelton 2 injetores	100 a 400 m
A	51 a 72 rpm	Pelton 4 injetores	100 a 400 m
R	55 a 70 rpm	Francis Lentíssima	200 a 400 m
R	70 a 120 rpm	Francis Lenta	100 a 200 m
R	120 a 200 rpm	Francis Média	50 a 100 m
R	200 a 300 rpm	Francis Veloz	25 a 50 m
R	300 a 450 rpm	Francis Ultraveloz	15 a 25 m
R	400 a 500 rpm	Hélice Veloz	Até 15 m
R	270 a 500 rpm	Kaplan Lenta	15 a 50 m
R	500 a 800 rpm	Kaplan Veloz	05 a 15 m
R	800 a 1100 rpm	Kaplan Velocíssima	Até 05 m