



Associação Brasileira de Recursos Hídricos



VI SIMPÓSIO SOBRE SEGURANÇA  
BARRAGENS E RISCOS ASSOCIADOS

# Mesa Redonda – BARRAGENS E SEGURANÇA HÍDRICA

## Palestra 3 – Recuperação da Segurança Hídrica de Extravasores Operados

Dia 21 de novembro de 2018 – 9:00h – 12:30h

**Prof. André Luiz Tonso Fabiani**

**Universidade Federal do Paraná – Curitiba – PR**

**[andre.dhs@ufpr.br](mailto:andre.dhs@ufpr.br) (41) 3361-6209**

# Tipos básicos de vertedouros

## Livre



## Controlado



# Seleção do tipo a adotar

- A seleção leva em conta diversos fatores operacionais e parâmetros de projeto
  - Os vertedouros livres possuem:
    - construção simples;
    - necessitam um mínimo de manutenção;
    - apresentam menor variação de nível de água na operação; e
    - apresentam operação automática.
  - Os vertedouros controlados apresentam:
    - resultam em menor altura final para a barragem; e
    - obras mais compactas.
- A segurança de uma operação automática é um bônus que deve ser bem avaliado frente a um custo maior de um vertedouro livre (livre deve ser mais longo e mais elevado, com carga menor)



# Velocidade de subida

- Define a urgência da tomada de decisão em um vertedouro a fim de proteger o reservatório

$$V_s = \frac{Q_M \cdot \Delta t}{A \cdot n}$$

- Onde:
  - $V_s$  : velocidade de subida, em (m/h);
  - $Q_M$  : Vazão máxima de projeto, ajustada para a média no  $\Delta t$  em torno do pico ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
  - $\Delta t$ : tempo de duração da vazão máxima (s);
  - $n$ : expressa o valor de  $\Delta t$ , mas em horas;
  - $A$ : área do reservatório na cota normal de operação do reservatório ( $\text{m}^2$ ).
- Tempos da ordem de 1 a 2 m/h são considerados críticos e indicam necessidade de utilizar vertedouros livres frente a vertedouros controlados

# Velocidade de subida

- O acidente das barragens de Euclides da Cunha (atual Caconde) e Armando Salles de Oliveira (atual Limoeiro) – CESP, 1977 – mostram de uma forma dramática a necessidade de decisões rápidas em eventos de cheia extremos.



# Euclides da Cunha - Caconde

reconstruída



O acidente



# Armando Salles de Oliveira - Limoeiro

reconstruída



O acidente



# Pontos chaves

- A segurança de vertedouros e barragens é, basicamente, dada pela operação com comportas totalmente abertas – vazões e níveis de água máximos, tema da palestra anterior.
- A segurança de vertedouros controlados tem a ver com os seguintes pontos:
  - Projeto (ou revisão do projeto);
  - Manutenção; e
  - Operação.



# Projeto (ou revisão)

- O vertedouro com comportas é projetado para dar segurança operacional a uma barragem (normalmente de geração de energia)
- Em projetos maiores normalmente é realizado estudo em modelo reduzido, para definição dos coeficientes de descarga e de características de operação (Regras de operação e limitações operativas)

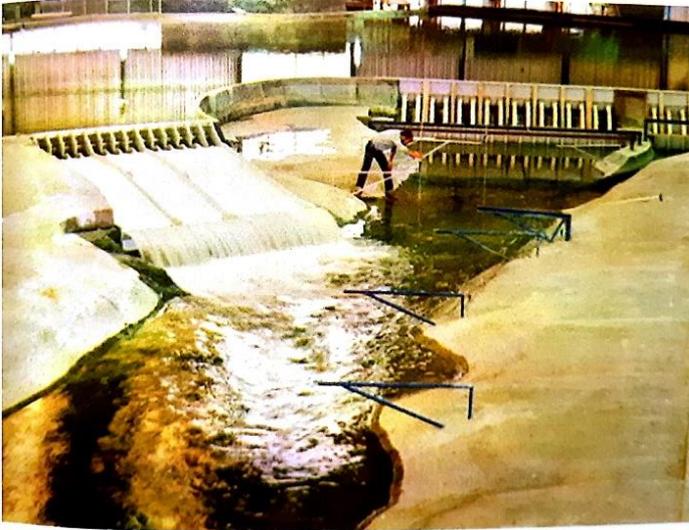
$$\text{Orifício: } Q = CBG_o\sqrt{2gH}$$

$$\text{Livre: } Q = CBLH^{3/2}$$



# Modelo Reduzido

**Itaipu (Brasil-Paraguai)**



**Gibe III (Etiópia)**



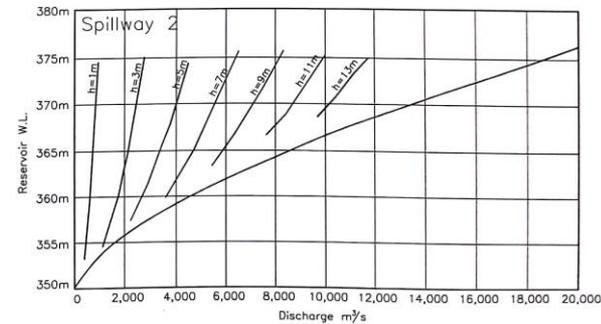
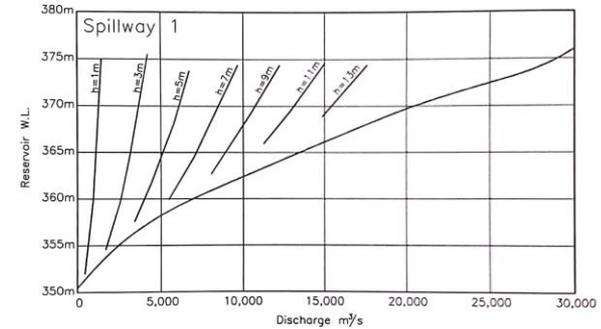
# Projeto (ou revisão)

- Em obras menores, ou em fases preliminares/intermediárias de obras grandes, podemos fazer uso de estudos teóricos
  - Gráficos;
  - Referências bibliográficas/casos similares; e
  - Tabelas.



# Projeto (ou revisão)

- Como exemplo, podemos citar as curvas de descarga para os vertedouros da UHE Itá. Nelas são apresentadas a curva de descarga livre (inferior) e as curvas para aberturas parciais (que dela se afastam)





# Projeto (ou revisão)

- Regras de operação / Limites operacionais
  - Cuidado com operações assimétricas de vertedouros – problemas com galgamentos de muros ou com erosões de margens



# Projeto (ou revisão)

- Fluxo de detritos/árvores podem interferir na regra de operação das comportas, levando a operações diferentes das definidas originalmente

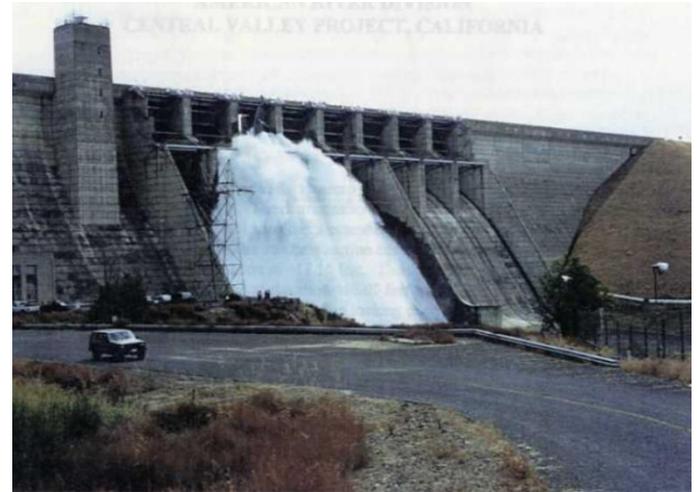


# Manutenção

- Para permitir a operação das comportas, a sua manutenção deve ser bem cuidada, permitindo que elas sejam operadas a qualquer momento, de acordo com a regra de operação definida previamente:
  - Drenos de barragem e de pé limpos e operantes;
  - Juntas de dilatação operacionais;
  - Estruturas metálicas protegidas e sem corrosão;
  - Borrachas de vedação maleáveis;
  - Motores e mecanismos de movimentação revisados.

# Acidente com comporta

- Caso de Folsom Dam (1995)
  - Construída em 1956
  - Causado por vibração, em função de pequena abertura (Livro Projeto de Vertedouros passo a passo – Geraldo Magela Pereira)



# Acidente com comporta

- Caso de Salto Osório
  - Construída em 1975
  - Acidente em 2011, por sequência de falhas em instrumentos:
    - O sistema continuou com o comando de fechamento, mesmo depois da comporta fechada;
    - O sensor de fim de curso falhou;
    - O motor continuou puxando o cabo, provocando deformação da chapa de base até o rompimento

(prof. Erton Carvalho, XXX SNGB)

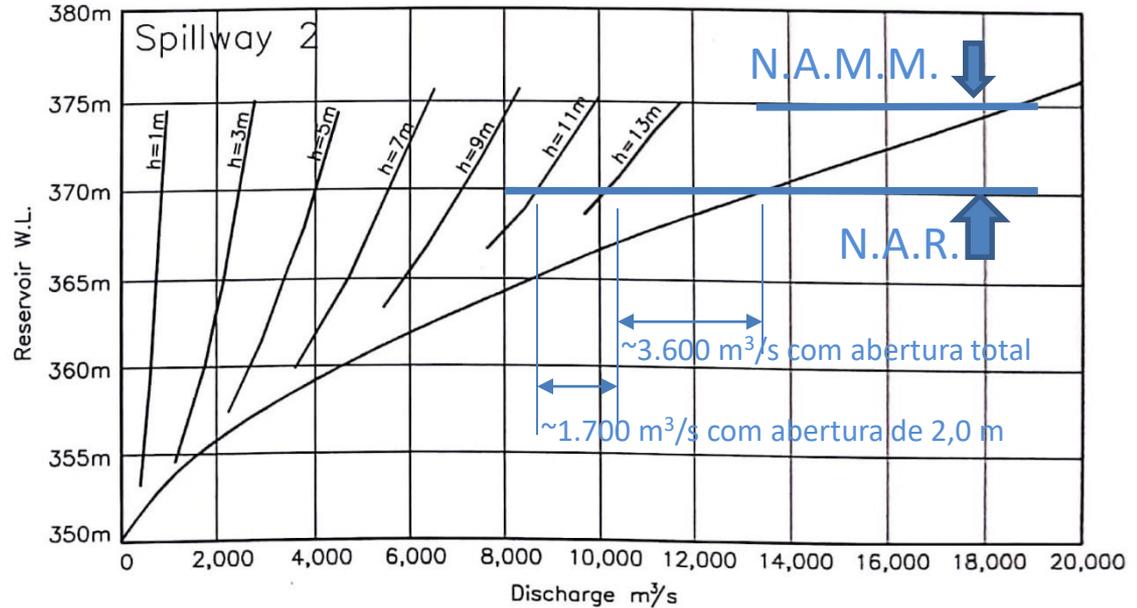


# Operação

- Baseado no projeto do vertedouro e de características do reservatório e da hidrologia da região, deve ser elaborado um Plano de Operação das Comportas.
  - O modelo reduzido ou outras obras similares podem definir limites operacionais.
  - Este plano deve ser revisado ao longo da vida da barragem.
- A principal característica do plano é definir como deverá ser operado/aberto o vertedouro para escoar determinada vazão afluyente ao reservatório.

# Operação

- Devemos prestar atenção especial na transição da abertura máxima da comporta (normalmente 60% de  $H_0$ ) para abertura total, pois a variação de vazão no vão é muito grande.
- No caso ao lado, abre-se uma comporta totalmente e fecha-se duas em 2 m.



# Operação

- A determinação da vazão que passa por uma barragem (vertida ou turbinada) é normalmente determinada em função de um balanço hídrico do reservatório, baseado em:
  - Curvas-chave de uma estação de montante e de jusante;
  - Curva Cota-volume;
  - Expectativa de evaporação e de outros usos consuntivos;
  - Dados de projeto civil; e
  - Regras de operação.



# Proposta de Abordagem para a Recuperação da Segurança Hidráulica de Vertedouros Controlados



# PROPOSTA

- Um estudo detalhado do projeto das obras civis, buscando determinar as melhores curvas de descarga possíveis;
- Determinação em testes de campo de vazões realmente vertidas, medidas em uma seção a jusante do vertedouro (hidrometria tradicional ou com ADCP);
- Ajuste do polinômio cota-volume nos trechos mais elevados;



# PROPOSTA

- Correção dos valores teóricos a partir dos dados de campo;
- Elaboração, ou revisão, do Plano de Operação de Comportas, com instalação de controles precisos das aberturas das comportas;
- Instrumentação da barragem e do vertedouro para medição em “tempo real” dos níveis de água a montante e a jusante, além do controle das aberturas das comportas;
- Implantação de um Plano de Inspeções e Manutenção dos equipamentos Eletro-mecânicos das comportas.

# PROPOSTA

- Se nesta proposta for incluído um controle automático das pressões na entrada e na saída da turbina (ou da bomba, no caso de barragens de acumulação de água potável), teríamos um controle quase total da barragem/usina (estação de bombeamento), tendo em vista que a geração elétrica (ou o consumo das bombas) é facilmente conhecido.



VI SIMPÓSIO SOBRE SEGURANÇA  
BARRAGENS E RISCOS ASSOCIADOS

# Obrigado!

Prof. André L. T. Fabiani

Universidade Federal do Paraná

[andre.dhs@ufpr.br](mailto:andre.dhs@ufpr.br)

(41) 3361-6209

