

ANÁLISE ECONÔMICA E LEGISLATIVA DA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS DE PCH'S ATRAVÉS DAS FORÇAS DECORRENTES DA PRESSÃO LÍQUIDA

Orientador: Prof. Luís Roberto Almeida GABRIEL FILHO¹

Orientadora: Prof^ª. Camila Pires Cremasco GABRIEL²

Karine Pires CREMASCO³

Gustavo Bertholo Cordeiro dos SANTOS⁴

Orientador: Prof. Luiz Roberto Almeida GABRIEL⁵

Resumo: A preocupação com a eficiência energética surgiu com a crise mundial do petróleo em 1974. Desde então, a necessidade de redução da dependência do petróleo foi gradualmente dando espaço ao conceito da diminuição do consumo. Chamado de Negawatt, esse termo refere-se à energia que não precisa ser gerada agora, evitando-se investimentos na construção de novas usinas. Assim, se ganha tempo para decisões mais maduras a esse respeito. A redução das perdas que ocorrem entre a geração nas usinas, a transmissão nos linhões e a distribuição nas redes das cidades também poderia adiar a necessidade de construção de vários empreendimentos por muitos anos. A repotenciação, que é a troca das velhas turbinas das hidrelétricas mais antigas por outras mais modernas e de melhor rendimento, utilizando a mesma **barragem** já construída e sem causar novos danos ambientais e sociais poderia gerar mais eletricidade, com muito pouco investimento. No presente trabalho estudaremos a durabilidade em uma barragem usando um de seus fatores mais importantes pressão líquida verificando assim viabilidade econômica e estrutura para que esta seja ideal. Também abordaremos a necessidade imperiosa de proteger as populações contra os riscos inevitavelmente associados às grandes infra-estruturas hoje um dado adquirido e à qual se pretende dar uma base jurídica. O interesse crescente pela segurança de barragens

¹ Professor Mestre Docente do Departamento de Administração de Empresas e Agronegócios – UNESP – Tupã / SP; Docente do Departamento de Matemática - FAI - Adamantina / SP; e Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura - FCA/UNESP - Botucatu / SP - Brasil. (orientador).

² Docente do Departamento de Matemática - FAI - Adamantina / SP e Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura - FCA/UNESP - Botucatu / SP – Brasil (orientador)

³ Discentes do 3.º Ano do Curso de Direito - Toledo – Presidente Prudente/ SP.

⁴ Discentes do 5.º Termo do Curso de Engenharia Ambiental - FAI - Adamantina / SP.

⁵ Professor Livre-Docente Docente do Departamento de Matemática - FAI - Adamantina / SP e Doutorandos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura - FCA/UNESP - Botucatu / SP - Brasil.

a nível mundial tem levado alguns países as atividades relacionadas com aproveitamentos hidráulicos com barragem, construção, observação exploração, estejam regulamentadas por intermédio de textos legais.

Palavras-chaves: segurança de barragens, legislação.

Introdução

Gerar energia com baixo custo e sem entraves ambientais tem sido uma das principais alternativas para os grandes agricultores. A saída tem sido as pequenas centrais hidrelétricas – as PCHs. Em 2001, Mato Grosso teve autorização para a construção de seis PCHs. Em 2002 esse número quadruplicou, estão construindo grandes conglomerados de PCHs num mesmo rio. As pequenas centrais hidrelétricas, segundo a Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica podem gerar até 30MW e ter um reservatório de no máximo 3 Km².

Técnicos, ambientalistas e autoridades da área ambiental são unânimes em afirmar que as pequenas centrais hidroelétricas são bem menos impactantes por não necessitar de obras nos rios e grandes reservatórios provocando alagamentos e modificando cursos de água. Outro ponto conciliador é que as PCHs são de baixo custo, baixo impacto ambiental e geram energia para pequenas comunidades ou áreas rurais.

Hoje estão em fase de construção 7 pequenas hidrelétricas em construção: no rio Rochedo, município de Novo Mundo, no rio Braço Norte, em Guarantã do Norte, no rio Jauru, em Indavaí, e no rio Caeté, em Santo Antônio do Leverger já ficaram prontas a PCH do Alto Jauru, em Jaurú, a braço Norte III, no rio Juruena, em Guarantã do Norte e a PCH Cabixí II, no rio Lambari em Comodoro. Também ficaram prontas as UHEs do rio Jauru, do grupo Queiroz Galvão, em Araputanga, com 110 MW, e a Guaporé da rede Cemat, no município de São Domingos, com 120 MW.

As pequenas usinas precisam de licenciamento ambiental. A possibilidade de ampliar a área do reservatório acima de 300 hectares pode representar riscos. "Do ponto de vista ambiental isso não é bom porque aumenta o desmatamento que influencia na qualidade da água e da fauna. Passaria a ter mais impacto". Observe na figura 1 a foto de uma barragem de grande porte.

"As PCHs são muito menos impactantes e movimentam a economia mas ampliar os reservatórios seria necessário novos estudos de bacias. É preciso analisar com cuidado",

A integral definida também é aplicada em Física para encontrarmos a força decorrente da pressão líquida sobre uma placa submersa no líquido ou a pressão exercida pelo líquido sobre as paredes laterais do recipiente que o contém.

Discussão Teórica do Tema

Cinquenta e um anos depois da assinatura da Declaração Universal dos Direitos Humanos, o mundo necessita de uma nova declaração universal, desta vez de obrigações humanas, tanto dos indivíduos quanto dos estados, a fim de deter a progressiva deterioração do ambiente de nosso Planeta. Há no mundo milhares de organizações que atualmente se ocupam dos direitos das pessoas, mas somente um punhado está se preocupando com o estabelecimento de obrigações humanas.

A Comissão Mundial de Barragens (CMB) trata-se de uma comissão internacional independente, que funciona com o patrocínio de vários representantes de governos, sociedade civil, setor privado e organizações internacionais. Os principais objetivos da CMB são conduzir a uma reflexão global da eficácia do desenvolvimento de grandes barragens; formular uma estrutura de avaliação das opções e de tomada de decisões para o manejo sustentado dos recursos hídricos e energéticos; e propor uma série de critérios internacionalmente aceitáveis e diretrizes para o planejamento, avaliação, projeto, construção, operação, monitoramento e desativação de grandes barragens. Os princípios que norteiam a Comissão são: a transparência, abrangência e acessibilidade.

Regulamentos aplicáveis ao projeto, construção, exploração e observação de barragens com altura igual ou inferior a 15 m, medida desde a parte mais baixa da superfície geral de fundações até ao coroamento, e capacidade de armazenamento menor do que 100000 m³, com exceção das abrangidas pelo n.º 2 do artigo 2.º do Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 11/90, de 6 de Janeiro. Para as barragens de altura inferior a 8 m é dispensada a aplicação das disposições do presente diploma quando especiais condições técnicas assim o exigirem. A verificação do condicionalismo previsto no número anterior é feita pelo Instituto Nacional da Água (INAG).

Artigo 2.º Elaboração dos projectos, direcção técnica das obras e responsabilidade pela exploração: Os projectos devem ser elaborados por técnicos com qualificação reconhecida pelo INAG. A construção deve ser dirigida por técnico com as mesmas qualificações requeridas para a elaboração do projeto. A exploração é da responsabilidade do dono da obra perante o INAG.

Artigo 3.º Organização dos projeto devem conter as peças escritas e desenhadas necessárias para definir completamente a obra e justificar o seu dimensionamento e outras peças que o INAG considere convenientes, designadamente no que respeita a impacte ambiental.

Artigo 4.º Aprovação dos projetos devem ser submetidos à aprovação do INAG, de acordo com as leis e regulamentos em vigor sobre o aproveitamento das águas.

A densidade de uma dada substância costuma ser indicada pelo símbolo ρ onde t é a temperatura na qual a densidade foi determinada. Geralmente a densidade de líquidos é determinada através de picnômetros: recipientes construídos para permitirem a determinação do peso de um volume conhecido de líquido. Recentemente estão disponíveis medidores eletrônicos de líquidos, pequenas amostras de líquido são colocados em um oscilador mecânico, a densidade é determinada medindo-se a frequência de ressonância, que está em função da densidade do material. A vantagem é que não é necessário determinar a massa nem o volume da amostra, o que torna a medida extremamente rápida.

Já a gravidade específica é a relação entre a massa da substância e a massa de igual volume de água, a uma temperatura padrão.

Seja f uma função cujo domínio inclui o intervalo fechado $[a, b]$, então, f será integrável em $[a, b]$ se existir um número L satisfazendo a seguinte condição: para todo $\varepsilon > 0$, existe um $\delta > 0$, tal que toda partição Δ para a qual $\|\Delta\| < \delta$, como ξ_i no intervalo fechado $[x_{i-1}, x_i]$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, temos:

$$\left| \sum_{i=1}^n f(\xi_i) \Delta_i x - L \right| < \varepsilon$$

Nestas condições, escrevemos:

$$\lim_{|\Delta| \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n f(\xi_i) \Delta_i x = L$$

Se f for uma função definida no intervalo fechado $[a, b]$ então, a integral definida de f de

a até b , denotada por $\int_a^b f(x) dx$, será dada por :

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{|\Delta| \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n f(\xi_i) \Delta_i x$$

Materiais e Métodos

Vamos supor inicialmente que uma placa plana seja colocada horizontalmente no recipiente com o líquido. O peso do líquido exerce uma força sobre a placa. A força por unidade quadrada de área exercida pelo líquido sobre a placa é chamada de **pressão** do líquido.

Seja ρ a densidade de massa do líquido e h a profundidade de um ponto abaixo da superfície do líquido.

Se P (N/m²) for a pressão exercida pelo líquido num ponto, então:

$$P = \rho gh$$

Onde g é a medida da aceleração da gravidade. Se A (m²) for a área de uma placa plana que está submersa horizontalmente em um líquido e F (N) for a força exercida pela pressão do líquido na face superior da placa, então

$$F = \rho ghA$$

Considerando uma folha de latão com 2 m x 4 m é submersa num tanque com água a uma profundidade de 3 m. Se P (N/m²) for a pressão exercida pela água num ponto da face superior da folha,

$$P = 3 \rho g$$

A área da folha é 8 m². Assim se F (N) for a força exercida pela pressão líquida na face superior da folha,

$$F = 8 P$$

Substituindo P por $3 \rho g$, obtemos

$$F = 24 \rho g$$

Tomando $g = 9,81$ e $\rho = 1.000$ temos $g \rho = 9.810$. Então, $F = 235.440$ N. Logo, a força decorrente da pressão da água sobre a superfície superior da folha é de 235.440 N.

Vamos supor agora que a placa seja submersa verticalmente no líquido. Então, em pontos da placa em profundidades diferentes a pressão será diferente e maior embaixo da placa do que em cima dela. Vamos, na sequência, definir a força causada pela pressão líquida quando a placa estiver submersa verticalmente no líquido. Usaremos o princípio de Pascal. Em qualquer ponto de um líquido, a pressão será a mesma em todas as direções.

Seja $ABCD$ a região limitada pelo eixo x , pelas retas $x = a$ e $x = b$ e pela curva $y = f(x)$, onde a função f é contínua e $f(x) \geq 0$ no intervalo fechado $[a, b]$.

Vamos tomar os eixos coordenados de tal forma que o eixo y esteja ao longo da superfície do líquido. O eixo x será tomado na vertical, apontando para baixo.

O comprimento da placa em x m de profundidade é dado por $f(x)$ (m).

Seja Δ uma partição do intervalo fechado $[a, b]$ que divide o intervalo em n subintervalos. Tome um ponto ξ_i no i -ésimo intervalo com $x_{i-1} \leq \xi_i \leq x_i$. Trace n retângulos horizontais. O i -ésimo retângulo tem um comprimento de $f(\xi_i)$ m e uma largura de Δx (m). Observe na figura 2.

Se girarmos cada elemento retangular de um ângulo de 90°, cada elemento transformar-se-á numa placa submersa no líquido a uma profundidade de ξ_i m, abaixo da superfície do líquido e perpendicular à região $ABCD$. Então, a força sobre o i -ésimo elemento retangular é dada por $\rho g \xi_i f(\xi_i) \Delta x$ (N). Uma aproximação de F , o número de N da força total na placa vertical, é dada por:

$$\sum_{i=1}^n \rho g \xi_i f(\xi_i) \Delta x$$

Que é uma soma de Riemann. Quanto menor tomarmos $\|\Delta\|$, maior será n e melhor será a aproximação dada pela soma de Riemann do que entendemos ser a medida da força total. Temos, então, a definição a seguir

Suponhamos que uma placa seja submersa verticalmente em um líquido com densidade de massa ρ . O comprimento da placa a uma profundidade de x unidades abaixo da superfície do líquido é $f(x)$ unidades, onde f é contínua no intervalo fechado $[a, b]$ e $f(x) \geq 0$ em $[a, b]$. Então F , o número de newtons da **força causada pela pressão líquida** na placa, é dado por

$$F = \lim_{\|\Delta\| \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n \rho g \xi_i f(\xi_i) \Delta_i x = \int_a^b \rho g x f(x) dx$$

Dada uma tina com uma seção transversal trapezoidal está cheia de água. Se o trapézio tiver 3 m de largura em cima, 2 m embaixo e 2 m de profundidade, ache a força total decorrente da pressão em um extremo de tina. Como na figura 3.

O problema acima apresenta um extremo da tina e um elemento retangular de área. Uma equação da reta AB é $f(x) = -\frac{1}{4}x + \frac{3}{2}$. Se girarmos o elemento retangular em 90° , a força sobre o elemento será dada por $2 \rho g \xi_i f(\xi_i) \Delta_i x$ (N). Se F for o número de newtons na força total sobre o lado da tina,

$$F = \lim_{\|\Delta\| \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n 2 \rho g \xi_i f(\xi_i) \Delta_i x = 2 \rho g \int_0^2 x f(x) dx = 2 \rho g \int_0^2 x \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{4}x \right) dx = \left[\frac{3}{4}x^2 - \frac{1}{12}x^3 \right]_0^2$$

Portanto, $F = \frac{14}{3} \rho g$

Tomando $\rho g = 9.810 \text{ N/m}^3$, determinamos que a força total é de 45.780 N.

Resolveremos um problema importante para viabilizar a construção de uma barragem em uma pequena central hidrelétrica. Suponhamos que a face da comporta de uma barragem é vertical e tem a forma de um trapézio isóscele com 3 m no topo, 4 m na base e 3 m de altura, ache a força total devido à pressão da água sobre a comporta, para que a construção tenha viabilidade econômica ideal.

Os pontos encontrados na barragem são: $O = (0,0)$; $A = (0,3/2)$; $B = (3,2)$; $C = (3,-2)$; $D = (0,-3/2)$; $E = (3,0)$. Encontraremos a força da pressão da água sobre a superfície da barragem.

$$\begin{vmatrix} x & y & 1 \\ 0 & \frac{3}{2} & 1 \\ 3 & 2 & 1 \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow -\frac{1}{2}x + 3y - \frac{9}{2} = 0 \Rightarrow y = \frac{1}{6}x + \frac{9}{6}$$

$$F = \lim_{\|A\| \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n 2\rho g \xi_i f(\xi_i) \Delta_i x = 2\rho g \int_0^3 x f(x) dx = 2\rho g \int_0^3 x \left(\frac{1}{6}x - \frac{9}{6} \right) dx = 2\rho g \left[\frac{1}{18}x^3 + \frac{9}{12}x^2 \right]_0^3$$

$$\text{Portanto, } F = \frac{99}{12} \rho g$$

Tomando $\rho g = 9.810 \text{ N/m}^3$, determinamos que a força total é de 81.427 N.

Conclusão

A atualização da legislação com vista à segurança de barragens, que constitui preocupação de entidades públicas e privadas, é plenamente alcançada com a publicação do presente Regulamento de Pequenas Barragens, que completa o Regulamento de Segurança de Barragens, permitindo ao País dispor de um conjunto de diplomas legais coerentes e articulados, acompanhando o desenvolvimento tecnológico e melhorando a segurança e a qualidade da construção e exploração de barragens.

Através de uma aplicação do cálculo diferencial integral realizamos um estudo matemático onde foi possível determinar equações que regem a pressão estabelecida pela água em uma barragem de uma pequena propriedade rural e PCH's. Esta pressão deve ser considerada para que construção ou reativação de uma barragem seja viável economicamente e estruturalmente, evitando assim desgastes e rompimentos futuros.

Referências Bibliográficas

GUIDORIZZI, H.L., **Um curso de cálculo**. 5. ed., v.1 São Paulo: LTC, 1986.

LEITHOLD, R. C. **O cálculo com geometria analítica**. 2 ed., v.2. São Paulo: Harbra, 1994.

TOLMASQUIM, T.M. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciências, 2004.

TOLMASQUIM, T.M. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciências, 2003.

FIGURAS

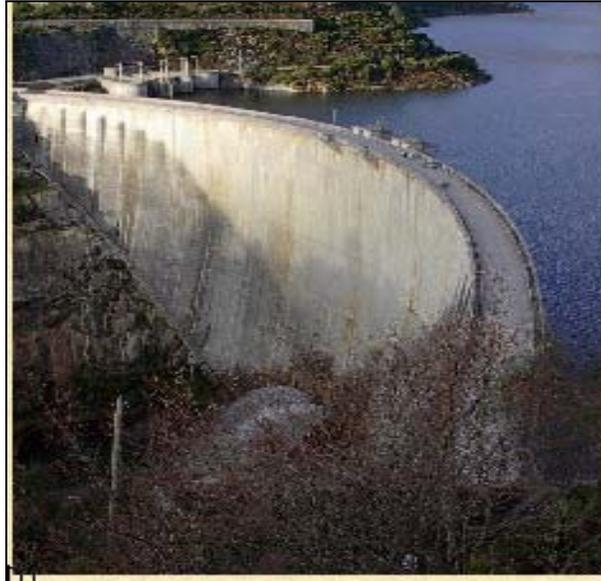


Figura 1: Foto de uma barragem de um central hidrelétrica.

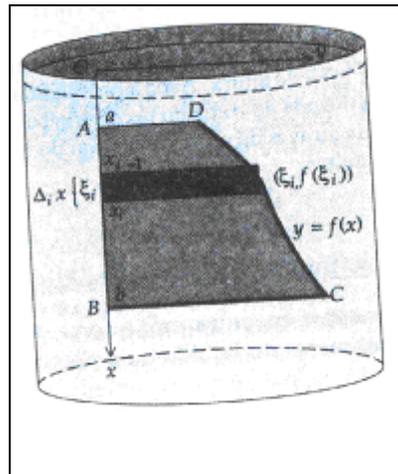


Figura 2: Representação de um pequeno metal inserido em um tanque com água.

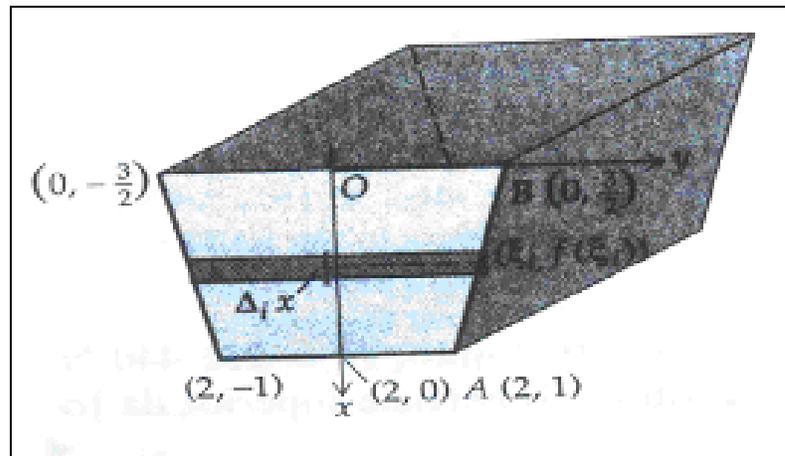


Figura 3: Representação de um tanque com água em forma de trapézio.

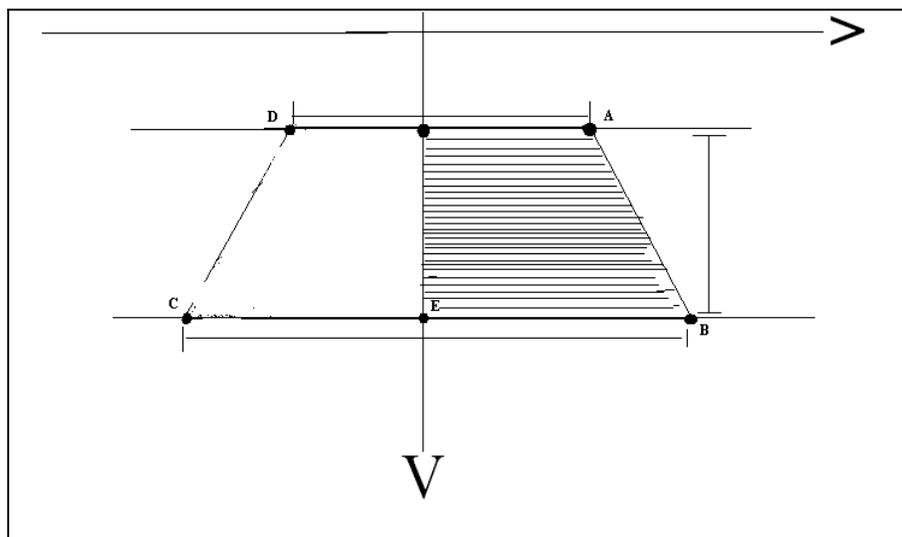


Figura 4: Aplicação da Teoria em uma pequena barragem na forma de um trapézio.

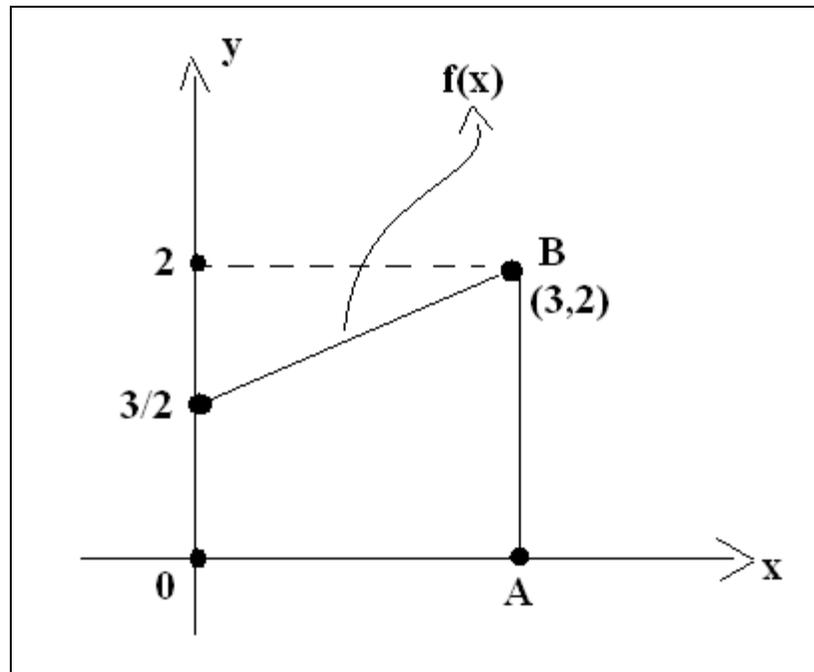


Figura 5: Transformação do problema para as coordenadas do plano.