



UNITED NATIONS  
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



# Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas

## PROJECTO

### Parte 4: Engenharia hidráulica e cálculo energético

SHP/TG 002-4: 2019



## **DECLARAÇÃO DE EXONERAÇÃO DE RESPONSABILIDADE**

Este documento foi produzido sem edição formal das Nações Unidas. As designações e a apresentação do material deste documento não implicam a expressão de qualquer opinião por parte do Secretariado da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) sobre o estatuto jurídico de qualquer país, território, cidade ou área das suas autoridades, ou sobre a delimitação das respectivas fronteiras ou limites, sistema económico ou grau de desenvolvimento. Designações como "desenvolvido", "industrializado" e "em desenvolvimento" são utilizadas para fins estatísticos e não expressam necessariamente uma opinião sobre a etapa alcançada por um determinado país ou área no processo de desenvolvimento. A menção de nomes de empresas ou produtos comerciais não constitui uma aprovação por parte da UNIDO. Embora tenha sido tomado grande cuidado para manter a precisão das informações aqui contidas, nem a UNIDO nem os seus Estados-Membros assumem qualquer responsabilidade pelas consequências que possam advir do uso do material. Este documento pode ser citado ou reimpresso livremente, mas o seu reconhecimento é necessário.

Directrizes Técnicas para o  
Desenvolvimento de Pequenas Centrais  
Hidroeléctricas  
PROJECTO

**Parte 4: Engenharia hidráulica e  
cálculo energético**

## AGRADECIMENTOS

As directrizes técnicas (TD) são o resultado de um esforço de colaboração entre a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e a Rede Internacional de Pequenas Centrais de Energia Hidroelétrica (INSHP). Cerca de 80 peritos internacionais e 40 agências internacionais estiveram envolvidos na preparação do documento e na revisão pelos pares, e forneceram sugestões e opiniões específicas para tornar as directrizes técnicas profissionais e aplicáveis.

A UNIDO e a INSHP estão enormemente gratas pelas contribuições recebidas durante o desenvolvimento destas directrizes, em particular, as fornecidas pelas seguintes organizações internacionais:

- O Mercado Comum da África Oriental e Austral (COMESA)
- A Rede Global de Centros Regionais para as Energias Sustentáveis (GN-SEC), particularmente o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da CEDEAO (ECREEE), o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da África Oriental (EACREEE), o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética do Pacífico (PCREEE) e o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética das Caraíbas (CCREEE).

O governo chinês facilitou a finalização dessas directrizes e teve grande importância na sua conclusão.

O desenvolvimento destas directrizes beneficiam extraordinariamente dos pensamentos, das revisões e das críticas construtivas, como também das contribuições de: Sr. Adnan Ahmed Shawky Atwa, Sr. Adoyi John Ochigbo, Sr. Arun Kumar, Sr. Atul Sarthak, Sr. Bassey Edet Nkposong, Sr. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Sra. Chang Fangyuan, Sr. Chen Changjun, Sra. Chen Hongying, Sr. Chen Xiaodong, Sra. Chen Yan, Sra. Chen Yueqing, Sra. Cheng Xialei, Sr. Chileshe Kapaya Matantilo, Sra. Chileshe Mpundu Kapwepwe, Sr. Deogratias Kamweya, Sr. Dolwin Khan, Sr. Dong Guofeng, Sr. Ejaz Hussain Butt, Sra. Eva Kremere, Sra. Fang Lin, Sr. Fu Liangliang, Sr. Garaio Donald Gafye, Sr. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Sr. Guo Chenguang, Sr. Guo Hongyou, Sr. Harold John Annegam, Sra. Hou ling, Sr. Hu Jianwei, Sra. Hu Xiaobo, Sr. Hu Yunchu, Sr. Huang Haiyang, Sr. Huang Zhengmin, Sra. Januka Gyawali, Sr. Jiang Songkun, Sr. K. M. Dharesan Unnithan, Sr. Kipyego Cheluget, Sr. Kolade Esan, Sr. Lamyser Castellanos Rigoberto, Sr. Li Zhiwu, Sra. Li Hui, Sr. Li Xiaoyong, Sra. Li Jingjing, Sra. Li Sa, Sr. Li Zhenggui, Sra. Liang Hong, Sr. Liang Yong, Sr. Lin Xuxin, Sr. Liu Deyou, Sr. Liu Heng, Sr. Louis Philippe Jacques Tavernier, Sra. Lu Xiaoyan, Sr. Lv Jianping, Sr. Manuel Mattiat, Sr. Martin Lugmayr, Sr. Mohamedain SeifElnasr, Sr. Mundia Simainga, Sr. Mukayi Musarurwa, Sr. Olumide TaiwoAlade, Sr. Ou Chuanqi, Sra. Pan Meiting, Sr. Pan Weiping, Sr. Ralf Steffen Kaeser, Sr. Rudolf Hüpfel, Sr. Rui Jun, Sr. Rao Dayi, Sr. Sandeep Kher, Sr. Sergio Armando Trelles Jasso, Sr. Sindiso Ngwenga, Sr. Sidney Kilmete, Sra. Sitraka Zaraso Rakotomahefa, Sr. Shang Zhihong, Sr. Shen Cunke, Sr. Shi Rongqing, Sra. Sanja Komadina, Sr. Tareqemtairah, Sr. Tokihiko Fujimoto, Sr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Sr. Tan Xiangqing, Sr. Tong Leyi, Sr. Wang Xinliang, Sr. Wang Fuyun, Sr. Wang Baoluo, Sr. Wei Jianghui, Sr. Wu Cong, Sra. Xie Lihua, Sr. Xiong Jie, Sra. Xu Jie, Sra. Xu Xiaoyan, Sr. Xu Wei, Sr. Yohane Mukabe, Sr. Yan Wenjiao, Sr. Yang Weijun, Sra. Yan Li, Sr. Yao Shenghong, Sr. Zeng Jingnian, Sr. Zhao Guojun, Sr. Zhang Min, Sr. Zhang Liansheng, Sr. Zhang Zhenzhong, Sr. Zhang Xiaowen, Sra. Zhang Yingnan, Sr. Zheng Liang, Sr. Zheng Yu, Sr. Zhou Shuhua, Sra. Zhu Mingjuan.

Seria muito bem-vinda a provisão de outras recomendações e sugestões para a execução da actualização.

## Índice

Prefácio.....	II
Introdução.....	III
<u>1</u> <u>Âmbito</u> .....	1
<u>2</u> <u>Referências normativas</u> .....	1
<u>3</u> <u>Termos e definições</u> .....	1
<u>4</u> <u>Princípios gerais</u> .....	1
<u>5</u> <u>Cálculo do regulamento de escoamento</u> .....	2
<u>6</u> <u>Cálculo da energia hidráulica</u> .....	4
<u>7</u> <u>Previsão de carga e equilíbrio energético e de energia eléctrica</u> .....	6
<u>8</u> <u>Seleção de regulação de cheias e nível característico de controlo de cheias</u> .....	8
<u>9</u> <u>Seleção do nível normal de água e do nível de armazenamento morto</u> .....	8
<u>10</u> <u>Seleção da capacidade instalada e tipo de unidade</u> .....	9
<u>11</u> <u>Seleção das dimensões do canal de adução e do volume do depósito de regulação diária</u> .....	10
<u>12</u> <u>Análise da deposição de sedimentos do reservatório e cálculo da água do remanso</u> .....	10
<u>13</u> <u>Modo de operação do reservatório e características operacionais durante vários anos</u> .....	11
<u>14</u> <u>Figuras</u> .....	11
<u>Apêndice A (Informativo)</u> <u>Cálculo de energia hidroeléctrica para centrais de energia hidroeléctrica não reguladas ou reguladas diariamente</u> .....	12
<u>Apêndice B (Informativo)</u> <u>Cálculo de energia hidroeléctrica para uma central de energia hidroeléctrica de reservatório regulado anualmente</u> .....	14

## Prefácio

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) é uma agência especializada no âmbito do sistema das Nações Unidas para promover o desenvolvimento industrial global inclusivo e sustentável (ISID). A relevância do ISID como abordagem integrada aos três pilares do desenvolvimento sustentável é reconhecida pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e pelos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) correspondentes, que contarão com o esforço das Nações Unidas e dos países rumo ao desenvolvimento sustentável nos próximos quinze anos. O mandato da UNIDO para o ISID engloba a necessidade de apoiar a criação de sistemas energéticos sustentáveis, uma vez que a energia é essencial para o desenvolvimento económico e social e para a melhoria da qualidade de vida. A preocupação e o debate internacional sobre energia têm crescido cada vez mais nas últimas duas décadas, com as questões da redução da pobreza, dos riscos ambientais e das alterações climáticas a assumirem agora um lugar central.

A INSHP (Rede Internacional de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica) é uma organização internacional de coordenação e promoção para o desenvolvimento global de pequenas centrais de energia hidroeléctrica (PCH), baseada na participação voluntária de pontos focais regionais, sub-regionais e nacionais, instituições relevantes, serviços públicos e empresas, e cujo principal objectivo são as prestações sociais. A INSHP visa a promoção do desenvolvimento global de PCH através da cooperação triangular técnica e económica entre países em desenvolvimento, países desenvolvidos e organizações internacionais, a fim de abastecer as zonas rurais dos países em desenvolvimento com energia ambientalmente saudável, acessível e adequada, o que levará ao aumento das oportunidades de trabalho, à melhoria dos ambientes ecológicos, à redução da pobreza, à melhoria dos padrões de vida e culturais locais e ao desenvolvimento económico.

A UNIDO e a INSHP colaboram no Relatório Mundial de Desenvolvimento de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica desde 2010. Com base nos relatórios, os requisitos e o desenvolvimento de PCH não estavam equiparados. Uma das barreiras ao desenvolvimento na maioria dos países é a falta de tecnologias. A UNIDO, em colaboração com a INSHP, através da cooperação com peritos globais, e com base em experiências de desenvolvimento bem-sucedidas, decidiu desenvolver as directrizes técnicas das PCH para satisfazer a procura dos Estados-Membros.

Estas directrizes técnicas foram elaboradas de acordo com as regras editoriais das Directivas ISO/IEC, Parte 2 (consultar [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

Chama-se a especial atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos destas directrizes técnicas possam estar sujeitos a direitos de patente. A UNIDO e a INSHP não serão responsáveis pela identificação desses mesmos direitos de patente.

## Introdução

Uma Pequena Central de Energia Hidroeléctrica (PCH) é cada vez mais reconhecida como uma importante solução de energia renovável para a electrificação de áreas rurais remotas. Contudo, embora a maioria dos países europeus, da América do Norte e do Sul e a China tenham elevados níveis de capacidade instalada, o potencial de uma PCH em muitos países em desenvolvimento permanece desconhecido e é prejudicado por vários factores, incluindo a falta de boas práticas ou normas globalmente acordadas para o desenvolvimento de uma PCH.

Estas Directrizes Técnicas (DT) para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica abordarão as limitações actuais dos regulamentos aplicados às directrizes técnicas para as PCH, aplicando os conhecimentos especializados e as melhores práticas existentes em todo o mundo. Pretende-se que os países utilizem estas directrizes para apoiar as suas políticas, tecnologias e ecossistemas actuais. Os países com competências institucionais e técnicas limitadas serão capazes de melhorar a sua base de conhecimentos no desenvolvimento de instalações de PCH, atraindo assim mais investimentos para projectos de PCH, encorajando políticas favoráveis e, conseqüentemente, ajudando no desenvolvimento económico a nível nacional. Estas directrizes técnicas serão valiosas para todos os países, mas permitem, especialmente, a partilha de experiências e melhores práticas entre países que têm conhecimentos técnicos limitados.

As directrizes técnicas podem ser utilizadas como princípios e fundamentos para o planeamento, estruturação, construção e gestão de PCH até 30 MW.

- Os Termos e Definições nas DT especificam os termos e definições técnicas profissionais comumente usados para PCH.
- As Directrizes do projecto fornecem directrizes para os requisitos básicos, metodologia e procedimento em termos de selecção do local, hidrologia, geologia, esquema do projecto, configurações, cálculos de energia, hidráulica, selecção de equipamentos electromecânicos, construção, estimativas de custo do projecto, pré-avaliação económica, financiamento, avaliações sociais e ambientais - com o objectivo final de obter as melhores soluções de projecto.
- As Directrizes das unidades especificam os requisitos técnicos para turbinas nas PCH, geradores, sistemas de regulação de turbinas hidráulicas, sistemas de excitação e válvulas principais, como também para sistemas de supervisão, controlo, protecção e de alimentação eléctrica de corrente contínua.
- As Directrizes de construção podem ser utilizadas como documentos de orientação técnica para a construção de projectos de PCH.
- As Directrizes de gestão fornecem orientações técnicas para a gestão, operação e manutenção, renovação técnica e aceitação de projectos de PCH.



# Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas-Projecto

## Parte 4: Engenharia hidráulica e cálculo energético

### 1 Âmbito

Esta Parte das Directrizes da estrutura especifica os métodos e etapas da engenharia hidráulica e os cálculos energéticos para o desenvolvimento de pequenas centrais hidroeléctricas (PCH), e inclui os aspectos que podem estar integrados no projecto da central de energia hidroeléctrica, como previsão de carga e energia eléctrica e o equilíbrio de energia.

### 2 Referências normativas

Os seguintes documentos são referidos no texto de tal forma que parte ou a totalidade do seu conteúdo constitui uma exigência deste documento. Para referências datadas, é apenas aplicável a edição citada. Para referências não datadas, é aplicável a última edição do documento referenciado (incluindo quaisquer alterações).

SHP/TG 001, *Directrizes técnicas para o desenvolvimento de pequenas centrais de energia hidroeléctrica — Termos e definições.*

### 3 Termos e definições

Para efeitos do presente documento, são aplicáveis os termos e definições apresentados em SHP/TG 001.

### 4 Princípios gerais

**4.1** A engenharia hidráulica e o cálculo energético devem aderir aos princípios da utilização abrangente dos recursos hídricos, tratar adequadamente a relação entre necessidades e potencialidades, perspectivas de curto e longo prazo, o curso principal e afluentes, os interesses a montante e a jusante, bem como a relação entre o desenvolvimento dos recursos hídricos e o ambiente ecológico, e a aquisição e repovoamento de terras. Os recursos hídricos devem ser desenvolvidos económica e racionalmente.

**4.2** A engenharia hidráulica e a energia devem ser calculadas com base no planeamento integrado do planeamento das bacias hidrográficas e da cidade ou (alcance) do rio e do planeamento da energia. De acordo com os requisitos de utilização abrangente, deve ser determinada a tarefa de desenvolvimento e o enquadramento de fornecimento de energia da central de energia hidroeléctrica, deve ser seleccionada a fiabilidade do projecto e o ano alvo do projecto, deve ser determinada a escala e os valores característicos da central de energia hidroeléctrica, devem ser pesquisados os modos operacionais do reservatório e da central de energia hidroeléctrica e devem ser declarados os benefícios da engenharia.

**4.3** A engenharia hidráulica e o cálculo da energia devem basear-se na recolha e análise dos dados básicos das condições sociais e económicas locais, das condições naturais, do sistema de energia eléctrica e da protecção ambiental ecológica, bem como dos requisitos de utilização abrangente. Os dados básicos devem incluir:

- a) Os dados económico-sociais, incluindo o status quo e dados de desenvolvimento da economia nacional regional, planeamento abrangente da bacia, estado de desenvolvimento e dados de planeamento do desenvolvimento dos recursos hidroeléctricos da bacia de drenagem, estado de protecção do ambiente aquático e dados de planeamento, estado da rede eléctrica regional e planeamento necessários para o cálculo abrangente dos benefícios de utilização;
- b) Os dados do relevo do terreno, incluindo o mapa topográfico da área do reservatório (a escala não deve ser inferior a 1: 1000), os perfis longitudinais e de secção transversal a montante e a jusante do local da barragem e os perfis longitudinais e de secção transversal do alcance a jusante do local da central;
- c) O planeamento profissional e os dados de requisitos de água para os vários fins, incluindo o consumo de água, requisitos ecológicos de água e pesca, turismo, navegação e outros requisitos de água dos departamentos de captação de água a montante e a jusante dos reservatórios.

**4.4** O nível de concepção da central pode ser de três a cinco anos após a entrada em funcionamento da primeira unidade, o que deve ser coerente com o plano nacional de desenvolvimento económico.

## **5 Cálculo do regulamento de escoamento**

**5.1** De acordo com o desempenho de regulação da central eléctrica e de todos os tipos de requisitos de água, o cálculo da regulação de escoamento deve ser efectuado para equilibrar a quantidade de água. A potência disponível, a geração média plurianual e a altura característica da central devem ser calculadas, e as características operacionais e benefícios da central devem ser ilustradas. Quando o cálculo do balanço hídrico for efectuado, devem ser considerados todos os tipos de consumo de água, processo de água e taxa de garantia de água das áreas a montante e a jusante.

**5.2** No cálculo da água devem ser considerados todos os indicadores da central hidroeléctrica do reservatório com requisitos de água para a ecologia, irrigação, vida e navegação, a procura de todos os aspectos deve ser considerada como um todo, e a capacidade de armazenamento necessária e o nível de armazenamento morto do reservatório deve ser razoavelmente determinado. O cálculo da produção de energia eléctrica deve ter em conta todo o tipo de procura e necessidades de abastecimento de água num ano seco extraordinário, e calcular os indicadores energéticos.

**5.3** O cálculo energético de uma central hidroeléctrica em cascata deve considerar plenamente a relação de ligação entre o caudal, o percurso do caudal e o nível de água entre as estações em cascata a montante e a jusante, bem como a utilidade de compensação mútua entre as estações em cascata; o nível de água a jusante de uma central hidroeléctrica a montante deve ser projectado tendo em consideração a influência do remanso do reservatório a jusante.

**5.4** A fiabilidade do projecto de uma PCH deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) A fiabilidade do projecto de uma central hidroeléctrica pode ser seleccionada de acordo com a proporção da capacidade hidroeléctrica no sistema de energia descrito na Tabela 1.

**Tabela 1 Fiabilidade do projecto da central de energia hidroeléctrica**

Proporção de capacidade hidroeléctrica no sistema de energia (%)	Inferior a 25	25~50	Superior a 50
Fiabilidade do projecto de uma central de energia hidroeléctrica (%)	80~85	85-90	90~95

- b) A fiabilidade do projecto de uma central de energia hidroeléctrica de reservatório com irrigação como tarefa principal ou outras tarefas de abastecimento de água deve ser seleccionada de acordo com os requisitos dos principais sectores de consumo de água.

- c) A frequência do ano típico de alto caudal, ano de caudal mediano e ano de caudal baixo deve ser seleccionada respectivamente como  $P_{high} = 100\% - P_{low}$ ;  $P_{median} = 50\%$ ;  $P_{low}$  = fiabilidade do projecto.

**5.5** O método da série cronológica deve ser aplicado no cálculo da regulação de escoamento de acordo com os seguintes requisitos:

- a) Para centrais hidroeléctricas não reguladas ou reguladas diariamente, a regulação do escoamento deve ser calculada adoptando uma longa série de caudal mediano diário ou o caudal mediano diário de um ano típico. Três anos representativos, ou seja, o ano de caudal alto, o ano de caudal mediano e o ano de caudal baixo, devem ser seleccionados como os anos típicos, e o ano de caudal alto parcial e o ano de caudal baixo parcial também podem ser adicionados.
- b) Para o reservatório regulado plurianual e o reservatório regulado anual, devem ser adoptadas séries longas para o cálculo de acordo com o caudal mediano mensal (dez dias). Quando os anos típicos são seleccionados, a frequência do volume de água no ano de caudal baixo do projecto deve ser aproximadamente igual à fiabilidade do projecto, e os valores de escoamento médio anual no ano de caudal alto, ano de caudal mediano e ano de caudal baixo devem ser todos iguais ou próximos ao escoamento médio anual.

**5.6** Quando existem projectos de conservação de água e de energia hidroeléctrica a montante ou a jusante da central hidroeléctrica ou quando existem projectos de conservação de água e de energia hidroeléctrica a serem construídos durante o ano do projecto, o cálculo da regulação do escoamento da central hidroeléctrica em cascata deve ser efectuado em conformidade.

## 6 Cálculo da energia hidráulica

**6.1** O método das séries cronológicas deve ser aplicado ao cálculo da energia hidráulica; o cálculo do balanço hídrico deve ser feito de acordo com o desempenho de regulação da central hidroelétrica, assim como as necessidades de água da ecologia, irrigação, vida e navegação, para calcular a potência disponível, a produção média anual de energia, a quantidade elétrica do pico de carga, a quantidade elétrica do vale de carga e a altura característica da central hidroelétrica.

**6.2** O cálculo da potência disponível deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Para uma central de energia hidroelétrica regulada plurianualmente, o período de abastecimento de água é o grupo do ano de caudal baixo; para uma central hidroelétrica regulada anualmente (trimestralmente), o período de abastecimento de água é de vários meses (10 dias). A potência disponível deve ser obtida pelo método de análise de frequência de acordo com a produção no período de cálculo da série longa.
- b) A produção média durante o período de caudal baixo pode ser concebida como a potência disponível para as centrais de energia hidroelétrica sem dados ou com menos de 5 MW de capacidade.

**6.3** O cálculo da altura característica deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) A altura máxima de operação deve ser a diferença entre o nível normal do depósito e o nível de água a jusante, correspondente à potência disponível para a produção de energia. Se a central de energia hidroelétrica realizar a tarefa de regulação diária, a saída mínima na regulação diária deve ser selecionada para calcular o nível de água a jusante; se ocorrer uma tarefa de controlo de inundações a jusante do reservatório, a altura máxima deve ser verificada na regulação do controlo de inundações e um valor maior deve ser considerado como o nível máximo de operação. A altura máxima de operação pode ser calculada sem considerar a perda de carga no sistema condutor de água; em relação à central de energia hidroelétrica de desvio, a altura de distribuição de água pode ser calculada de acordo com a condição de caudal baixo encontrado, e uma certa tolerância também pode ser considerada.
- b) A altura mínima de operação deve ser a diferença entre o nível de armazenamento morto e o nível de água a jusante, correspondente à capacidade máxima de descarga da central de energia hidroelétrica, com dedução da perda de altura no sistema condutor de água. No que diz respeito à central de energia hidroelétrica de altura baixa, deve ser estudada a possível geração mínima de energia durante o período de cheia.
- c) A altura média aritmética será o valor médio aritmético das alturas médias em cada período de cálculo de uma longa série de resultados de cálculo.
- d) A altura média ponderada será a razão entre a soma dos produtos da altura média multiplicada pela saída média em cada período de cálculo de uma longa série de resultados de cálculo e a soma das saídas médias em cada período de cálculo.

**6.4** O indicador de energia hidráulica da central de energia hidroeléctrica regulada diariamente pode ser calculado pelo intervalo de tempo diário ou horário. O indicador de energia hidráulica da central de energia hidroeléctrica não regulada deve ser calculado pelo intervalo de tempo diário. Tanto os métodos de intervalos de tempo diários como horários devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) Quando o método do intervalo de tempo diário é utilizado, o cálculo deve ser efectuado de acordo com as seguintes disposições:
  - 1) De acordo com a série de escoamentos médios diários na entrada de água ao longo dos anos (para a PCH com uma escala inferior a 5 MW, podem ser utilizados três ou mais anos típicos, incluindo o ano de caudal alto, o ano de caudal médio e o ano de caudal baixo), deve ser traçada a curva de caudal diário ou a curva de dependência do caudal diário.
  - 2) De acordo com as alturas correspondentes a vários caudais e o coeficiente de saída seleccionado, a curva de duração da saída ou a curva de dependência da saída deve ser calculada e traçada. A potência de saída correspondente à fiabilidade do projecto da central de energia hidroeléctrica é a potência disponível.
  - 3) De acordo com a curva de dependência da produção da central de energia hidroeléctrica, a curva de relação entre a capacidade instalada e a produção de energia deve ser calculada e traçada e, em seguida, em conjunto com a selecção da capacidade instalada da central de energia hidroeléctrica, deve ser determinada a produção média anual de energia. Ver Apêndice A para o método de cálculo específico.
- b) Quando o método do intervalo horário é utilizado, o cálculo deve ser efectuado da seguinte forma:
  - 1) De acordo com o tempo de operação de pico de carga no diagrama de carga diária local, e de acordo com o princípio de melhor utilização da carga de pico para gerar electricidade e manter uma operação de nível de água alto, a regulação do escoamento diário deve ser calculada em 24 horas e o caudal médio diário é tomado como o influxo em horas por dia.
  - 2) Quando o caudal médio diário é superior ao caudal nominal da unidade, a regulação do reservatório pode não ser considerada. O nível de água a montante do reservatório emprega o nível normal do depósito para calcular a saída de energia hidráulica.
  - 3) Quando a central de energia hidroeléctrica não gera electricidade e o reservatório não pôde atingir o armazenamento completo durante o período do vale de carga, a central de energia hidroeléctrica não gerará electricidade durante todo o período do vale de carga e no início do pico de carga até que o reservatório esteja cheio; durante o restante período de pico de carga, a soma do influxo total e do armazenamento de regulação será utilizada como a média para a geração de electricidade .
  - 4) Quando a central de energia hidroeléctrica não gera electricidade, mas o reservatório pode atingir o armazenamento total e existe excesso de água durante o período do vale de carga, a central de hidroeléctrica pode não gerar electricidade no início do período de carga do vale; o reservatório pode atingir primeiro o armazenamento total e, em seguida, a central de energia hidroeléctrica pode gerar electricidade com o nível de água total, conforme o influxo de água do reservatório na etapa posterior do período do vale de carga; durante todo o período de pico de carga, a soma do influxo total e do armazenamento de regulação é utilizada para a geração de electricidade.

- 5) Quando a central de energia hidroeléctrica não gera electricidade, mas o reservatório pode atingir o armazenamento total e existe excesso de água durante o período do vale de carga, e o armazenamento de regulação e o influxo podem satisfazer os requisitos de funcionamento com carga total da unidade, enquanto ocorrer a libertação do excesso de água durante o período de pico de carga, para evitar a libertação de água excedente durante o período de pico de carga, a central de energia hidroeléctrica não pode gerar electricidade no início do período do vale de carga até que o reservatório atinja o armazenamento total, e pode gerar electricidade de acordo com a soma da entrada do reservatório e da água excedente libertada durante o período de pico de carga na etapa posterior do período do vale de carga. A soma do influxo total e do armazenamento de regulação durante todo o período de pico de carga, após dedução da água excedente libertada, será utilizada para a produção de electricidade.

**6.5** O indicador de energia hidráulica da central de energia hidroeléctrica regulada anualmente pode ser calculado pela regulação de produção igual e pela regulação de descarga de caudal igual, ver Apêndice B para o método específico, e as seguintes disposições devem ser cumpridas:

- a) Para a produção anual de energia calculada com uma longa série de dados de escoamento, o valor médio deve ser usado para obter os indicadores plurianuais de potência média. A potência disponível deve ser calculada pelo método de análise de frequência, de acordo com a produção da série de longo-prazo.
- b) Para uma central de energia hidroeléctrica sem dados ou com uma capacidade inferior a 5 MW, a produção média anual de energia pode ser calculada de acordo com o escoamento no ano de projecto típico de caudal alto, ano de caudal mediano e ano de caudal baixo. A produção média projectada durante o ano de caudal baixo pode ser considerada como a potência disponível da central de energia hidroeléctrica.

**6.6** A saída de energia hidráulica da central de energia hidroeléctrica com desempenho de regulação plurianual pode ser calculada com referência ao cálculo da central hidroeléctrica regulada anualmente. No início do cálculo, o nível de armazenamento morto pode ser considerado como o nível inicial do reservatório de modo a obter o processo de armazenamento do reservatório ao longo dos anos, e depois os níveis iniciais de armazenamento do reservatório em cada ano devem ser registados com o seu valor médio tomado como o nível de água inicial para cálculo posterior, o cálculo também pode ser simplificado registando o nível de água do nível de armazenamento morto para dois terços do nível normal do depósito como o nível de água inicial.

## **7 Previsão de carga e equilíbrio energético e de energia eléctrica**

**7.1** A selecção do esquema de abastecimento de energia, a determinação do modo de abastecimento de energia, o equilíbrio energético e eléctrico e o cálculo da distribuição do caudal devem ser efectuados com base na previsão da carga;

entretanto, a determinação da velocidade de desenvolvimento do sistema eléctrico e a preparação do plano de desenvolvimento faseado da central de energia hidroeléctrica também deve basear-se na previsão da carga.

**7.2** A previsão de carga deve ser baseada principalmente nos resultados da previsão existente no departamento de energia que será adoptada após análise. Os seus principais dados de referência devem incluir a capacidade dos vários equipamentos eléctricos do sistema; a carga máxima global para o consumo mensal de electricidade, o consumo mensal de electricidade e o consumo total anual de electricidade do sistema; a carga máxima global do fornecimento mensal de electricidade, o fornecimento mensal de electricidade e o fornecimento total anual de electricidade do sistema, a taxa de perda global da rede do sistema, e a taxa de consumo de electricidade e a taxa de crescimento da carga de cada central eléctrica.

**7.3** Em relação à central eléctrica crítica que domina uma proporção maior do sistema, os resultados da previsão de carga fornecidos pelo departamento de energia eléctrica devem ser verificados com métodos múltiplos. Em geral, o método do coeficiente de aplicação, o método do consumo unitário e outros métodos básicos de previsão devem ser seleccionados.

**7.4** Sendo que a selecção da capacidade instalada das centrais de energia hidroeléctrica é uma proporção menor do sistema pode ser determinada por avaliação económica e comparação de esquemas de acordo com a situação real dos requisitos de energia local, enquanto o cálculo da energia eléctrica e do equilíbrio energético não é necessário. Se a central não estiver ligada à rede (ou seja, uma central eléctrica isolada), a sua capacidade instalada pode ser seleccionada com base em vinte anos da procura de energia nas áreas circundantes. Um desenvolvimento faseado deste projecto isolado também pode ser considerado.

**7.5** A capacidade instalada da central de energia hidroeléctrica crítica, que representa uma grande parte do sistema e está integrada na rede eléctrica isolada, deve ser seleccionada com base no equilíbrio de toda a rede. O equilíbrio de energia eléctrica e energia deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) A energia eléctrica e a energia podem ser equilibradas de acordo com a capacidade, quantidade eléctrica e carga de várias centrais eléctricas no ano representativo de alto caudal, ano de caudal mediano e ano de caudal baixo. As frequências do ano representativo de caudal alto, ano de caudal mediano e ano de caudal baixo podem ser seleccionadas de acordo com os seguintes métodos:
  - 1) A frequência  $P_{low}$  do ano de caudal baixo pode ser consistente com a fiabilidade de abastecimento de energia eléctrica do sistema de energia eléctrica, conforme necessário no planeamento.
  - 2) A frequência  $P_{median}$  do ano de caudal mediano é de 50%.
  - 3) A frequência  $P_{high}$  do ano de caudal alto pode ser determinada de acordo com
 
$$P_{high} = 100\% - P_{low}.$$
- b) O equilíbrio de energia eléctrica e de energia deve ser traçado com um gráfico de carga diária no ano alvo do projecto. O gráfico de carga diária deve ser seleccionado e traçado entre dois a quatro meses com o conflito de abastecimento de energia mais proeminente dentro da situação específica de operação na rede.

## **8 Selecção de regulação de cheias e nível característico de controlo de cheias**

**8.1** No cálculo da regulação de cheias, deve ser efectuada uma comparação técnica e económica para a escala de estruturas de descarga dedicadas e o nível de água limite durante a época de cheias de acordo com o padrão de controlo de inundações do projecto e os requisitos de controlo de inundações a jusante, de modo a determinar o nível limite da época de cheias, o nível de inundação do projecto e o nível de inundação de verificação.

**8.2** O nível de água característico para controlo de cheias deve ser determinado através da comparação técnica e económica em combinação com a disposição e a escala da estrutura de descarga de inundação.

**8.3** O nível limite de água na época das cheias deve ser determinado, de acordo com o princípio de combinação do controlo de cheias com a capacidade utilizável, com base numa análise abrangente das influências dos diferentes níveis de água delimitantes nas épocas de cheias sobre os principais objectivos de benefício, controlo de cheias a jusante, acumulação de sedimentos, inundação de áreas de reservatórios e investimento em projectos.

**8.4** Em relação a um reservatório em cascata, o padrão de controlo de cheias, a tarefa de controlo de cheias e o princípio de canalização de cheias dos reservatórios na cascata devem ser analisados para coordenar os modos de operação de controlo de cheias da central de energia hidroeléctrica projectada com outros reservatórios na cascata.

## **9 Selecção do nível normal de água e do nível de armazenamento morto**

**9.1** A selecção do nível normal de água do reservatório deve ser determinada por vários esquemas, que são suportados por análises técnicas e económicas, de acordo com o plano de desenvolvimento em cascata, exigência de utilização abrangente, condições de construção de engenharia, deposição de sedimentos, inundação do reservatório e ambiente ecológico. A inundação do reservatório e o ambiente ecológico devem ser considerados como factores importantes na comparação de esquemas.

**9.2** Para além da comparação dos índices energéticos económicos em diferentes esquemas, a selecção normal do nível de água deve ter em consideração os seguintes factores. Na selecção do nível normal de água do reservatório, os seguintes factores devem ser considerados para além da comparação dos indicadores económicos cinéticos de cada esquema:

- a) A topografia e geologia do local da barragem, a disposição das estruturas hidráulicas, as condições de construção, a ligação em cascata, o ambiente ecológico e o aproveitamento integral dos recursos hídricos;
- b) A inundação, imersão e perda de salinização da área do reservatório, bem como o impacto sobre as terras agrícolas, cidades e vilas, tráfego, escavações e importantes relíquias culturais e locais históricos;
- c) O impacto da acumulação de sedimentos devido ao aumento do remanso e da ligação em cascata no que diz respeito à sedimentação intensa do rio, a influência da sedimentação na capacidade de armazenamento, as relações de benefícios e cascata e a variação dos benefícios devido ao processo de sedimentação do reservatório.

**9.3** A selecção do nível de armazenamento morto do reservatório deve ser determinada através de uma análise exaustiva de acordo tanto com a comparação da energia eléctrica e do benefício energético (potência disponível e produção de energia) em diferentes esquemas, como com a consideração da decapagem e assoreamento dos sedimentos, restrições das condições de trabalho da turbina na elevação à entrada, bem como as exigências de outros departamentos sobre o nível e caudal da água.

## **10 Selecção da capacidade instalada e tipo de unidade**

**10.1** O enquadramento do abastecimento de energia da central de energia hidroeléctrica deve ser determinado através da análise do planeamento do desenvolvimento do sistema de energia local, da escala da central hidroeléctrica e da sua função no sistema de energia.

**10.2** A capacidade instalada será determinada após uma comparação exaustiva em conjunto com a energia eléctrica e o equilíbrio energético, calculando a produção anual de energia, o benefício de geração e as despesas correspondentes de cada esquema de instalação com base na análise do desempenho de regulação do reservatório, a necessidade de utilização abrangente, a carga e as características do sistema no ano alvo do projecto, o âmbito de abastecimento de energia e a estrutura de abastecimento de energia.

**10.3** No que diz respeito à central de energia hidroeléctrica de reservatório com requisitos de água para a ecologia, irrigação, subsistência e navegação, na premissa de satisfazer o abastecimento de água para a ecologia, irrigação, subsistência e navegação, serão seleccionados vários esquemas para comparação técnica e económica.

**10.4** Na selecção da capacidade instalada, o caudal de entrada deve ser coordenado com as centrais hidroeléctricas em cascata a montante e a jusante.

**10.5** A altura de água nominal da turbina deve ser determinada de acordo com as características de variação da altura e da altura média ponderada. A altura de água nominal pode ser seleccionada entre 0,85 e 0,95 da relação entre a altura nominal e a altura média ponderada. A altura nominal não deve ser superior à altura média ponderada durante a época das cheias.

**10.6** Os tipos de turbina e o número de unidades devem ser seleccionados após uma análise exaustiva e comparação de acordo com factores como produção da central eléctrica, características de variação da altura, disposição da central de energia hidroeléctrica, nível de fabricação do equipamento e requisitos de operação do sistema de energia.

## **11 Selecção das dimensões do canal de adução e do volume do depósito de regulação diária**

**11.1** A selecção da dimensão da barragem e do volume diário do depósito de regulação da central de energia hidroeléctrica de desvio deve ser determinada através de análise e comparação de acordo com as condições topográficas e geológicas, gelo, deposição de sedimentos, capacidade instalada da central de energia hidroeléctrica e modos de operação diária, devendo ser reservado o espaço adequado.

**11.2** A dimensão do canal de adução (canal/túnel) deve ser seleccionada por optimização através da comparação de esquemas através do cálculo da perda de carga, dos benefícios de electricidade e dos gastos em vários esquemas.

**11.3** O volume do depósito de regulação diária pode ser determinado com base na capacidade de armazenamento que pode satisfazer as necessidades de operação de carga diária sob a condição de fiabilidade do projecto após a regulação. O factor de segurança pode ser de 1.1 a 1.2.

**11.4** Se não for restringido por outros departamentos de utilização exaustiva, o volume do depósito de regulação diária das centrais de energia hidroeléctrica em cascata deve ser seleccionado de acordo com o funcionamento síncrono das centrais de energia hidroeléctricas em cascata.

## **12 Análise da deposição de sedimentos do reservatório e cálculo da água do remanso**

**12.1** Para centrais de energia hidroeléctrica de altura elevada, devem ser analisados os impactos da dimensão dos sedimentos na erosão das pás das turbinas e deve ser proposta a concentração de sedimentos permitida através da turbina.

**12.2** No cálculo da decapagem e assoreamento do reservatório, vários métodos de cálculo podem ser seleccionados de acordo com as características do sedimento, modo de gestão sedimentar e disponibilidade dos dados hidrológicos. Quando os dados são insuficientes, o cálculo pode ser realizado através do método analógico ou do método empírico. Quando os dados forem relativamente suficientes, o modelo matemático pode ser utilizado para o cálculo e os parâmetros principais devem ser calibrados com os dados medidos, devendo ser propostos os resultados relacionados com as posições de acumulação de sedimentos correspondentes, o volume de assoreamento e a influência no armazenamento de regulação.

**12.3** No cálculo do remanso do reservatório, o perfil natural da superfície da água antes da construção do reservatório e o perfil da superfície da água do remanso no reservatório dentro da duração prevista da sedimentação após a construção do reservatório devem ser derivados da descarga de projecto de acordo com as condições do curso do rio, características e modo de operação do reservatório. Nos dados básicos para o cálculo do remanso, deve ser indicada a disposição das secções do remanso e a base para a selecção do coeficiente de rugosidade; a secção calculada deve ter capacidade para reflectir as características básicas do curso do rio e as características do leito do rio após a sedimentação. Para um rio que transporte sedimentos, o efeito da sedimentação do reservatório deve ser considerado para o cálculo do remanso hídrico.

### 13 Modo de operação do reservatório e características operacionais durante vários anos

13.1 O modo de funcionamento do reservatório deve ser proposto de acordo com os parâmetros definidos e tendo em consideração os requisitos multiusos e a situação dos reservatórios em cascata existentes.

13.2 As características de operação durante vários anos devem ser propostas de acordo com os modos de operação do reservatório.

### 14 Figuras

Os valores para a engenharia hidráulica e cálculo de energia devem incluir:

- a) Diagrama esquemático da localização geográfica do projecto;
- b) Diagrama esquemático do enquadramento do abastecimento de energia eléctrica do projecto?
- c) Diagrama esquemático da disposição da engenharia no planeamento hidroeléctrica da bacia (região) de drenagem?
- d) Mapa da área de inundação do reservatório?
- e) Curva de nível de água-área-capacidade do reservatório;
- f) Curva de descarga do nível de água do local da central de energia hidroeléctrica;
- g) Curva de fiabilidade de produção de energia?
- h) Secção longitudinal da acumulação de sedimentos do reservatório e curva de remanso;
- i) Gráfico de operação do reservatório para as cheias previstas pelo projecto?
- j) Curva de regra de operação do reservatório (baseada nos requisitos de descargas para irrigação, abastecimento de água) ;
- k) Gráfico de operação do reservatório para cheias de verificação?
- l) Séries de caudais para satisfazer outras necessidades hídricas para além da energia (por exemplo, irrigação, abastecimento de água).

**Apêndice A**  
**(Informativo)**

**Cálculo de energia hidroeléctrica para centrais de energia hidroeléctrica não reguladas ou reguladas diariamente**

**A.1** Quando se calcula a energia hidráulica para centrais de energia hidroeléctrica não reguladas ou reguladas diariamente, os dados de escoamento a utilizar podem ser categorizados em várias faixas de caudal por ordem ascendente de pequenas para grandes, devendo ser calculada a frequência de ocorrência das várias faixas de caudal, conforme se indica na Tabela A.1.

**Tabela A.1 Tabela de estatísticas da frequência da ocorrência do mediano diário de centrais de energia hidroeléctrica não reguladas ou reguladas diariamente ao longo dos anos**

Faixas de caudal (m <sup>3</sup> /s)	caudal mediano $\bar{Q}$ (m <sup>3</sup> /s)	Frequência de ocorrência de caudal em várias faixas ao longo dos anos							Total dos tempos de ocorrência $n_i$
		Ano XX	Ano XX	Ano XX	Ano XX	Ano XX	Ano XX	Ano XX	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
$Q_1 \sim Q_2$									
$Q_3 \sim Q_4$									
$Q_5 \sim Q_6$									

NOTA: o número de anos nesta tabela deve ser determinado de acordo com os dados realmente disponíveis, mas deve incluir pelo menos três anos típicos, ou seja, o ano de caudal alto, o ano de caudal mediano e o ano de caudal baixo.

**A.2** Para centrais de energia hidroeléctrica não regulada ou regulada diariamente, o cálculo da energia hidráulica deve ser efectuado através do método de tabulação de acordo com a Tabela A.2. De acordo com os resultados da Tabela A.2, deve ser traçada a frequência de saída ou a curva duração-saída e o seu índice de energia hidráulica deve ser calculado.

Tabela A.2 Cálculo da produção de energia hidráulica das centrais de energia hidroeléctricas não reguladas ou reguladas diariamente

Não.	caudal mediano $\overline{Q}_i$ (m <sup>3</sup> /s)	Nível de água a montante $z_{si}$ (m)	Nível de água a jusante $Z_{xi}$ (m)	Queda líquida $H_i$ (m)	Produção $N_i$ (kW)	Diferença de produção $\Delta N_i$ (kW)	Ocorrência vezes $n_i$	Número acumulativo de vezes $S_{ni}$	Fiabilidade $P_i$ (%)	Duração $t_i$ (h)	Energia eléctrica $E_i$ (kW · h)	Energia eléctrica acumulada $SE_i$ (kW · h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12) = (7)X(11)	(13)
1 2												
<p><b>NOTA 1</b> Na coluna (2), Q está organizado por ordem crescente de acordo com os seus valores de cima para baixo na tabela.</p> <p><b>NOTA 2</b> O valor na coluna (7) é igual à diferença entre o valor na coluna (6) desta linha e o valor na coluna (6) da linha anterior, <math>\Delta N_i = N_i - N_{i-1}</math></p> <p><b>NOTA 3</b> O valor na coluna (8) é retirado da Tabela A-1.</p> <p><b>NOTA 4</b> O valor na coluna (9) é a acumulação dos valores da coluna (8) da última linha para cima, ou seja, ou seja, <math>S_{ni} = S_{n_{i-1}} + n_i</math></p> <p><b>NOTA 5</b> Na coluna (10), <math>P_i = S_{ni} / (S_{n_{i+1}} + 1)</math>.</p> <p><b>NOTA 6</b> Na coluna (11), <math>t_i = 8760 \times (P_i + P_{i-1}) / 200</math> quando <math>i \geq 2</math>.</p> <p><b>NOTA 7</b> O valor na primeira linha da coluna (12) <math>E_i = N_i \times t_i</math></p> <p><b>NOTA 8</b> O valor na coluna (13) é a acumulação dos valores da coluna (12) da primeira linha para baixo, ou seja <math>SE_i = SE_{i-1} + E_i</math>.</p>												

## Apêndice B (Informativo)

### Cálculo de energia hidroeléctrica para uma central de energia hidroeléctrica de reservatório regulado anualmente

**B.1** Cálculo da regulação de produção igual: o cálculo da regulação de produção igual é normalmente efectuado pelo cálculo experimental, ou seja, primeiro pressupõe a potência disponível e depois efectua o cálculo experimental para o caudal de regulação de produção de electricidade de acordo com a produção conhecida (potência disponível presumida), período por período. Se o nível de água durante um determinado período for superior ao nível normal do depósito e o excesso de água for libertado (ou se a falha de produção de energia eléctrica ocorrer quando o nível de água for inferior ao nível de armazenamento morto), é necessário aumentar (ou reduzir) o caudal de regulação da produção de electricidade e calcular a produção correspondente. Depois de concluir o cálculo de regulação para toda a série, a produção pressuposta será considerada como a potência disponível obtida se a situação de produção atingir o requisito de fiabilidade; caso contrário, é necessário pressupô-la novamente e recalculá-la até que a exigência seja cumprida. A produção de energia hidráulica, tal como a potência disponível e a produção média anual de energia obtida pelo cálculo de regulação de produção igual, deve ser verificada de acordo com o diagrama de regulação de expedição, quando necessário.

**B.2** Quando a capacidade utilizável necessária e o processo de armazenamento/descarga do reservatório são determinados para a central de energia hidroeléctrica conhecida de acordo com o processo de variação da produção do diagrama de carga, o consumo de água dos outros departamentos e o nível de água característico do reservatório (nível normal do depósito ou nível de água do armazenamento morto), ou quando a capacidade utilizável é conhecida e é necessário calcular o processo de armazenamento/descarga do reservatório e a potência disponível, o cálculo pode ser efectuado com o método experimental para solução simultânea da Fórmula (B.1), Fórmula (B.2) e Fórmula (B.3). Consulte a Tabela B.1 para obter a tabela de cálculo.

$$N = A Q_p (\bar{Z}_s - \bar{Z}_x - \Delta h) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$V_m = V_c + (Q_i - Q_p - Q_v) \Delta t \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$V_m = V_c - (Q_p - Q_i - Q_v) \Delta t \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

onde

$N$  é a produção da central de energia hidroeléctrica, em kW;

$A$  é o coeficiente de produção exaustivo da central de energia;

$Q_p$  é o caudal de entrada da central de energia hidroeléctrica, em m<sup>3</sup>/s;

$\bar{Z}_s$  é o nível de água médio do troço a montante, em m;

$\bar{Z}_x$  é o nível de água médio do troço a jusante, em m;

$\Delta h$  é a perda de altura, m;

$V_m$  é a capacidade de armazenamento do reservatório no final do período, em m<sup>3</sup>;

$V_c$  é a capacidade de armazenamento do reservatório no início do período, em m<sup>3</sup> ;

$Q_i$  é o influxo a montante, em m<sup>3</sup>/s;

$Q_v$  é o consumo de água dos outros departamentos, a evaporação e perda de fugas e a libertação da água excedente, em m<sup>3</sup>/s;;

$\Delta t$  é a duração, em s.

**Tabela B.1 Cálculo da energia hidráulica do reservatório regulado anualmente quando a produção da central de energia hidroeléctrica é conhecida**

Mês	Produção da central de energia hidroeléctrica $N_i$ (kW)	influxo de água natural $Q_f$ (m <sup>3</sup> /s)	caudal que consome água (m <sup>3</sup> /s)			Armazenamento de água e abastecimento de reservatório (m <sup>3</sup> )		Armazenamento total de água do reservatório (m <sup>3</sup> )			Altura (m)				Produção $N_i$ (kW)	Produção de energia eléctrica $E_i$ (kW · h)
			Produção de energia eléctrica $Q_{pi}$	Outros $Q_{yi}$	Total $Q_i$	Armazenamento de água $+\Delta W_i$	Abastecimento de água $-\Delta W_i$	No início do mês $V_{ci}$	No final do mês $V_{mi}$	Média mensal $\bar{V}_i$	Nível de água a montante $Z_{si}$	Nível de água a jusante $Z_{xi}$	Perda de altura $\Delta h_i$	Queda líquida $H_i$		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)

- NOTA 1** A coluna (4) é  $Q_{pi}$  no período de abastecimento de água, é  $Q_{xi}$  no período de armazenamento de água mas não deve exceder o caudal máximo da central de energia hidroeléctrica.
- NOTA 2** Coluna (5)  $Q_{yi}$ , incluindo o consumo de água dos outros departamentos, a evaporação e perda de fugas e o excesso de água libertada.
- NOTA 3** Coluna (6),  $Q_i = Q_{pi} + Q_{yi}$ .
- NOTA 4** Colunas (7) e (8),  $\Delta W_i = \pm (Q_{fi} - Q_i) T$ , onde T se refere aos segundos do corrente mês.
- NOTA 5** Colunas (9) e (10),  $V_{mi} = V_{ci} \pm \Delta W_i$ .
- NOTA 6** Colunas (12), o nível de água a montante  $Z_{si}$  é obtido com  $\bar{V}_i$ , consultando o nível do reservatório e a curva de relação de capacidade de armazenamento.
- NOTA 7** As colunas (13) são obtidas com o caudal descarregado, consultando o nível a jusante e a curva de relação de descarga.
- NOTA 8** Colunas (15),  $H_i = Z_{si} - Z_{xi} - \Delta h_i$ .
- NOTA 9** Colunas (16),  $N_i = A \times H_i \times Q_i$
- NOTA 10** Colunas (17),  $E_i = N_i \times T$ ; onde T se refere a horas em cada mês; a quantidade acumulada para o ano inteiro é  $\sum E_i$  ou seja, a produção anual de energia.
- NOTA 11** Na tabela, a letra  $i$  dos símbolos refere-se ao mês,  $i =$  Janeiro, Fevereiro, Dezembro.

**B.3** Cálculo da regulação de caudal igual:

a) No cálculo de regulação de caudal igual, pressupõe-se que diferentes caudais são desviados para a central de energia hidroeléctrica durante o período de armazenamento e o período de abastecimento; os caudais de entrada durante o período de armazenamento e o período de abastecimento devem ser determinados através de cálculos experimentais.

1) O caudal de entrada durante o período de abastecimento é calculado com a Fórmula (B.4).

$$Q_p = \frac{W_{gl} + V_x - W_{gs} - W_{gy}}{T_g} \dots\dots\dots (B.4)$$

onde

$Q_p$  é o caudal de entrada da central de energia hidroeléctrica durante o período de abastecimento, em m<sup>3</sup>/s;

$W_{gl}$  é o influxo de água a montante durante o período de abastecimento, em m<sup>3</sup>;

$V_x$  é a capacidade utilizável, em m<sup>3</sup>;

$W_{gs}$  é a perda de água durante o período de abastecimento, em m<sup>3</sup>;

$W_{gy}$  é o consumo de água dos outros departamentos durante o período de abastecimento, em m<sup>3</sup>;

$T_g$  é a duração do período de abastecimento, em s.

2) O caudal de entrada durante o período de abastecimento é calculado com a Fórmula (B.5).

$$Q_x = \frac{W_{xl} - V_x - W_{xs} - W_{xy}}{T_x} \dots\dots\dots (B.5)$$

onde

$Q_x$  é o caudal de entrada da central de energia hidroeléctrica durante o período de armazenamento, em m<sup>3</sup>;

$W_{xl}$  é o influxo de água a montante durante o período de armazenamento, em m<sup>3</sup>;

$V_x$  é a capacidade utilizável, em m<sup>3</sup>;

$W_{xs}$  é a perda de água durante o período de armazenamento, em m<sup>3</sup>;

$W_{xy}$  é o consumo de água dos outros departamentos durante o período de armazenamento, em m<sup>3</sup>;

$T_x$  é a duração do período de armazenamento, em s.

- b) A regulação de caudal igual pode ser calculada com o método de tabulação, conforme mostrado na Tabela B.2. Os índices de energia hidráulica correspondentes são obtidos com os resultados do cálculo de tabulação para o ano de caudal baixo ou para vários anos (ou três anos típicos, ou seja, o ano de caudal alto, o ano de caudal mediano e o ano de caudal baixo). A produção média durante o período de abastecimento do ano do projecto de caudal baixo é a potência disponível. O valor médio da produção anual de energia ao longo dos anos ou em três anos típicos, ou seja, o ano de caudal alto, o ano de caudal mediano e o ano de caudal baixo, é a produção média anual de energia.
- c) O cálculo da regulação de caudal igual deve ter em conta a influência do nível de operação da central de energia hidroeléctrica quando a água é armazenada ou descarregada do reservatório. Durante o cálculo específico, a capacidade de armazenamento ou variações do nível de água no início e no final do período pode ser verificada e calculada com o armazenamento do reservatório e a curva de relação de estágios.

**Tabela B.2 Cálculo de energia eléctrica da regulação de caudal igual para o reservatório anualmente regulado**

Mês	influxo de água natural $Q_r$ (m <sup>3</sup> /s)	caudal que consome água (m <sup>3</sup> /s)			Armazenamento de água e abastecimento de reservatório (m <sup>3</sup> )		Armazenamento total de água do reservatório (m <sup>3</sup> )			Altura (m)				Produção $N_i$ (kW)	Produção de energia eléctrica $E_i$ (kW · h)
		Produção de energia eléctrica $Q_{pi}$	Outros $Q_{yi}$	Total $Q_i$	Armazenamento de água $+\Delta W_i$	Abastecimento de água $-\Delta W_i$	No início do mês $V_{ci}$	No final do mês $V_{mi}$	Média mensal $\bar{V}_i$	Nível de água a montante $z_{si}$	Nível de água a jusante $z_{xi}$	Perda de altura $\Delta h_i$	Queda líquida $H_i$		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)

**NOTA** Consulte a Tabela B.1 para obter os métodos de cálculo para as colunas desta tabela.