



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroelétricas

DESENHO

Parte 2: Hidrologia

SHP/TG 002-2: 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
DESENHO

Parte 2: Hidrologia

SHP/TG 002-2: 2019

AGRADECIMENTOS

As directrizes técnicas (TG) 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 Hidroeléctrica (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 de Energia Sustentável (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 Gafiye, 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. Dhahesan Unnithan, Sr. Kipyego Cheluget, Sr. Kolade Esan, Sr. Lamysier 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 Zarasoa 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
1 Âmbito	1
2 Referências normativas.....	1
3 Termos e definições	1
4 Disposições gerais	1
5 Dados básicos	3
6 Escoamento	4
7 Curva de duração do caudal	10
8 Análise de água baixa	11
9 Cheia	11
10 Curva de aferição de jusante	15
11 Sedimentos, evaporação, regime de gelo e outros	16
12 Verificação da racionalidade dos resultados.....	17
Apêndice A (Informativo) Cálculo do rendimento da tempestade e do escoamento e concentração do escoamento	20

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. Um dos obstáculos 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).

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 Diretrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidrelétricas 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 acordadas para apoiar a sua política, tecnologia e ecossistemas actuais. Os países com capacidades institucionais e técnicas deficitárias serão capazes de melhorar a sua base de conhecimentos no desenvolvimento de instalações de PCH, atraindo assim mais investimento em projectos de PCH, encorajando políticas favoráveis e, subsequentemente, ajudando no desenvolvimento económico a nível nacional. Estas DT serão valiosas para todos os países, mas permitem especialmente a partilha de experiências e melhores práticas entre países que possuem know-how técnico de ponta.

As DT podem ser utilizadas como princípios e base para o planeamento, concepção, construção e gestão de instalações de PCH até 30 MW.

- Os Termos e Definições das DT especificam os termos e definições técnicas profissionais comumente usados para PCH.
- As Directrizes de Projecto fornecem directrizes para os requisitos básicos, metodologia e procedimento em termos de selecção do local, hidrologia, geologia, disposição do projecto, configurações, cálculos de energia, hidráulica, selecção de equipamentos electromecânicos, construção, estimativas de custo do projecto, avaliação económica, financiamento, avaliações sociais e ambientais — com o objectivo final de alcançar 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 2: Hidrologia

1 Âmbito

Esta parte das directrizes de projecto da estrutura inclui os dados hidrológicos básicos, bem como os métodos de cálculo e análise de racionalidade necessários dos parâmetros hidrológicos principais, como a precipitação, o escoamento, as cheias e a sedimentação aplicáveis durante o planeamento, a concepção, a construção e a operação de uma instalação de uma pequena central hidroeléctrica (PCH).

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 Disposições gerais

4.1 Para o cálculo hidrológico da PCH, devem ser analisados e calculados os seguintes parâmetros hidrológicos, tendo em conta os requisitos do projecto de engenharia:

- a) Recolha dos dados básicos;
- b) Análise e cálculo do escoamento;
- c) Curva de duração do fluxo;

- d) Análise de nível de água baixo;
- e) Estimativa de cheias do projecto;
- f) Elaboração da curva de relação nível de água-descarga;
- g) Análise e cálculo do regime de sedimentos, evaporação e gelo;
- h) Informações básicas sobre a qualidade da água;
- i) Sistema de medição e relatório do regime hídrico;
- j) Verificação da racionalidade do resultado.

4.2 As informações sobre as quais o cálculo hidrológico é realizado devem ser fiáveis, consistentes e representativas.

4.3 Deve ser adoptada uma variedade de métodos para o cálculo hidrológico e os resultados devem ser analisados de forma exaustiva e razoavelmente seleccionados. A análise de frequência é normalmente adoptada. Podem ser utilizadas curvas Pearson III ou outras linhas.

4.4 A dedução dos dados hidrológicos e dos parâmetros de concepção hidrológica deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Os parâmetros de projecto hidrológico devem ser calculados pelos dados do caudal na bacia com dados de caudal suficientes.
- b) Os parâmetros do projecto hidrológico podem ser calculados pelos dados das chuvas fortes na bacia onde os dados do caudal e de chuva são insuficientes.
- c) Para os dados em falta da bacia, os parâmetros de projecto hidrológico devem ser calculados aplicando o deslocamento ou um modelo apropriado, e os resultados hidrológicos devem ser avaliados recorrendo à análise abrangente regional.
- d) Para os dados em falta da bacia, os resultados hidrológicos devem ser obtidos com base na simulação hidrológica regional e na análise de similaridade.
- e) As estações meteorológicas temporárias e as estações de nível de água devem ser instaladas desde o início da implementação do projecto na bacia com dados em falta ou sem dados, de modo a fornecer a base de referência para a investigação hidrológica e a análise e cálculo hidrológico. Se necessário, deve ser criado um sistema de monitorização e comunicação do regime de águas a longo-prazo.

4.5 A racionalidade dos resultados do cálculo hidrológico deve ser verificada em todo o processo de análise e cálculo hidrológico.

5 Dados básicos

5.1 Os dados básicos para a análise hidrológica do projecto de PCH devem incluir os dados hidrológicos e meteorológicos, características da bacia hidrográfica e dados geográficos, informação sobre o impacto das actividades humanas, resultados dos cálculos hidrológicos da bacia e áreas próximas e outros dados relevantes, e devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) Os dados hidrológicos e meteorológicos incluem:
 - 1) Informações básicas, como a pluviosidade, evaporação, nível de água, caudal, sedimentos e regime de gelo;
 - 2) Outras informações relativas à temperatura do ar, temperatura da água, qualidade da água, química da água, velocidade do vento, direcção do vento, humidade, pressão do ar, luz solar, geada e neve;
 - 3) A localização geográfica, coordenadas, elevação, tempo de construção, itens de observação e outras informações relevantes de cada estação de aferição, estação hidrológica e estação de precipitação.
- b) As características da bacia e os dados geográficos, incluindo a posição geográfica, característica de altitude, característica de forma, área da bacia hidrográfica, comprimento e o talude longitudinal do leito do rio/ riacho dentro da bacia hidrográfica a partir do mapa topográfico regional relevante, numa escala de 1 : 10 000 ou 1:50 000 e o mapa de levantamento topográfico à escala de 1: 500 ou 1: 200.
- c) As informações sobre o efeito da actividade humana incluem a central hidroeléctrica existente, reservatório, desvio de água entre bacias, áreas de irrigação, estação de bombagem de irrigação e drenagem, abastecimento de água na bacia, conservação da água e do solo e corte de florestas.
- d) Os resultados do cálculo hidrológico da bacia e da área próxima incluem a análise hidrológica aprovada do projeto hidrelétrico existente na bacia próxima.
- e) A análise abrangente e o resultado da pesquisa dos dados hidrológicos e meteorológicos no distrito incluem o manual hidrológico, o atlas hidrológico, a carta de chuvas fortes, o mapa de escoamento, a avaliação dos recursos hídricos, o provável atlas máximo de tempestades e dados históricos de investigação de cheias.
- f) Outros dados hidrológicos e meteorológicos relevantes pesquisados, concebidos, classificados, mantidos, preparados ou publicados ao longo dos anos pelas autoridades competentes em matéria de energia eléctrica, ferroviária, rodoviária, administração municipal, navegação, agricultura e silvicultura. Estes dados podem ser usados para a comparação e análise dos dados básicos recolhidos dos recursos hídricos, energia hidroeléctrica e sistema meteorológico para a verificação da racionalidade dos resultados.

5.2 As séries de dados em que se baseia o cálculo hidrológico devem ser verificadas quanto à fiabilidade, consistência e representatividade, e devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) Verificação da fiabilidade: A fonte, período, método de observação, possíveis problemas e razões para não ser compilado e publicado devem ser verificados para os dados originais não compilados formalmente.
- b) Verificação de consistência: Deve ser verificada a influência das actividades humanas nos dados hidrológicos, bem como a inconsistência dos dados causada pela ruptura da barragem, inundação de lago glacial (GLOF, glacial lake outburst flood) ou ruptura do canal do rio.
- c) Verificação da representatividade: Nos casos em que a série de dados é curta e pode haver uma grande discrepância entre a amostra e a totalidade, a representatividade dos dados deve ser verificada.
- d) Análise da lacuna: A análise ou exame das discrepâncias, dados em falta ou não registados para uma determinada data ou período deve ser realizada, e as discrepâncias devem ser preenchidas por estimativas razoáveis, tais como interpolação, extrapolação ou outros métodos viáveis.
- e) Se disponível, a verificação e a avaliação local devem ser realizadas através de recursos locais que envolvam os eventos de caudal histórico.

5.3 A investigação da inundação histórica, marca de inundação recente, medição do nível de inundação, levantamento e medição do nível normal de água, levantamento da estação seca, levantamento do troço do rio e estudo de sedimentação devem ser realizados para as regiões com dados insuficientes ou sem dados; se as condições permitirem, a observação e levantamento do nível de água, caudal e sedimentos devem ser realizados.

6 Escoamento

6.1 De acordo com os requisitos de projecto e disponibilidade dos dados, todos os resultados do escoamento de projecto ou parte desses resultados que se apresentam seguidamente devem ser fornecidos:

- a) O escoamento superficial médio anual, bem como o escoamento superficial anual, o escoamento superficial na estação das cheias, o escoamento superficial durante a estação seca e o escoamento superficial mensal mais seco com a frequência designada ou os anos representativos do projecto;
- b) A distribuição anual do escoamento nos anos do representante de concepção.

6.2 Quando a disponibilidade dos dados for alta, todos os resultados especificados em 6.1 devem ser fornecidos; quando a disponibilidade de dados for baixa, o escoamento superficial anual e a distribuição anual nos anos representativos do projecto devem ser, no mínimo, fornecidos.

6.3 De acordo com as disponibilidades de dados, o escoamento do projecto deve ser calculado pelo seguinte método:

- a) Quando houver disponibilidade dos dados de escoamento medidos no local do projecto, deve ser utilizada a análise de frequência.
- b) Quando há uma estação de aferição de escoamento superficial a jusante/à montante da “she” do projecto, na bacia hidrográfica, bacia adjacente ou bacia próxima com condições hidrológicas e meteorológicas homogéneas semelhantes, o método de analogia hidrológica deve ser adoptado.
- c) Caso não existam dados de escoamento medidos, a relação pluviométrica ou o método do modelo pode ser adoptado de acordo com os dados de precipitação.
- d) Quando os dados de escoamento não estão disponíveis, podem ser estimados pelo respectivo manual hidrológico e calculados com base numa análise abrangente dos resultados regionais.

6.4 As estações de aferição consistem principalmente em duas categorias, a estação de aferição de precipitação e a estação de aferição de escoamento superficial, que devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) As condições da estação de aferição de escoamento devem estar sujeitas às disposições do ponto 6.9.
- b) A estação de aferição de precipitação com a série mais longa pode ser seleccionada como a estação de aferição de precipitação anual da área próxima à área remota, dentro desta bacia, a bacia adjacente, região próxima com condições hidrológicas e meteorológicas semelhantes ou a região com condições meteorológicas de consumo quando há poucas limitações para a estação de referência básica de precipitação.

6.5 O cálculo da frequência de escoamento deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Na série de escoamentos consecutivos de termo n , a frequência empírica P_m do termo m em ordem decrescente, deve ser calculada com a Fórmula (1).

$$P_m = \frac{m}{n + 1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

onde

n é o número de termos da série de observação;

m é a ordem na série de observação;

P_m é a frequência empírica m_{th}

- b) A curva de frequência de escoamentos deve utilizar a curva de Pearson III, enquanto os outros tipos adaptativos às condições locais também podem ser seleccionados de acordo com as condições geológicas, meteorológicas e hidrológicas do local do projecto. Os parâmetros estatísticos da curva de Pearson III são expressos como o valor médio \bar{X} , coeficiente de variação C_v e coeficiente de assimetria C_s calculados com a Fórmula (2), (3) e (4):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots (2)$$

$$C_v = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (3)$$

$$C_s = \alpha C_v \dots\dots\dots (4)$$

onde

X_i é a série de observação, $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

K_i é o coeficiente de módulo, $K_i = \frac{X_i}{\bar{X}}$;

α é o coeficiente de proporção múltipla, determinado de acordo com as características hidrológicas da bacia local.

- c) Quando a curva de frequência é determinada de acordo com os pontos de frequência empíricos, os parâmetros estatísticos devem ser preliminarmente estimados pela fórmula dada neste artigo, e depois ajustados e determinados pelo método de ajustamento da curva.
- d) No ajustamento com o método de ajustamento de curvas, os dados dos pontos do ano de caudal normal/baixo devem ser particularmente considerados com base na tendência do grupo de pontos de ajustamento.

6.6 A série de escoamentos consecutivos para a análise e cálculo da frequência devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) A série de escoamentos não deve ser inferior a 20 anos, mas pode ser adequadamente reduzida para 10 a 20 anos quando os dados forem escassos.
- b) Quando os dados de escoamento medidos forem insuficientes, a interpolação deve ser adoptada para prolongar a série de escoamentos e então a análise de frequência deve ser calculada; os parâmetros relevantes da série interpolada ou prolongada de escoamentos devem ser medidas de forma contínua ou descontínua por mais de 8 anos, e a amplitude de extensão da linha relevante não deve ser superior a 50% da amplitude de variação medida.

6.7 A interpolação e extensão da série de escoamentos superficiais pode ser calculada a partir da correlação entre fase de descarga, a correlação entre precipitação e escoamento superficial, a analogia entre área de captação, correlação entre escoamento superficial, modelo matemático de escoamento pluvial ou outros métodos de inspecção e demonstração com base nos dados relativos a esta bacia, as áreas a montante/jusante, a bacia adjacente ou bacias próximas com condições hidrológicas e meteorológicas semelhantes.

6.8 Na análise de correlação, a correlação multivariada não deve ser realizada, a relação genética física entre a variável independente e a variável dependente deve ser considerada, assim como o coeficiente de correlação correspondente, e a fórmula de regressão deve ser seleccionada. O coeficiente de correlação deve ser superior a 0,8.

6.9 Quando a analogia hidrológica ou a interpolada é utilizada para ampliar séries, os seguintes requisitos devem ser cumpridos:

- a) As condições meteorológicas e climáticas devem ser semelhantes nas bacias de projecto e de referência.
- b) As condições geológicas, topográficas e de vegetação, assim como o efeito das actividades humanas, devem ser basicamente as mesmas ou semelhantes nas bacias de concepção e de referência.
- c) A precipitação anual ou a precipitação no período correspondente deve ser utilizada para corrigir a analogia dos resultados da bacia hidrográfica.

6.10 Quando a analogia hidrológica é usada para calcular e projectar a série de escoamentos da central de energia hidroeléctrica, a Fórmula (5) pode ser usada:

$$Q_s = \frac{F_s P_s Q_c}{F_c P_c} \dots\dots\dots (5)$$

onde

Q_c é a descarga na estação de aferição, em m³/s;

F_c é a área de drenagem na estação de aferição, em km²;

P_c é a precipitação na bacia de drenagem da estação de aferição, em mm;

Q_s é a descarga de concepção da central de energia hidroeléctrica, em m³/s;

F_s é a área de drenagem da central de energia hidroeléctrica, em km²;

P_s é a precipitação de concepção na bacia de drenagem da central de energia hidroeléctrica, em mm.

6.11 A análise e o cálculo da síntese regional devem incluir dois aspectos:

- a) Para utilizar os diagramas de síntese regionais existentes. Os diagramas regionais de síntese devem incluir principalmente o mapa de contorno do valor médio anual de escoamento da bacia hidrográfica versus o coeficiente de variação Cv e o mapa de partição dos valores Cs/Cv, o mapa de contorno dos valores médios anuais regionais de precipitação versus Cv, bem como os valores Cs/Cv, e o diagrama de relação anual de síntese regional de precipitação-escoamento ou o mapa de contorno do coeficiente de escoamento anual.

- b) Para analisar e sintetizar melhor os resultados relevantes de acordo com a disponibilidade dos dados, bem como com as exigências do projecto de engenharia e a profundidade do trabalho.

6.12 As séries anuais de escoamentos superficiais adoptadas serão analisadas quanto à representatividade e consistência nos seguintes métodos:

- a) Para séries de escoamentos relativamente mais longas, o método da média móvel, o método da média acumulada e a curva de produto da diferença podem ser usados para analisar e avaliar a representatividade da série ou da série representativa do segmento.
- b) Para séries de escoamentos relativamente mais curtas, a representatividade da série curta correspondente da estação de aferição de precipitação da série longa na bacia ou em áreas com condições hidrológicas e meteorológicas semelhantes pode ser analisada de modo a avaliar a representatividade da série de escoamentos da estação.
- c) A consistência da série anual de escoamentos superficiais pode ser verificada através da análise da variação interanual e de longo-prazo da relação entre a precipitação anual e o escoamento superficial, ou através da investigação do desenvolvimento histórico do uso da água e dos projectos hidroeléctricos na bacia.

6.13 As frequências anuais concebidas na estação de caudal alto, estação de caudal normal e estação de caudal baixo podem ser de, respectivamente, 5% a 25% , 50% e 75% a 95%. A frequência na estação de caudal baixo deve ser consistente com a fiabilidade do projecto da central de energia hidroeléctrica.

6.14 A distribuição anual no ano representativo do projecto pode ser determinada pelo método de ajustamento múltiplo homogéneo sobre o caudal anual controlado da água.

6.15 O ano representativo do projecto pode ser determinado de acordo com os três princípios seguintes:

- a) A frequência empírica está próxima da frequência do projecto.
- b) Os dados de escoamento anual medidos estão completos ou tornam-se completos após a interpolação.
- c) A situação é adversa para o funcionamento futuro da central, o que significa que a central irá abandonar muita água quando o escoamento for mais pesado que um ano normal, pois ocorrem muitas cheias durante a estação de cheias; a produção da central será insuficiente durante um longo período e até parar devido à secagem do caudal se o escoamento for menor que o do ano normal, pois há pouca água a entrar durante a estação seca.

6.16 Quando os dados de escoamento medidos são insuficientes, os seguintes métodos devem ser usados para determinar o escoamento anual e sua distribuição anual no ano representativo do projecto de acordo com as diferentes disponibilidades de dados pluviométricos e de escoamento:

- a) Os dados da estação de aferição devem ser utilizados directamente ou após uma análise exaustiva na proporção da área de captação.
- b) O gráfico de síntese da área de escoamento superficial existente deve ser utilizado.
- c) Os anos com dados de escoamento superficiais medidos devem ser seleccionados como anos representativos do projecto de vários anos típicos de precipitação anual com frequências semelhantes nas estações de referência de precipitação. O escoamento anual do ano representativo do projecto correspondente será determinado pelo método de síntese regional.
- d) Se a precipitação e a distribuição anual do escoamento forem favoravelmente semelhantes, a distribuição anual no ano representativo de projecto pode ser determinada de acordo com a proporção da precipitação mensal na estação de referência da precipitação em relação à precipitação anual no ano representativo de projecto, e com consideração do caudal de base apropriado.
- e) Os dados médios mensais não devem ser os únicos, e o padrão são os dados diários. Os dados por hora podem ser usados para alguns modos específicos de operação.

6.17 Quando o escoamento superficial é significativamente afectado pelas actividades humanas, o cálculo da redução anual do escoamento superficial deve ser efectuado de acordo com os seguintes métodos:

- a) O método de investigação item por item ou o modelo precipitação-escoamento deve ser utilizado para calcular ano por ano e mês por mês (dez dias por dez dias).
- b) Quando os dados necessários para a redução anual são insuficientes, a estimativa de redução pode ser feita pelos anos típicos de caudal alto, caudal mediano e caudal baixo, conforme os diferentes períodos de desenvolvimento das actividades humanas.
- c) Quando os dados necessários para a redução mensal são insuficientes, a estimativa da redução pode ser feita pelo período principal de consumo de água e pelo período não essencial de consumo de água.

6.18 O escoamento do projecto de PCH deve considerar os efeitos das características topográficas complexas, tais como os canais fluviais extremamente irregulares ou extremamente instáveis, as condições geológicas especiais, tais como as condições cársticas, e eventos naturais, tais como uma inundação repentina resultando numa ruptura de diques.

6.19 O escoamento de cada central de energia hidroeléctrica em cascata deve ser calculado de acordo com o modo de descarga/diversificação da água das centrais de energia hidroeléctrica, a área de captação entre as estações e os dados relevantes, se as centrais a montante tiverem uma influência notável no regime hidrológico da cascata.

7 Curva de duração do caudal

7.1 Para os resultados do cálculo hidrológico das centrais de energia hidroeléctrica de escoamento ou de desvio, deve ser fornecida a curva de duração média diária do caudal na secção de entrada ou na secção da barragem da central eléctrica.

7.2 Quando os dados de escoamento forem suficientes, as estatísticas diárias de classificação do caudal médio das séries longas ou o caudal médio diário no ano típico de caudal alto, ano de caudal mediano e ano de caudal baixo devem ser utilizados com os seguintes métodos:

- a) Para estatísticas de classificação hierárquica, os dados de escoamento devem ser divididos em vários níveis de escoamento dentro de uma ordem decrescente, a frequência de ocorrência de cada nível de escoamento deve ser contabilizada e a frequência de cada nível de escoamento deve ser calculada.
- b) Para estatísticas não hierárquicas de classificação, os dados de escoamento dentro de uma ordem decrescente devem ter um intervalo, e a frequência de cada escoamento nos dados de escoamento deve ser calculada.

7.3 A fiabilidade do caudal deve ser calculada com a Fórmula de expectativa matemática (1) da frequência empírica.

7.4 Quando os dados de escoamento medidos são insuficientes, a curva de duração média mensal do caudal pode ser deduzida primeiro, e depois convertida para a curva de duração média diária do caudal através da análise comparativa das curvas de duração média diária e mensal do caudal da estação de aferição do escoamento ou da síntese regional. A análise comparativa deve ser realizada de acordo com os seguintes requisitos:

- a) Quando existe uma estação de aferição de escoamento superficial aplicável, a curva de duração média diária do caudal da estação de aferição pode ser ampliada e transposta de acordo com a proporção da área de captação e a proporção da precipitação média anual.
- b) Quando não houver uma estação de aferição de escoamento aplicável, mais estações de aferição de escoamento dentro de um enquadramento maior devem ser seleccionadas para realizar análises e cálculos regionais abrangentes. A curva de duração do caudal regional pode ser representada de uma forma ou módulo sem dimensão. As curvas sem dimensão ou módulo de duração média diária do caudal nas estações de aferição devem ser traçadas no mesmo diagrama de grelha, e a sua curva média deve ser estimada visualmente e traçada manualmente como a curva de duração média diária do caudal regional.
- c) Quando a área de drenagem é relativamente pequena, e há apenas uma estação de aferição de escoamento, a curva de duração média diária sem dimensão ou módulo desta estação de aferição pode ser usada directamente como a curva de duração média diária regional desta bacia.

8 Análise de água baixa

8.1 De acordo com a disponibilidade de dados e os requisitos de engenharia, cauda mediano diário mínimo, o caudal mediano no mês de menor caudal de água, o caudal baixo garantido, o impacto das actividades humanas em águas baixas, bem como os resultados da avaliação do escoamento de águas baixas, devem ser fornecidos para a análise de águas baixas.

8.2 A análise e o cálculo do escoamento de águas baixas devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) Quando os dados de escoamento de água baixa forem suficientes, o método de análise e cálculo da frequência de escoamento deve ser usado de acordo com as características do escoamento de água baixa.
- b) Quando o valor zero surge na série de águas baixas, pode ser usado o método de cálculo de frequência contendo o termo de valor zero.
- c) Quando os dados de escoamento de água baixos são insuficientes, a investigação especial de caudal baixo pode ser realizada. A investigação especial de baixo caudal deve cumprir os seguintes requisitos:
 - 1) A investigação especial de baixo caudal deve ser realizada na estação seca do ano.
 - 2) A investigação especial de caudal baixo deve incluir: o baixo nível e caudal do canal do rio; os anos secos históricos, tempo de ocorrência, nível, caudal e duração, ou o ano, tempo de ocorrência e duração da obturação do rio; o impacto das actividades humanas no escoamento de águas baixas.

8.3 O caudal baixo medido e investigado deve ser determinado por análise comparativa de acordo com a precipitação anual e baixa e as correspondentes frequências anuais e baixas de precipitação no mesmo ano da estação de precipitação representativa ou da estação de precipitação de referência.

9 Cheia

9.1 De acordo com a disponibilidade de dados e os requisitos do projecto de engenharia, todos os seguintes resultados ou parte dos resultados de inundação de projecto devem ser fornecidos:

- a) caudal máximo anual de pico em várias frequências de projecto;
- b) caudal máximo de pico por fases em várias frequências de projecto;
- c) Cheias durante o período anual e por fases com frequência de projecto atribuída;

d) Hidrografia anual e por fases de projecto de cheias com frequência de projecto atribuída.

9.2 Quando os dados de cheias medidas forem suficientes, a análise e o cálculo da frequência devem ser efectuados para deduzir a dobra de projecto com base nos dados de cheias medidas.

9.3 O pico de caudal anual (por fases) e a série de volumes de cheias de diferentes períodos no cálculo da frequência devem ser compostos pelos valores máximos de cada ano (fase).

9.4 Na série de cheias consecutivas com termo n , a frequência empírica P_m do termo m ordenado por ordem decrescente deve ser calculada com a Fórmula de expectativa matemática (1).

9.5 Enquanto uma cheia catastrófica ocorre em N anos durante o período registado e l cheias ocorrem em n termos de séries consecutivas, a frequência empírica das cheias em vários termos nas séries de cheias não consecutivas pode ser calculada com a Fórmula Matemática (6) e (7):

a) A frequência empírica do termo M ordenado por ordem decrescente, P_M , em cheias catastróficas, é calculada com a Fórmula (6):

$$P_M = \frac{M}{N + 1} \dots\dots\dots (6)$$

onde

N é o período de investigação da cheia histórica;

M é a ordem dos valores extraordinários, $M = 1, 2, 3, \dots, a$;

P_M é a frequência empírica do valor extraordinário com termo M .

b) Em séries de cheias consecutivas $n - l$, a frequência empírica no m ordenada por ordem decrescente, P_m , é calculada com a Fórmula (7):

$$P_m = \frac{m}{n + 1} \dots\dots\dots (7)$$

onde

l é o número de valores extraordinários recolhidos como amostras da série consecutiva observada com termo n ;

n é o número total de termos da série observada;

m é a ordem na série observada após o valor extraordinário l , $m = l + 1, \dots, n$;

P_m é a frequência empírica do termo m .

9.6 A curva de frequência emprega normalmente a curva de Pearson III, enquanto os outros tipos de linha adaptáveis às condições locais também podem ser seleccionados de acordo com as condições geológicas, meteorológicas e hidrológicas do local do projecto. Os parâmetros estatísticos da curva de Pearson III são expressos pelo valor médio \bar{X} , coeficiente de variação C_v coeficiente com assimetria C_s . Ver Fórmula (8), (9) e (10):

- a) Em relação às séries consecutivas com termo n, o valor médio \bar{X} é calculado com a Fórmula (2), e o coeficiente de variação C_v é calculado com a Fórmula (3):
- b) Em relação às séries não consecutivas, o valor médio \bar{X} , o coeficiente de variação C_v e o coeficiente de assimetria C_s são calculados com as Fórmulas (8), (9) e (10):

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^a X_j + \frac{N-a}{n-l} \sum_{i=l+1}^n X_i \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$C_v = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{j=1}^a (X_j - \bar{X})^2 + \frac{N-a}{n-l} \sum_{i=l+1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right)} \dots\dots\dots (9)$$

$$C_s = \alpha C_v \dots\dots\dots (10)$$

onde

X_j é a variável de valor extraordinário, $j = 1, 2, 3, \dots, a$;

X_i é a variável da série medida, $i = l + 1, \dots, n$;

α é o coeficiente de proporção múltipla, determinado de acordo com as características hidrológicas da bacia local.

9.7 Quando se determina a curva de frequência usando os pontos de frequência empíricos, o parâmetro estatístico deve ser estimado preliminarmente pela fórmula em 9.6. e depois ajustado e determinado pelo método de ajustamento da curva. Quando o método de ajustamento de curvas é ajustado, os dados relativamente fiáveis de grandes cheias deve ser considerado mais com base na tendência do grupo de pontos de ajustamento.

9.8 Quando os dados de cheias medidas estiverem disponíveis, o diagrama de cheias de projecto deve ser deduzido através da amplificação do diagrama de cheias típico, e as grandes cheias que possam reflectir as características de cheias e sejam desfavoráveis ao controlo de cheias do projecto devem ser seleccionadas como cheias típicas.

9.9 A análise e o cálculo da tempestade de projecto devem satisfazer o seguinte requisito:

- a) Quando dados de tempestades medidas em séries longas estão disponíveis, a tempestade de projecto deve ser determinada com o método de cálculo de frequência.

- b) Quando os dados da tempestade são insuficientes, o último mapa de contorno do parâmetro de tempestade de projecto da região deve ser verificado.
- c) Quando a tempestade extraordinária ocorre recentemente na região ou área próxima, os resultados do cálculo devem ser verificados.

9.10 Quando a cheia de concepção é deduzida da tempestade de concepção, os resultados da síntese regional das cartas de cheias pluviais devem ser usados para o projecto do padrão de precipitação, do volume de escoamento e concentração de escoamento superficial e do hidrograma de concepção da inundação. É necessário efectuar uma selecção abrangente com base na análise e síntese de acordo com os dados das cheias pluviais medidos da estação de aferição, ver Apêndice-A para obter o método específico. Em alternativa, pode ser aplicada a fórmula empírica do pico de caudal de cheias nesta região.

9.11 De acordo com a área de captação do local e os resultados da análise abrangente dos dados medidos da estação de aferição, o período de pico de chuvas fortes de curta duração controlado pela mesma frequência no padrão de chuvas de concepção deve ser razoavelmente determinado.

9.12 Quando os dados de cheias pluviais medidas são insuficientes ou quando não for possível determinar os parâmetros de cheias pluviais da bacia de projecto, a curva de relação da "área de captação (M) - intervalo de recorrência (F) modular do caudal de pico da cheia grande medida e investigada " nas estações de aferição na região ou nas áreas próximas pode ser determinada, e a cheia de projecto pode ser estimada com o método sintético regional.

9.13 A investigação e revisão das cheias históricas deve ser alvo de grande atenção.

- a) Resultados fiáveis ou relativamente fiáveis de grandes ou relativamente grandes cheias históricas devem ser aplicados na análise e cálculo de frequência, ou para verificar resultados de cheias de projecto determinados por resultados de síntese regional, ou para auxiliar na derivação da curva de aferição de jusante.
- b) Quando os dados são significativamente escassos, a cheia de projecto pode ser estimada de acordo com os resultados da do histórico de cheias.
- c) Quando os resultados das cheias investigadas estão disponíveis, os dados relevantes podem ser directamente citados, e o levantamento das cheias também pode ser realizado no troço do rio e na bacia hidrográfica do projecto. No troço do rio próximo a montante/jusante do local do projecto, devem ser verificadas duas ou mais marcas de cheia, com dois ou mais cortes transversais de cálculo fornecidos, e o caudal de pico de cheia é estimado recorrendo à média aritmética de dois cortes transversais ou pelo método de gradiente de dois cortes transversais. Adicionalmente, a elevação da cheia deve ser proposta com base no período de recorrência apropriado para definir a força maior causada pela cheia durante o período de construção.

9.14 A inundaç o de projecto das centrais de energia hidroel ctricas em cascata deve ser calculada de acordo com a disposi o dos projectos em cascata, os modos de descarga ou desvio da estac o e as  reas de capta o intervenientes entre duas estac es.

9.15 Ao calcular a inunda o de projecto por fases de constru o,   necess rio considerar os requisitos de projecto das fases de engenharia de constru o, e as regras de varia o e caracter sticas das causas de inunda o devem ser compiladas basicamente no per odo do in cio ao fim.

10 Curva de aferi o de jusante

10.1 Para o c culo hidrol gico das estac es de PCH, a curva de aferi o de jusante da sec o de entrada a montante e da sec o de  gua a jusante deve ser elaborada. A influ ncia do n vel de  gua a jusante deve ser considerada no c culo da curva de aferi o de jusante da sec o.

10.2 O sistema de eleva o do n vel de  gua da curva de aferi o de jusante deve ser consistente com o sistema de eleva o adoptado no projecto da central de energia hidroel ctrica.

10.3 Quando existe uma estac o de aferi o perto das  reas a montante/jusante do local do projecto, a aferi o tempor ria pode ser estabelecida na sec o transversal de projecto para observar o n vel de  gua; as regras de varia o da curva da superf cie da  gua ou da inclina o da superf cie da  gua de cada n vel de  gua representativo podem ser analisadas atrav s da correla o do n vel da  gua ou da investiga o e medi o. Ap s a correc o do n vel de  gua, ser  obtida a curva de aferi o de jusante na sec o transversal de projecto.

10.4 A alta extens o do n vel de  gua da curva de aferi o de jusante pode ser calculada pelo m todo de talude e determinada pela an lise abrangente da investiga o das cheias.

10.5 Quando n o existe estac o de aferi o no tro o do rio da “she” do projecto, a curva de aferi o de jusante deve ser determinada com a f rmula do m todo de talude de sec o  nica de acordo com o diagrama de perfil do tro o do rio e o perfil de sec o transversal projectado, e com refer ncia ao talude m dio do leito do canal/rio principal, bem como o talude da superf cie da  gua e o seu caudal estimado durante o levantamento de cheias e estac es secas.

10.6 Quando a curva de aferi o de jusante for determinada com o m todo de talude de uma sec o, o c culo pode ser realizado com as F rmulas (11) e (12):

$$Q = AC (Ri)^{1/2} \dots\dots\dots (11)$$

$$C = \frac{1}{n} (R)^{1/6} \dots\dots\dots (12)$$

onde

Q é o caudal, em m^3/s ;

A é a área da secção transversal, em m^2 ;

R é o raio hidráulico, em metros;

C é o coeficiente Chezy

i é o talude da superfície da água;

n é o coeficiente de rugosidade de Manning..

10.7 Na fase de projecto, a curva de aferição de jusante deve ser verificada medindo o caudal em níveis de água baixos, médios e altos na secção de projecto.

10.8 Para a curva de aferição de jusante no local da estação influenciada pela água de retorno, lavagem e assoreamento, flutuação da cheia, bem como o crescimento das algas, deve ser verificada por observação, análise ou medição real; quando o grau de dispersão do grupo de pontos de correlação não for grande, o valor médio pode ser aplicado.

11 Sedimentos, evaporação, regime de gelo e outros

11.1 No que respeita à localização do projecto no rio que carrega sedimentos significativos ou que carrega mais sedimentos durante a época das cheias, todos os seguintes resultados de cálculo de sedimentos ou parte dos mesmos devem ser fornecidos de acordo com a disponibilidade de dados e os requisitos do projecto de engenharia:

- a) Concentração média plurianual de sedimentos em suspensão e escoamento superficial de sedimentos (razão);
- b) Concentração média mensal de sedimentos em suspensão da secção transversal máxima anual e do mês de ocorrência;
- c) Gradação média plurianual de grãos sedimentares em suspensão ou diâmetro médio dos grãos e o diâmetro máximo dos grãos;
- d) Resultado do sedimento da carga do leito na época das cheias. Se as condições permitirem, as curvas de aferição de jusante (descarga contra concentração de sedimentos) podem ser desenvolvidas para análise.

11.2 O sedimento em suspensão pode ser calculado com os seguintes métodos:

- a) Quando existe uma estação de aferição de sedimentos na bacia da bacia, o módulo de produção de sedimentos da estação de aferição deve ser utilizado.
- b) Quando não existe estação de aferição de sedimentos na bacia do local, o módulo de rendimento de sedimentos pode ser utilizado directamente, se as suas condições climáticas e condições de superfície subjacentes forem semelhantes, caso contrário pode ser utilizado após ser corrigido.
- c) Quando os dados acima não estão disponíveis, podem ser utilizados os diagramas de síntese regionais existentes do sedimento; o sedimento pode ser medido temporariamente, se necessário.

11.3 O sedimento de carga do leito pode ser calculado com a relação de carga suspensa e carga do leito.

11.4 Para uma central de energia hidroeléctrica de reservatório, é aconselhável calcular a capacidade média anual de evaporação superficial da água e a sua distribuição anual de acordo com os dados da estação de medição da evaporação na bacia ou os diagramas regionais de síntese da capacidade de evaporação em áreas semelhantes da bacia ou da hidrometeorologia.

11.5 Para a análise e computação hidrológica em regiões frias, o seguinte regime de gelo na estação deve ser fornecido de acordo com os dados estatísticos das características hidrológicas e meteorológicas locais:

- a) Condições do rio durante o congelamento e descongelamento; ocorrência de gelo em terra e gelo em movimento e as características de congelamento de todo o rio;
- b) As primeiras, últimas e plurianuais médias de gelo e datas de derretimento;
- c) Espessura do gelo, entupimento do gelo, parede de gelo e gelo flutuante e seus potenciais perigos durante o período de congelamento.

11.6 Para o cálculo hidrológico na região cárstica, devem ser fornecidos os seguintes dados químicos da água no local da estação:

- a) Conteúdo de CO e HCO de iões sem de corrosão que causariam sérios danos à turbina, e suas respectivas sazonais;
- b) Valor de PH e respectivas variações sazonais.

12 Verificação da racionalidade dos resultados

12.1 A verificação da racionalidade dos resultados deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Devem ser utilizados os dados aferidos e os resultados das análises e dos cálculos de todas as estações de aferição e estações de projecto.

- b) A análise comparativa dos resultados de múltiplos métodos numa única estação e o estudo da distribuição superficial dos resultados de múltiplas estações com os mesmos métodos devem ser realizados.
- c) Os resultados finais devem seguir o princípio "baseado num método, em comparação com vários métodos, analisando de forma abrangente e seleccionando racionalmente".

12.2 A verificação da racionalidade dos resultados deve incluir os seguintes parâmetros ou itens principais:

- a) Valor médio de escoamento superficial anual;
- b) caudal de pico de cheia e volume de cheia do projecto;
- c) Valor n da rugosidade do leito na fórmula do pico de caudal de cheia investigado e no método de talude;
- d) Forma e características da curva de caudal-duração e da curva de aferição de jusante;
- e) Características das alterações do padrão de fluxo.

12.3 A verificação da racionalidade do escoamento anual do projecto e dos resultados do pico de caudal de cheias do projecto deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Os resultados calculados devem ser consistentes com os resultados do mapa de contornos de síntese regional, da curva de correlação ou da fórmula empírica.
- b) A distribuição na bacia, região e ao longo do segmento a montante/jusante e do segmento principal e afluente deve ser basicamente racional. O resultado deve ser basicamente adaptável à variação espacial da precipitação.
- c) Se a diferença dos resultados calculados for grande, ou não razoável, ou se a diferença com a variação espacial da precipitação for grande, as causas devem ser determinadas no tempo e, se necessário, novamente analisadas/calculadas.

12.4 A fiabilidade e racionalidade dos resultados da estimativa dos picos de cheias deve ser investigada no cálculo das cheias do projecto, e os seguintes conteúdos devem ser comparados:

- a) A distribuição espacial das cheias e chuvas fortes em cada local no mesmo ano;
- b) A sequência de inundações do mesmo local em anos diferentes;
- c) A magnitude da inundação medida e conhecida investigada na mesma bacia ou região para a investigação da inundação num certo intervalo de recorrência.

12.5 O limite de magnitude razoável do intervalo de recorrência do caudal de pico de cheia investigado pode ser examinado com a relação do "intervalo de recorrência (N) do caudal de pico de cheia medido e investigado, intervalo modular (M)- área de captação (F)- área de reincidência (N)" através de síntese regional; quando for constatado que o valor estimado do caudal de pico de cheia é muito alto ou muito baixo, o valor n da rugosidade do leito na fórmula do método de declive deve ser primeiro verificado se é razoável, e os dados medidos da estação de aferição devem ser utilizadas para verificação e comparação.

12.6 A verificação da racionalidade da curva de duração do caudal e da curva de aferição de jusante deve incluir o seguinte conteúdo:

- a) A relação entre as curvas de duração do fluxo, bem como a influência da amplitude de variação do caudal e o caudal de base sobre a forma da curva;
- b) A relação entre a característica da secção transversal e a curva de aferição de jusante.

Apêndice A
(Informativo)

Cálculo do rendimento da tempestade e do escoamento e concentração do escoamento

A.1 Cálculo da tempestade no projecto

A.1.1 Cálculo da tempestade na superfície de projecto

- a) Se a rede de estações de precipitação é relativamente densa, e as séries de observação são relativamente longas, é sugerido que a análise de frequência se realize de acordo com a série anual máxima de chuvas areolares da bacia de projecto para verificar o projecto de chuvas areolares da bacia.
- b) Se a área de drenagem é relativamente pequena, e é difícil calcular directamente os dados da análise de frequência da tempestade areolar, a precipitação areolar projectada pode ser calculada indirectamente pela precipitação do ponto de projecto e a relação entre a precipitação do ponto e a precipitação areolar da duração correspondente. O H_A da precipitação areolar de projecto pode ser elaborado a partir do ponto de precipitação de projeto H_o e do coeficiente de conversão ponto-área α_A :

$$H_A = \alpha_A H_o \dots\dots\dots (A.1)$$

- c) A relação ponto-área deve ser uma relação abrangente (isto é, a relação entre o ponto fixo e a área fixa) entre a precipitação num ponto fixo e a precipitação numa área de bacia fixa obtida através da análise dos dados de precipitação regional. O coeficiente de conversão ponto-área α_A deve envolver as diferentes diferenças de duração e frequência (ou intensidade da precipitação). A precipitação do ponto de projecto correspondente à relação entre o ponto fixo e a área fixa deve ser o valor de projecto num determinado ponto fixo da bacia. Na bacia com o parâmetro estatístico relativamente consistente da precipitação pontual, pode ser utilizada a precipitação pontual medida pela estação de aferição no centro da bacia; se a amplitude de variação do parâmetro estatístico da precipitação pontual medida pelas estações de aferição na bacia for alta, a precipitação pontual de projeto pode aplicar o valor da estação única aproximando-se da situação média na bacia.
- d) Se os dados para analisar a relação abrangente entre o ponto fixo e a área fixa na bacia de projecto não estiverem disponíveis, a precipitação anual de projecto pode ser determinada de acordo com a relação entre os pontos móveis e a área móvel, mas devem ser seleccionadas várias bacias ou regiões com uma área de drenagem de projecto semelhante perto da bacia de projecto para estabelecer a relação entre o ponto fixo e a área fixa dentro da área «limbed» e a duração para verificar a representatividade da relação entre o ponto móvel e a área móvel na região. Se a relação entre o ponto móvel e a área móvel for significativamente diferente da relação entre o ponto fixo e a área fixa, esta deve ser corrigida adequadamente.

- e) Se for difícil analisar a relação entre o ponto móvel e a área móvel, o diagrama de síntese da dedução do ponto-área pode ser verificado directamente.
- f) Quando a área de drenagem é menor que 100 km², a relação ponto-área pode não ser considerada, enquanto as chuvas areolares podem ser directamente substituídas pela precipitação pontual.

A.1.2 As chuvas torrenciais de projecto nas várias durações podem ser calculadas de acordo com as seguintes disposições

- a) No que diz respeito às bacias de um projecto de grande escala, com o cálculo de muitas durações e dados de pluviosidade suficientes, a análise de frequência pode ser realizada com a compilação respectiva de estatísticas para o ponto máximo de pluviosidade de cada ano para o projecto obtidas de várias estações pluviométricas nesta bacia e áreas próximas.
- b) Quando a área de drenagem é relativamente pequena, o ponto de projecto de chuvas em várias durações padrão pode ser calculado pelos mapas de contorno aprovados da mesma é ponto de tempestade parâmetro estatístico para várias durações.
- c) Para calcular a precipitação de desenho de qualquer duração, as chuvas de desenho em *n* durações padrão podem ser calculadas primeiro, e depois as curvas de duração da precipitação podem ser desenhadas no papel logarítmico duplo, a partir do qual a precipitação de desenho ao longo da duração requerida pode ser interpolada. Quando a relação de duração das chuvas por etapas está próxima de uma linha recta, a fórmula do expoente de declínio da tempestade pode ser adoptada e a correspondente pluviosidade *H_i* sobre a duração requerida *t_i* pode ser interpolada de acordo com as chuvas de projecto *H_a* e *H_b* sobre duas durações padrão adjacentes, assim como o expoente de declínio da tempestade *n_{ab}* para este intervalo e expressa de acordo com as fórmulas (A.2), (A.3) e (A.4):

$$H_i = H_a (t_i / t_a)^{1 - n_{ab}} \dots\dots\dots (A.2)$$

$$H_i = H_b (t_i / t_b)^{1 - n_{ab}} \dots\dots\dots (A.3)$$

$$n_{ab} = 1 - \lg(H_a / H_b) / \lg(t_a / t_b) \dots\dots\dots (A.4)$$

onde

H_i é a chuva de projecto dentro da duração *t_i*, em mm;

H_a é a chuva de design dentro da duração *t_a*, em mm;

H_b é a chuva de projecto dentro da duração *t_b*, em mm; *t_i* é a duração de projeto, em h;

t_i é a duração de projecto, em h;

t_a é a duração padrão a, em h;

t_b é a duração padrão b, em h;

n_{ab} é o expoente do declínio da tempestade.

A.1.3 Padrão de precipitação de projecto

- a) O padrão de pluviosidade sintetizado ou típico pode ser usado como padrão de distribuição da pluviosidade no intervalo de tempo da tempestade de projecto; o processo de projecto da tempestade pode ser controlado, ampliado e determinado na mesma frequência com a pluviosidade de projecto ao longo de várias durações. O padrão de pluviosidade abrangente deve ser seleccionado com base na análise das características do padrão de pluviosidade de várias tempestades fortes. A análise das características do padrão pluviométrico inclui o número de picos pluviométricos, a duração do pico pluviométrico, o intervalo entre dois picos pluviométricos e a sequência temporal de ocorrência dos principais picos pluviométricos. Ao sintetizar, a influência da intensidade da chuva e das condições meteorológicas também deve ser considerada.
- b) O diagrama de distribuição areolar da tempestade de projecto pode ser determinado de acordo com o diagrama de distribuição local sintetizado ou típico. O padrão de pluviosidade sintetizado deve basear-se na análise das características do padrão de pluviosidade areolar.

A.2 Cálculo do volume de escoamento superficial e concentração da cheia por tempestade

A.2.1 O escoamento pluviométrico deve ser calculado com o seguinte método.

- a) Método de correlação de chuva (incluindo curva de correlação) veja a Fórmula (A.5);

$$R = f(P, P_a, t_r) \dots\dots\dots (A.5)$$

onde

R é a profundidade de escoamento, em mm;

P é a pluviosidade, em mm;

P_a é a precipitação ou o teor de água da zona insaturada da bacia antes da chuva, em mm;

t_r é a duração da precipitação, em h.

b) Método de redução de perdas.

1) Perda inicial e o método de perda posterior, ver a fórmula (A.6):

$$\bar{f}_t = \frac{l_f - l_0 - P_{t-t_0-t_r}}{t_r} \dots\dots\dots (A.6)$$

onde

\bar{f}_t é a taxa de perda média na fase posterior, em mm/h;

l_f é a perda total da bacia, em mm;

l_0 é a perda na fase inicial, em mm;

$P_{t-t_0-t_r}$ é a capacidade pluviométrica sem o volume de escoamento durante o período $(t - t_0 - t_r)$, em mm;

t_0 é a duração correspondente a l_0 , em h;

t_r é a duração do volume de escoamento, em h.

2) Método de perda inicial: Todas as perdas ocorrem na fase inicial da chuva, e todas as chuvas transformam-se em escoamento depois da perda total ser atingida.

3) Método da relação de perdas médias, ver a Fórmula (A.7):

$$\bar{f} = \frac{P - R - P_{t-t_R}}{t_R} \dots\dots\dots (A.7)$$

onde

\bar{f} é a taxa de perda média, em mm/h;

P é a pluviosidade, em mm;

R é a profundidade de escoamento, em mm;

P_{t-t_R} é a pluviosidade no período de volume de não escoamento, em mm;

t_R é a duração do volume do escoamento, em h.

c) Processo de escoamento de superfície (escoamento líquido). O processo de escoamento superficial é normalmente distinguido pela dedução da distribuição do intervalo de tempo do escoamento superficial do processo do volume do escoamento. A distribuição do intervalo de tempo do escoamento de subsuperfície, R_g , pode ser feita por distribuição igual, ou seja, a Fórmula (A.8):

$$\bar{f}_c = \frac{R_g - R_{t_R - t_c}}{t_c} \dots\dots\dots (A.8)$$

onde

\bar{f}_c é a taxa média de infiltração estável da bacia, em mm/h;

R_g é o caudal de escoamento superficial, em mm;

$R_{t_R - t_c}$ é o rendimento do escoamento superficial sem gerar escoamento superficial durante o período $t_R - t_c$, em mm;

t_c é a duração líquida das chuvas, em h.

A.2.2 A concentração de cheias pode ser calculada com as seguintes provisões.

a) Unidade empírica hidrográfica. Os dados relativos ao pico de cheia separado com a precipitação relativamente uniforme, a duração relativamente curta da precipitação líquida e a intensidade relativamente alta da precipitação devem ser seleccionados, e a unidade hidrográfica pode ser determinada de acordo com o hidrograma de escoamento superficial correspondente ao processo de precipitação líquida. O período da unidade hidrográfica é normalmente cerca de 1/3 da duração crescente da unidade hidrográfica ou o tempo de atraso da duração do pico de cheia. A unidade hidrográfica obtida através da análise geralmente varia juntamente com as diferentes distribuições espaciais e temporais da tempestade medida, por isso, no cálculo, deve ser seleccionada a unidade hidrográfica que corresponda ao padrão de pluviosidade de projecto.

b) Hidrografia instantânea da unidade

1) Fórmula fundamental (A.9):

$$U(0, t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} (t/k)^{n-1} e^{-t/k} \dots\dots\dots (A.9)$$

onde

$U(0, t)$ é a unidade instantânea hidrográfica, em m³/s;

Γ é a função gama;

n, k é o parâmetro, geralmente calculado com o método dos momentos ou utilizado como valor inicial para o cálculo optimizado.

- 2) Correção não linear: Estabelecer a relação entre n , k ou m_1 (nk) ou a intensidade da precipitação; a duração da intensidade da precipitação pode ser determinada por um dos seguintes factores, tais como o tempo de concentração do caudal na bacia, o período de escoamento superficial, a duração crescente do pico de cheia e a magnitude da área de drenagem.

$$m_1 = ai^b \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

onde

m_1 é o primeiro momento sobre a origem do hidrográfico instantâneo da unidade;

i é a intensidade da precipitação (ou precipitação líquida), em mm/h;

a, b são as constantes.

A aplicação da Fórmula (A10) é «limbed». A amplitude da extensão não linear da chuva crítica $i_{\text{Temporary}}$ na Fórmula de controlo (A10) deve ser determinada.

c) Fórmula racional

- 1) Fórmula fundamental (Fórmula (A.11) e (A.12)):

$$Q_m = 0.278 \frac{h}{\tau} F \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3} Q_m^{1/4}} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

onde

Q_m é o pico de descarga, em m³/s;

h é a precipitação máxima líquida no período τ durante a confluência total, ou a precipitação líquida do pico de cheia único durante a confluência parcial, em mm;

F é a área de drenagem, em km²;

τ é a duração da confluência da bacia, em h;

m é o parâmetro de confluência;

L é a distância máxima ao longo do rio principal, em km, desde a secção de saída até à bacia hidrográfica;

J é o gradiente médio ao longo do caudal L (em casas decimais).

2) Se não houver dados disponíveis, a Tabela A.2.2 pode ser usada como referência para determinar o valor de m correspondente a, $d-L/J^{1/3}$.

Tabela A.1 Tabela de classificação das condições da superfície subjacente da pequena bacia

Categoria	Breve descrição das características das cheias pluviométricas, características do rio e condições do solo e da vegetação	Valor do parâmetro m dos parâmetros de confluência de cheias na fórmula racional			
		9 = 1~10	9 = 10~30	9 = 30~90	9 = 90~400
I	Região semiárida, com vegetação em mau estado, região montanhosa de rocha terrestre dominada por taludes áridos, campos em socacos ou algumas florestas escassas, cultura seca, um canal de rio largo e raso, um riacho intermitente e subida e descida abrupta das cheias.	1.00~1.30	1.30~1.60	1.60-1.80	1.80~2.20
n	Estado geral da vegetação, região montanhosa de rocha terrestre dominada por floresta escassa, floresta conífera e floresta jovem ou muitas terras cultivadas estão no robalo.	0.60~0.70	0.70~0.80	0.80~0.90	0.90~1.30
III	Regiões montanhosas húmidas, boas condições de vegetação e região montanhosa rochosa dominada por floresta de arbustos e bambu, ou com uma taxa de cobertura florestal de 40% a 50%, ou campos de arroz e pedregulhos estão espalhados na bacia; ambas as margens estão cobertas de ervas daninhas, com grandes cheias de longa duração e pequenas e médias cheias de curta e média extensão.	0.30~0.40	0.40~0.50	0.50~0.60	0.60~0.90
IV	Região montanhosa úmida com chuvas abundantes, excelentes condições de vegetação, com floresta com uma taxa de cobertura de 70%, são em sua maioria regiões dominadas por floresta de crescimento antigo com espessa camada de lixo; intercaudal relativamente rico; leito de rio montanhoso, canal do rio contém grandes pedras de paralelepípedos e cascalho; com quedas de nível; a maioria das cheias sobem e descem abruptamente.	0.20~0.30	0.30~0.35	0.35~0.40	0.40~0.80