

Os Rios e sua Importância para a Navegação e a Energia Hidrelétrica

HENRY MACKSSUD

Professor de Hidrologia do CEPERN — Programa de Cooperação Técnica da Organização dos Estados Americanos.

Embora os rios tenham sempre exercido papel de primeira grandeza na vida dos povos, é indubitável que eles nunca atingiram a preponderância observada nos dias de hoje. No passado, a simples disponibilidade de água era adequada para satisfazer tôdas as necessidades. De modo geral nesses dias — e também nos de hoje em algumas áreas — a tendência era a de simplesmente utilizar a água para suprir as demandas existentes, sem levar em conta as possibilidades de máximo desenvolvimento do uso desses recursos naturais.

Com o progressivo aumento das populações e a evolução da civilização moderna, porém, cresceram as demandas para os inúmeros fins industriais, agrícolas e domésticos. Na sociedade atual, a água tem função de importância sem precedentes. Nela, através da produção de eletricidade, encontramos a base energética de nosso crescimento econômico e da melhoria do nosso nível de vida; com a água, por meio da irrigação, valorizamos terras sem uso, porém potencialmente produtivas, e terras com baixo rendimento por deficiência de água aumentando a produção de alimentos e fibras para o benefício do homem; no âmbito industrial, a água é essencial para as mais variadas finalidades, como por exemplo, para servir de ingrediente em indústrias alimentícias, para a fabricação de papel, a refinação do petróleo, a estampagem de tecidos, o resfriamento nas usinas termo e átomo-elétricas, a remoção dos resíduos industriais, etc.; nas cidades e nas zonas rurais, a água exerce função vital, não só no suprimento das necessidades biológicas, mas ainda, na manutenção da higiene, a remoção de resíduos, o combate aos incêndios, o condicionamento de ar em ambientes fechados, e inúmeras outras atividades domésticas e municipais. A água proporciona também possibilidades de transporte. E com o progresso e expansão da economia comercial e industrial, novas e crescentes demandas serão feitas para maior e melhor utilização das vias fluviais e lacustres. As águas nos rios, fontes e lagos naturais e artificiais, constituem o *habitat* de peixes, aves e outros animais aquáticos; e são, ainda, excelentes fontes de recreação e turismo, cada vez mais procuradas e necessárias.

Paralelamente com o crescimento das demandas sobre os recursos de água, observa-se um aumento no número de problemas que requerem o controle de certas características dos mesmos. A progressivamente maior utilização da água como veículo de remoção dos resíduos das cidades e indústrias, por exemplo, tem tornado a qualidade de muitos cursos d'água inadequada para a maioria dos usos e para o sustento de qualquer vida aquática. Grande número e trabalhos de drenagem, para a recuperação de terras potencialmente ricas, tem sido exigido pela expansão de nossa economia agrícola. A crescente ocupação da terra, trazendo consigo a remoção indiscriminada de sua cobertura vegetal e utilização do solo sem bases racionais, além de arruinar o próprio solo, tem intensificado os problemas de sedimentação nos cursos d'água, vias e navegação e obras fluviais, e afetado, em maior ou menor intensidade, o regime normal de circulação da água. A crescente magnitude de danos causados pelas enchentes nos vales dos rios constitui realidade que se torna, cada vez, mais evidente.

A medida que as demandas aumentam e os problemas de controle dos recursos de água se tornam mais críticos, cresce a necessidade de se utilizar os mesmos ao máximo e reduzir a um mínimo os seus efeitos adversos. Isso, implica na utilização de métodos racionais de conservação e controle, dentro de planos

globais de desenvolvimento dos recursos de água, que definam os objetivos gerais a serem alcançados e as fases e meios necessários para a sua realização.

Para poder estabelecer esses planos e levá-los a cabo, porém, é necessária a demarcação de unidades apropriadas de planejamento. O bom senso indica, de imediato, que as bacias fluviais são as unidades ideais para o desenvolvimento da utilização dos recursos de água.

As bacias são entidades naturais hidrológicas com características funcionais de tal maneira bem definidas que, nelas, os recursos de água podem ser adequadamente inventariados, permitindo, portanto, o estabelecimento de um equilíbrio entre os usos e as disponibilidades.

As bacias fluviais muitas vezes incluem extensas regiões. Nas fases iniciais de utilização dos recursos de água dessas bacias — de seus rios, por exemplo — é comum, no Brasil, considerar como unidades independentes e separadas, para fins de utilização, os vários cursos d'água tributários, ou mesmo, apenas um elemento físico-hidrográfico desses tributários, como por exemplo, uma queda d'água.

À medida, porém, que as demandas devidas ao desenvolvimento econômico, se aproximam das máximas possibilidades de desenvolvimento dos tributários ou dos aproveitamentos individuais de parte dos recursos de uma área, a interdependência das várias sub-bacias e dos diversos empreendimentos vai-se tornando mais sentida, alertando os usuários da importância de considerar globalmente o problema dos rios, e da água de modo geral.

Dois conceitos surgiram em anos recentes, tendo em vista o desenvolvimento global dos recursos de água: o primeiro, é o conceito dos projetos para múltipla finalidade. Três Marias marca, talvez, no Brasil, o início de uma nova era conceitual com respeito ao melhor, mais amplo e múltiplo uso da água; o segundo, é o conceito da unidade das bacias fluviais. Este, reconhece a interrelação entre os vários elementos que compõem os recursos de água de uma dada bacia, estabelece a necessidade de considerar esses elementos como um todo, e presume que os projetos de múltiplo fim podem ser levados a cabo em harmonia com o desenvolvimento global da bacia.

AS BACIAS FLUVIAIS E O CICLO HIDROLÓGICO

Uma bacia fluvial é constituída pelo conjunto de terrenos drenados por um curso d'água principal e seus tributários, de tal modo que toda a água que atinge a área de drenagem, na forma de precipitação, e não é devolvida à atmosfera pelos processos depletivos de evaporação e transpiração, ou não se escapa subterraneamente às bacias vizinhas ou ao oceano, é eventualmente escoada, como deflúvio, através da seção de desembocadura do curso d'água principal da mesma.

As precipitações que caem sobre os terrenos das bacias constituem a fonte de renovação de seus recursos de água. No âmbito universal, os fenômenos de precipitação ocorrem a todo tempo. No entretanto, quando se consideram as várias bacias fluviais isoladamente, observa-se grande variabilidade na cronologia de ocorrência desses fenômenos. De outro lado, observa-se também, que as quantidades de precipitação variam bastante no tempo e de lugar para lugar, de maneira que certas bacias são menos favorecidas que outras, e nalgumas ocasiões ocorrem enormes concentrações de precipitação conduzindo a condições extremas de excessos de água.

Os recursos d'água de todas as bacias fluviais fazem parte de um gigantesco sistema circulatório conhecido como ciclo hidrológico. Embora esse ciclo não tenha princípio nem fim, costuma-se supor que ele tenha início na superfície dos oceanos.

Sofrendo contínua evaporação, os oceanos proporcionam vapor d'água à atmosfera. Grande parte desse vapor é condensado e, subsequentemente, devol-

vida ao oceano. Outra parte, porém, é levada dentro de grandes massas de ar, sendo eventualmente precipitada na forma de chuva, granizo ou neve, ou então, condensada em forma de orvalho ou geada, nas áreas terrestres. A umidade, na forma de orvalho ou geada, é evaporada diretamente, ou então, usada pela vegetação e depois devolvida à atmosfera.

A água de chuva que não é evaporada durante a queda, começa a fazer parte dos recursos da bacia receptora. Dessa água, uma parte é interceptada pela vegetação e outros obstáculos, sendo reevaporada; outra, cai diretamente nos leitos dos cursos d'água da bacia, enquanto que outra parte atinge a superfície dos terrenos.

À medida que alcança a superfície do solo, uma parte da chuva vai-se infiltrando e outra — em quantidade que depende da diferença entre a intensidade da chuva e a capacidade de infiltração no solo — permanece na superfície, sendo coletada em depressões pequenas e grandes, existentes nos terrenos da bacia — uma porção desta é subsequentemente evaporada e outra se infiltra.

Após o enchimento das depressões, a quantidade de chuva em excesso à infiltração acumula-se sobre os terrenos da bacia, iniciando-se então um escoamento difuso, no sentido da maior declividade. A extensão deste escoamento, em lençol, é em geral, relativamente pequena, e depende do tipo e condições de uso do solo, da cobertura vegetal e da declividade dos terrenos. É esse tipo de escoamento que produz a chamada erosão em lençol, também conhecida nalguns círculos como erosão laminar. A água que assim se escoou é logo reunida em suaves depressões e pequenos sulcos nos terrenos. Escoando-se nestes, a água encontra outros sulcos e depressões, e, através destes, atinge os álveos dos cursos d'água do sistema de drenagem da bacia.

Até aqui, o fenômeno é chamado escoamento superficial; ao chegar ao leito fluvial, a água que se escoou superficialmente passa a constituir deflúvio superficial da bacia contribuinte e o escoamento passa então a ser chamado escoamento fluvial. Através deste, a água poderá atingir o oceano. Durante o trânsito pelos cursos d'água, uma porção é evaporada e outra, que pode atingir a quase totalidade do deflúvio em certas bacias, em zonas de pouca precipitação, se infiltrará pelas paredes dos canais fluviais.

De toda a água que se infiltra, uma parte é retida por força de atração molecular, na chamada camada do solo da zona de aeração, para satisfazer a deficiência de umidade, em relação à capacidade de campo, produzida durante o período de estiagem pelos fenômenos depletivos da evaporação e transpiração; se a água infiltrada fôr suficiente, outra parte percolará para baixo, podendo produzir escoamentos laterais subsuperficiais nas proximidades da superfície, e acréscimos nos armazenamentos de água subterrânea. A água infiltrada que se escoou subsuperficialmente é logo devolvida à superfície. Na zona de saturação (zona de água subterrânea, onde os interstícios das rochas se encontram totalmente ocupados pela água) esta se move lentamente, por ação da gravidade, em direção a pontos e áreas de descarga natural ou artificial. Essa descarga pode ocorrer depois de poucos dias, meses ou mesmo períodos mais longos.

A descarga natural dos aquíferos pode dar-se por meio de fontes e pela filtração efluente ao longo dos leitos fluviais; ou pode se dar por evaporação e transpiração, nas áreas onde o lençol freático aflora e nas áreas onde esse lençol se encontra muito próximo da superfície, sujeitando-se a água subterrânea à ação evaporativa da atmosfera e transpirativa da vegetação; uma parte da água é descarregada subterraneamente no oceano, (nas bacias costeiras, evidente).

Embora muitas vezes o lençol se encontre a relativamente grandes profundidades, certos tipos de plantas — conhecidas como freatófitas — emitem suas raízes até a superfície freática, a fim de obter abastecimento seguro de água,

descarregando na atmosfera, dessa maneira, água subterrânea, que normalmente não seria descarregada. Sem dúvida, a maior parte da descarga total dos aquíferos é a que se dá nos cursos d'água perenes das zonas úmidas. O ciclo é completado com a devolução da água à atmosfera ou ao oceano.

Essa descrição sumária do ciclo hidrológico omite, por necessidade, inúmeros pormenores. No entanto, serve para ressaltar dois fatos importantes com relação aos recursos das bacias fluviais. O primeiro deles é a sua perene mobilidade, fato que sugere não só a renovabilidade dos recursos de água, como indica a necessidade de utilização ampla e contínua para obter os máximos benefícios mesmos. O segundo fato se refere à estreita ligação entre as várias fases do ciclo hidrológico, e mostra a necessidade de se considerar os recursos de água das bacias como um todo, constituído pelas várias formas passíveis de uso — precipitação, água no solo, águas superficiais, águas subterrâneas — em que a água se apresenta.

AS ENCHENTES

Embora a água esteja circulando perenemente através do ciclo hidrológico, sua disponibilidade imediata é extremamente variável. A superabundância e a escassez de chuvas podem representar os limites dessa variação, numa determinada área. A superabundância traz consigo as enchentes e a escassez conduz à deficiência de água e à seca.

Centenas de enchentes, grandes e pequenas, ocorrem anualmente em todo o mundo, inclusive no Brasil. De tempos em tempos, são formadas superenchentes de magnitudes sem precedentes. São essas superenchentes as que mais nos preocupam pois a experiência indica que na maior parte dos rios, principalmente os da América, as enchentes de que se têm notícia não constituem o máximo que se pode esperar com respeito a esses fenômenos.

As enchentes são parte, por assim dizer, dos fenômenos da paisagem, da mesma forma que o são as montanhas, colinas, os vales, as chuvas e os próprios rios; são características naturais com as quais devemos viver e que requerem certos ajustes de nossa parte para que essa convivência não venha a ser desastrosa.

As enchentes hoje não são mais freqüentes ou intensas que as do passado. Os primeiros colonizadores de nosso país devem ter tido notícias ou contacto com as que então também ocorriam. As informações seguras e quantitativas que se dispõem sobre as enchentes no Brasil são de relativamente pouco tempo. Sobre esta questão, é interessante citar alguns dados que obtivemos, a respeito das enchentes em dois rios europeus, onde se têm séculos de experiência. As informações sobre as enchentes do rio Danúbio, por exemplo, datam do ano 1000. A máxima até hoje registrada nesse rio ocorreu no ano 1501 e a segunda máxima no ano de 1787. No rio Sena, na França, os dados sobre enchentes existem desde 1649, tendo sido registrada em 1658 a máxima enchente.

De outro lado, para o rio Uruguai, em Concórdia, na Argentina (salto no Uruguai), existem observações desde 1898, tendo sido observada em abril do ano em curso (1959) a maior enchente de que têm dados.

Ora, se as enchentes são um atributo natural dos rios e se hoje elas não são mais intensas ou freqüentes que o foram ontem, por então se observa cada vez maior montante de danos por elas provocados? Por que as enchentes constituem ameaça ao bem estar de muitas áreas? Por que o problema das enchentes no âmbito nacional tende a tornar-se cada vez mais sério? Por que há necessidade de obras de engenharia para o controle das mesmas?

As respostas podem ser encontradas nas discussões que seguem:

Antes da ocupação pelo homem, os deflúvios gerados pelas pesadas chuvas, escoavam-se em direção ao oceano em seus canais naturais e através de suas planícies aluviais. Hoje, em muitas localidades, os álveos acham-se diminuídos e estreitados por pilares, encontros e arcos de pontes, tubulações e condutos de

água e gás, efluentes de esgoto, aterros, detritos e muitas outras obstruções. Suas planícies aluviais são hoje ocupadas por cidades, atividades agrícolas, estradas de ferro e de rodagem, construções de toda espécie, etc. Tudo isso, logicamente, são evidências de desenvolvimento e prosperidade; no entanto, o risco de destruição pessoal e da propriedade, é o tributo cobrado pela invasão das propriedades do rio.

As enchentes são devidas à ocorrência simultânea de fenômenos meteorológicos e condições hidrológicas favoráveis à geração de deflúvio superficial em intensidades que excedem a capacidade normal de escoamento dos leitos fluviais. Essas condições numa dada bacia, incluem: chuvas de grande intensidade, esgotamento das capacidades naturais superficiais de armazenamento, e baixa capacidade de infiltração dos terrenos da bacia.

A primeira evidência física de uma enchente em desenvolvimento é a que se observa quando a água de chuva, rejeitada pelos terrenos, escoar superficialmente, dirigindo-se para as pequenas depressões e sulcos e eventualmente atingindo os primeiros canais tributários do sistema de drenagem.

Nestes tributários as águas de enchentes que vêm sendo coletadas, fluem das cabeceiras para baixo, transportando sedimentos e restos de vegetação, produzindo erosão no álveo, e engolfando, destruindo ou arruinando os bueiros, pontes e aterros que dificultam sua passagem, até desembocarem no principal coletor da rede fluvial.

No período de crescimento da enchente, o ritmo de afluência ao álveo de deflúvio superficial é maior que a descarga, de modo que o nível d'água fluvial tem que subir para acomodar a diferença.

É preciso dizer, que o volume normalmente disponível nos álveos do sistema fluvial é bastante grande, sendo maior quanto maior for a área de drenagem. Na maior parte dos dias o álveo encontra-se quase vazio. Em vários outros dias ele se apresenta cheio pela metade, e em três, quatro ou mais dias de cada ano escoamento se dá a secção plena: são as cheias normais dos períodos chuvosos de todos os anos.

Muitas tormentas, porém, produzem deflúvios com tanta intensidade que as capacidades dos álveos não são suficientes para escoá-los de modo que o rio tem que ocupar um leito maior, produzindo inundações e deposição de detritos e destroços, e muitas vezes, dependendo da magnitude da enchente e velocidade das águas, destruindo vidas e arrasando pontes, casas, plantações, fábricas, ferrovias e estradas.

O leito maior é a planície justafluvial constituída por aqueles terrenos relativamente planos, usualmente secos, formados de sedimentos aluviais transportados, depositados e mesmo reerosionados pelo próprio rio em enchentes passadas. Quando o volume de água não pode ser contido no álveo, a planície passa a fazer parte temporariamente do sistema de drenagem. O escoamento fora do álveo é, portanto, fenômeno natural, ligado, mesmo, à própria morfologia fluvial. A simples existência de uma planície aluvial constitui a melhor das evidências da possibilidade de ocorrência de enchentes.

Acontece, porém, que normalmente, o rio utiliza somente parte de seu leito de enchente. Quanto mais alto o nível d'água, menor a frequência com que ele se dá. Enchentes que cobrem um terço da várzea, por exemplo, podem ocorrer com um intervalo de recorrência de, digamos, 10 anos, dependendo muito das condições locais, mas, uma submersão total da planície aluvial teria um período de retorno de 100 anos ou mais. Isso conduz o homem a invadir a rica e vantajosa planície utilizando-a para suas atividades. Os danos causados pelas enchentes são, portanto, uma consequência dessa ocupação.

As vantagens das planícies aluviais são muitas. A civilização primitiva desenvolveu-se principalmente em terrenos dessa natureza. Um terço ou mais da atual civilização vive ou depende dos mesmos para sua subsistência.

Não possuímos dados quantitativos do Brasil. Sabe-se, porém, que inúmeras cidades e vilas encontram-se inteiramente ou em parte em planícies de inunda-

ção. As lavouras em terrenos sujeitos a inundação são incontáveis. A recente enchente no sul do país pode dar uma indicação objetiva das pessoas, cidades e atividades que se encontram expostas, em muitas áreas, aos efeitos das grandes enchentes.

A ocupação das planícies de enchente se deve às vantagens econômicas e físicas que ela oferece. É notório, por exemplo, o valor dos terrenos aluviais para a agricultura. Topograficamente, a planura representa vantagem para muitas atividades como por exemplo para a construção de estradas ou o estabelecimento de indústrias que exijam grandes pátios e áreas planas. A planície aluvial tem sido o lugar preferido para o desenvolvimento de núcleos populacionais, cidades e indústrias, graças à maior facilidade encontrada aí para o abastecimento de água, ou a remoção dos resíduos e muitas vezes pela proximidade mesma do rio, tendo em vista suas condições de navegabilidade ou fluviabilidade.

Muitas cidades se desenvolveram e continuaram sua expansão em locais onde existe o risco de enchentes. Outras, estão crescendo no sentido errado em direção a zonas críticas. Novos núcleos populacionais indubitavelmente são criados e continuarão a se desenvolver indiscriminadamente nas planícies aluviais. Inúmeros aterros, pontes e obras de arte, sinais de progresso e desenvolvimento de zonas antes pouco habitadas, foram e continuam a ser construídos. O aumento de consumo nas cidades exige intensificação das práticas agrícolas, o que em geral significa maior uso dos terrenos aluviais das várzeas e dos cones de dejeção dos vales afluentes, onde é mais fácil cultivar e obter água, e a fertilidade é elemento característico.

Tudo isso significa maiores e crescentes danos e perdas devido às enchentes. A invasão do álveo e da planície do rio, sempre cria problemas que nem sempre são suspeitados por aqueles que pela primeira vez ocupam esses terrenos: eles só vêem um belo regato nas proximidades de casa, ou um pequeno curso d'água nos limites da vila, ou ainda um tranqüilo rio no meio da larga e verdejante planície; em geral está longe da imaginação e da compreensão comum, o fato de que o regato ou o distante e aparentemente inocente rio possam vir a reocupar, mesmo que temporariamente, todo aquele espaço, normalmente seco.

Muitas cidades sofreram enchentes durante seu desenvolvimento. Algumas sofreram o pesado impacto das grandes enchentes mas aparentemente não aprenderam que sua localização era inadequada.

É verdade que o problema do abandono de um local e a mudança para outro mais seguro constitui séria questão econômica e mesmo social, talvez de solução inviável ou impossível para muitos casos. Em outros casos, porém, é provável que a relocação tivesse sido possível e recomendável. E porque não, se muitas vezes são relocalizadas estradas de ferro e de rodagem, cemitérios e até cidades quando se pretende criar reservatórios para regularização dos rios? Há provavelmente muitos casos em que pequenos traslados poderiam resultar em muito maior ou quase plena segurança contra enchentes.

Um exemplo interessante a citar é o da enchente de dezembro de 1948 no rio Angu, tributário do rio Paraíba do Sul. A cidade de Volta Grande, que se situa às margens desse rio, ficou praticamente toda submersa tendo sido duramente castigada pelo impacto das águas; quantidades enormes de sedimentos foram depositados na cidade e no resto da planície.

O rio Angu é um pequeno curso d'água que drena uma área de cerca de 300 quilômetros quadrados; durante a estiagem, em Volta Grande, ele pode ser cruzado a vau sem, praticamente, molhar-se o pé. No dia 15 de dezembro de 1948, porém, ele foi obrigado a usar seu leito de enchente, e como este tinha sido invadido, deu-se o que se deu ...

Mas a questão é que o rio Angu voltou logo a ser o velho Angu dos bons tempos e hoje, com a cidade toda reconstruída (bonito e aprazível lugar, aliás), no mesmo local de antes, só resta a lembrança dessa grande aventura e dra-

mática calamidade, e a reconstrução demonstra que existe também a esperança de que essa enchente tenha sido não só a primeira dessa magnitude, mas também a última.

Ou será que o povo de Volta Grande politizou-se, buscou informações, e descobriu que existem possibilidades de reduzir os efeitos das enchentes por meio de certas práticas de engenharia, e espera que o governo venha eventualmente despender parte de seu orçamento para levar a cabo essas práticas no rio Angu? Para o caso em questão, a primeira hipótese ainda é a que provavelmente prevaleceu: o povo resignou-se com a desgraça ocorrida e espera que nunca mais volte a se repetir.

Suponhamos, apenas para ilustrar, que Volta Grande venha a se desenvolver onde está, e em, digamos, 40 anos, ela seja algo como por exemplo, Juiz de Fora. O fértil sedimento deixado pela enchente de 1948 estaria então também sendo utilizado para a agricultura e pecuária ao longo do vale, produzindo alimentos e fibras. Uma grande enchente, então, trará sérios reflexos políticos, econômicos e sociais; o problema da relocação seria insolúvel e algo diverso teria que ser feito, porque o povo nessa época provavelmente estará já suficientemente politizado, e o exigirá.

Esta última suposição, fictícia e arbitrária, foi usada apenas para indicar com mais ênfase a situação do problema das enchentes em muitas localidades que hoje são relativamente pouco importantes econômica e socialmente, mas que amanhã, poderão pesar na balança política nacional.

Neste problema das enchentes é preciso começar a pensar hoje em métodos adequados para levar a cabo satisfatório ajuste entre as atividades do homem e as do rio.

Tendo em vista a crescente necessidade de ocupação das planícies aluviais por desenvolvimento agrícola, e o volume de perdas infligido pelas enchentes graças à invasão dessas planícies e dos próprios rios por cidades, estabelecimentos industriais, estradas, etc., o homem idealizou vários métodos e práticas de proteção e prevenção, capazes de conter, evitar ou pelo menos reduzir o montante dos danos causados pelas enchentes e conseqüentes inundações.

As principais práticas de controle de enchentes, podem ser classificadas em quatro categorias:

- 1) Práticas de proteção local;
- 2) Práticas de armazenamento da água em reservatórios nos cursos d'água;
- 3) Práticas de administração no uso dos terrenos da bacia, e,
- 4) Práticas de controle e administração sobre a ocupação dos terrenos inundáveis.

Nos parágrafos que seguem, serão enumeradas essas práticas. Algumas delas são recentes e, portanto, não têm sido usadas em escala considerável. Outras, embora introduzidas há muito, têm sido motivo de mais controvérsias que de investigação de suas reais possibilidades. O efeito da cobertura florestal no controle das enchentes, por exemplo, é uma das questões preferidas nestas controvérsias.

Na enumeração, não há a preocupação de discutir as vantagens ou desvantagens desta ou daquela prática em contraposição a outras. Podemos dizer, porém, que, de modo geral, todas elas têm a sua utilidade e, num programa equilibrado de controle, várias delas podem ser usadas completamente; em geral não se eliminam. O aspecto econômico é fator condicionante. A consideração deste aspecto depende, porém, do conhecimento adequado da fase hidrológica do problema.

As práticas de proteção local têm por finalidade evitar que cada cidade ou determinado terreno sejam inundados pelas águas de enchente de um curso d'água nas suas proximidades.

Esse objetivo local pode ser atingido por três métodos diferentes, os quais, em certos casos, podem ser combinados. O primeiro, consiste em construir diques de terra ou muralhas de concreto ao longo do trecho a ser protegido, a fim de manter as águas de enchentes confinadas dentro do curso d'água. Este método introduz muitas vezes problemas secundários de drenagem da área interior protegida, que podem ser resolvidas de várias formas, inclusive por bombiamento. O segundo método consiste em retirar o curso d'água e melhorar suas condições hidráulicas de escoamento, a fim de reduzir os níveis d'água durante as enchentes, através de aumentos nas velocidades de escoamento. O terceiro método consiste em derivar parte das águas de enchentes, antes de as mesmas atingirem a zona a ser protegida.

Os reservatórios para controle de enchente podem ser criados por meio da construção de barragens em locais adequados nos vales dos cursos d'água. As enchentes num determinado ponto dum curso d'água poderão ser reduzidas se um reservatório situado a montante puder armazenar uma parte do deflúvio superficial das ondas de enchente geradas na bacia.

Numa dada bacia, os danos causados pelas enchentes podem ser reduzidos por meio de dois métodos gerais de armazenamento nos cursos d'água. O primeiro, compreende a construção de grande número de pequenos reservatórios nos cursos d'água de cabeceira da bacia. O segundo, consiste em construir grandes reservatórios no curso d'água principal e em seus maiores tributários. Outro, misto destes dois, constitui, muitas vezes, a melhor solução.

Quaisquer que sejam os seus tamanhos, porém, os reservatórios para controle da enchente podem ser de dois tipos: de retenção e de detenção. A diferença entre eles é que nos reservatórios de retenção as barreiras são providas de comportas, de maneira que as descargas das águas de enchente armazenadas são controladas pelo homem, enquanto que nos reservatórios de detenção, a ação de armazenamento e descarga se dá de modo automático, sem a ação do homem.

A administração no uso dos terrenos das bacias inclui uma série de práticas que visam a reduzir a magnitude das enchentes através da ação sobre a água quando esta ainda se encontra na fase de escoamento sobre os terrenos da bacia. As principais são o controle da cobertura vegetal, o terraceamento, o cultivo segundo curvas de nível, a rotação de culturas, etc. Essas práticas promovem reduções nos volumes e nas intensidades dos deflúvios superficiais, através de aumentos nas quantidades de água no solo e de aumentos nas capacidades de infiltração dos terrenos. Têm aplicação emutuações específicas.

As práticas de controle de enchentes até agora discutidas têm em vista ajustar estas às conveniências do homem. As práticas de zoneamento, previsão de enchentes e emissão de apólices de seguro contra enchentes, são baseadas numa idéia justamente oposta, isto é, visam a ajustar as atividades do homem às possibilidades de ocorrência de enchentes.

O zoneamento das planícies de inundação envolve o controle de empreendimentos nos terrenos localizados nessas planícies. Esse controle pode ter como objetivo a proteção do homem contra danos devidos à ocupação indevida das propriedades do rio, ou então, evitar certos tipos de construção que possam dificultar o escoamento normal das enchentes e, portanto, aumentar o nível de inundação das áreas a montante.

As perdas devidas a enchentes podem ser reduzidas se as pessoas que ocupam áreas sujeitas a inundações, puderem receber informações acerca das características das ondas de enchentes que se desenvolvem na bacia. Essas informações podem ser fornecidas por serviços de previsão de enchentes.

O seguro contra enchentes constitui prática que visa a tornar mais brando economicamente o impacto das perdas produzidas pelas inundações.

*

Aí estão pois, resumidamente descritas, as principais práticas hoje levadas em conta para o controle das enchentes. A segurança das próprias estruturas

hidráulicas construídas sobre ou adjacentes aos rios, dependem do conhecimento minucioso e compreensivo dos fatores topográficos, meteorológicos, morfológicos e, principalmente hidrológicos envolvidos no desenvolvimento das enchentes e das conseqüentes inundações.

Um aspecto importante da geografia humana que não tem sido quase estudado no Brasil é o da relação entre as enchentes e as características dos terrenos ocupados pelo homem e suas atividades. Estatísticas e descrição dos terrenos aluviais atualmente ocupados para fins econômicos; o levantamento da população que vive em zonas expostas a enchentes de diversas probabilidades de ocorrência, e, portanto, de diferentes magnitudes; o levantamento dos dispêndios de verbas públicas nos vários anos para auxílio de vítimas de enchentes; a distribuição geográfica desses dispêndios e tendências dos mesmos; o estudo específico das cidades próximas aos rios, o histórico de seu crescimento e as propensões presentes de expansão em relação às áreas inundáveis, são alguns dos elementos que fazem muita falta e que a geografia e os geógrafos brasileiros poderão focalizar gradativamente a fim de que se possa ter uma visão física e econômica mais objetiva do problema das enchentes no Brasil.

O POTENCIAL HIDRELÉTRICO DE NOSSOS RIOS

Vamos tratar agora de outro aspecto que embora seja menos dramático, não deixa de ser tão empolgante quanto o problema das enchentes. Referimo-nos à questão das possibilidades potenciais de nossos rios para a produção de energia elétrica.

A eletricidade dentre os agentes energéticos utilizados hodiernamente, salienta-se sobejamente dos demais pelas inúmeras vantagens que oferece.

Embora a queima da madeira ainda seja no Brasil a fonte que, individualmente, contribui com a maior proporção da energia total despendida na forma de calor para usos domésticos, em muitas indústrias, em várias ferrovias, sistemas de navegação, e inclusive para a produção de energia elétrica; embora exista no país certa disponibilidade de recursos carboníferos e possibilidades de maior desenvolvimento da indústria do carvão, que permitirão aproveitamento desses combustíveis para a produção de energia elétrica; embora em algumas circunstâncias seja vantajoso economicamente ou necessário por questões de urgência instalar unidades térmicas ou diesel para a obtenção de energia elétrica ou suplementação por falta de capacidade do sistema gerador, embora seja patente a eficácia da complementação térmica na operação dos grandes sistemas hidrelétricos, e, enfim, embora existam amplos horizontes e possibilidades de eventual desenvolvimento em escala competitiva da produção de eletricidade termo-atômica, —

é incontestável a assertiva de que a “base” energética do desenvolvimento nacional, está no potencial hidrelétrico da nação.

Esta afirmação pode ser consubstanciada pelos seguintes fatos e considerações:

1) O potencial hidroenergético do país — resultado de uma satisfatória associação da fisiografia com a extensa e hidrológicamente produtiva rede fluvial — é enorme e está em grande parte sem aproveitamento; talvez seja superado por apenas 2 ou 3 países do mundo.

2) A técnica hidráulica, mecânica e elétrica envolvida na produção de energia hidrelétrica tem sido amplamente desenvolvida, mantendo num nível elevado a eficiência dos projetos de aproveitamento da energia hidráulica.

3) Torna-se cada vez mais evidente a importância do desenvolvimento global das bacias fluviais; os projetos para fins múltiplos, que podem servir a vários interesses, como a irrigação, navegação e controle de enchentes, apresentam o problema da energia elétrica sob prisma diferente, porém de destaque.

4) O carvão nacional é de baixa qualidade; os recursos carboníferos concentram-se nos três estados sulinos do país e são praticamente limitados — estima-se que as reservas disponíveis sejam da ordem de 1500 milhões de toneladas; a produção atual é insuficiente para suprir grandes instalações térmicas, e não existem facilidades de transporte para abastecer usinas espalhadas pelo território brasileiro. Há perspectivas, porém, de desenvolvimento da indústria carbonífera.

É interessante citar que há algum tempo, pensou-se em construir uma usina térmica de 200 Mw junto às minas de carvão de Tubarão em Santa Catarina, e transportar a energia gerada para São Paulo sob a tensão de 380 MV, por meio de uma linha de transmissão de 700 quilômetros de extensão.

Esta foi uma das soluções de emergência para atenuar a aguda crise de energia que se apresentava há uns 5 anos atrás, mas não foi adotada pelos seguintes motivos:

“A) A atual (1955) produção de carvão nas minas de Tubarão é insuficiente, tornando-se necessário ser grandemente aumentada. Isso requeriria vultosos capitais para proceder-se à mecanização em grande escala dos processos de extração do carvão e à reconstrução e ampliação dos meios de transporte das minas às estações de beneficiamento do carvão.

B) Exigiria também a construção de novas instalações de beneficiamento, com capacidade três ou quatro vezes superior às existentes.

C) A construção da linha transmissora de 380 MV, com 700 quilômetros de extensão seria por demais onerosa”.

Convém mencionar que no sul do país existem várias usinas térmicas usando carvão nacional, como por exemplo as usinas de São Jerônimo, de Charqueada, e de Candiota no Rio Grande do Sul. Estas usinas são parte complementar de um sistema hidrelétrico.

5) A indústria petrolífera nacional está ainda subdesenvolvida. A importação de *fuel-oil* e óleo diesel para geração de energia termo-elétrica, além de afetar a segurança nacional, constitui sério problema de divisas. As refinarias que estão sendo instaladas no país, atenuam a intensidade desse problema, mas é incontestável que enquanto tivermos que importar petróleo em grande escala, a questão permanecerá mais ou menos nas mesmas bases atuais, isto é,

a) as usinas térmicas a óleo não devem e não podem constituir elemento preponderante no desenvolvimento da indústria nacional de energia elétrica;

b) a complementação térmica — sem dúvida necessária tecnológica e mesmo economicamente, sob certos aspectos, para uma mais ampla e racional utilização dos recursos de água — não pode ser ainda totalmente aceita como elemento “normal”, no sistema eletroenergético brasileiro; no sul do país, com as perspectivas da indústria carbonífera, a questão talvez possa ser diferente. De qualquer forma porém,

6) É preciso também não deconsiderar o fato de que não são ilimitados os recursos de carvão e óleo do mundo. Estas fontes de energia são, além do mais, matéria-prima de grande valor para a indústria, e o seu uso como combustível deve ser diminuído sempre que possível. E enfim,

7) As pesquisas de urânio em território nacional acham-se, aparentemente, apenas iniciadas; não se têm informações concretas sobre as ocorrências desse mineral atômico no Brasil. Sob aspecto tecnológicos e principalmente econômico, as usinas átomo-elétricas “ainda” apresentam muitos problemas para serem indicadas genericamente, sem restrições, em nosso país.

Estas considerações tôdas, referem-se às atuais condições econômicas da nação e ao estado presente da tecnologia. Não seria justo, pois, deixar de prever as mudanças que indubitavelmente serão trazidas pelo desenvolvimento. É de se esperar, por exemplo, que no futuro, talvez não longínquo, as usinas átomo-elétricas tenham papel importante no quadro eletroenergético mundial. Há prognósticos mesmo, de que as usinas atômicas venham eventualmente a substituir completamente as usinas térmicas convencionais. E quando a questão da complementação térmica do sistema básico hidrelétrico realmente tornar-se premente no Brasil, é provável que as instalações termo-nucleares terão função de destaque associadas às usinas hidrelétricas.

As fontes hidrelétricas em geral encontram-se afastadas dos centros de consumo. A energia gerada tem de ser transmitida para os mercados consumidores, envolvendo não só perdas elétricas, mas também grandes inversões de capital, que indubitavelmente vêm encarecer o produto. As distâncias de transmissão podem variar de desde algumas dezenas a várias centenas de quilômetros. Em geral, com o aproveitamento das fontes próximas, são procuradas as mais distantes, e as linhas de transmissão têm que cobrir distâncias cada vez maiores, tornando-se itens proporcionalmente importantes nos custos totais dos projetos.

A não coincidência de localização dos centros consumidores em relação às fontes de energia hidráulica, constitui talvez o principal fator desfavorável dos aproveitamentos hidrelétricos. No entanto, o problema da transmissão de energia tem merecido nos últimos tempos considerável atenção técnica, e avanços tecnológicos e de concepção operativa, estão sendo levados a cabo, no sentido de reduzir a intensidade dos fatores prejudiciais, e possibilitar o melhor uso e a extensão das distâncias de transmissão.

Dois aspectos gerais devem ser citados com respeito a êsses avanços: o primeiro, se refere à crescente interligação dos sistemas elétricos, trazendo inúmeras vantagens operativas e econômicas entre as quais a transferência de energia disponível de áreas distantes entre si. O segundo, se refere às enormes distâncias a que podem (ou poderão) ser transmitidos grandes "blocos" energéticos. A respeito, é interessante citar um exemplo de bastante atualidade. Trata-se do aproveitamento do rio Hamilton, no Labrador, ao norte do Canadá, onde se prevê a possibilidade de aproveitar um potencial firme de 4 000 000 de H.P. nas proximidades das quedas de Hamilton, e mais de 2 milhões a jusante destas. Para aproveitar a energia de um projeto gigantesco como êsse, preve-se a instalação de uma indústria metalúrgica às margens do rio São Lourenço distante 400 quilômetros do aproveitamento. Mas não é tudo: considera-se possível, economicamente, transmitir grandes montantes de energia do rio Hamilton para as províncias de Ontário e Quebec, o que envolverá linhas de transmissão de 1 600 quilômetros. (Considera-se a possibilidade de utilizar corrente contínua a grande voltagem).

A distribuição geográfica da riqueza hidroenergética nacional é função, evidentemente, da disposição territorial de nossa rede fluvial, da diversidade topo-hidrográfica da mesma, e da variedade de regime hidrológico que os rios brasileiros apresentam.

A disposição geral de nosso sistema de drenagem é bem conhecida. Os mapas divulgados pelo CNG exibem claramente essa característica.

Através dos conhecimentos gerais que se têm dos climas do Brasil e da associação da fisiografia com a rede fluvial brasileira, muita coisa poderia ser inferida com respeito à distribuição geográfica do potencial hidráulico.

Êstes conhecimentos, porém, são insuficientes, e há necessidade de informações muito mais pormenorizadas de caráter topo-hidrográfico e hidrológico. Os dados topo-hidrográficos disponíveis estão aquém do que se necessitaria para uma avaliação quantitativa correta das máximas potencialidades hidroenergéticas das bacias fluviais brasileiras.

Devido ao maior desenvolvimento da região centro-sul do Brasil, os rios desta região são mais conhecidos fisiográfica e hidrológicamente. São indubitavelmente grandes as reservas de energia hidráulica neste setor do país, que envolve a notável bacia do rio Paraná; no entanto, não é absurdo dizer que qualquer avaliação que hoje fôr feita do potencial máximo aproveitável na região, poderá ser modificada se forem coletados mais dados básicos e efetuadas análises de aproveitamento, tendo em vista o desenvolvimento global das bacias.

As quedas d'água são os elementos da fisiografia que primeiro atraem os que buscam fontes de energia hidrelétrica, pois nos locais onde elas se encontram, o desnível, um dos elementos necessários para a geração de energia, é, em parte, ou no seu todo, fornecido pela própria natureza; o outro elemento, é o volume d'água disponível.

A presença de quedas d'água sem dúvida constitui um índice importante da potencialidade energética duma bacia; essa presença, porém, não pode ser considerada como suficiente e única evidência das possibilidades de aproveitamento dos recursos de energia hidráulica disponíveis.

É preciso lembrar, por exemplo, que, em geral, as características físicas dos vales onde as quedas se encontram, principalmente as grandes, não favorecem a obtenção econômica de um alto grau de regularização do regime fluvial, de maneira que a industrialização da energia "total" disponível nesses locais depende "também" das possibilidades de armazenamento a montante. Além disso, deve-se considerar que existem outras condições fisiográficas — além das quedas d'água — que permitem também o aproveitamento em larga escala do potencial hidráulico; nestes casos, os desníveis podem ser concentrados artificialmente, e a magnitude dos aproveitamentos dependerá somente da descarga fluvial disponível e das características da topo-hidrografia dos trechos de vale considerados.

Para exemplificar essas considerações, citemos 4 exemplos, o primeiro se refere à bacia do rio Araguari, no Amapá; o segundo, à do rio São Francisco; o terceiro à do rio Grande; e o último à do rio Xaçecó, em Santa Catarina.

No trecho do rio Araguari entre as localidades de Pôrto Platon e Ferreira Gomes, existem várias corredeiras e quedas d'água, destacando-se dentre elas a cachoeira do Paredão, que se encontra a 100 quilômetros de Macapá, a 96 de Serra do Navio e a 400 de Belém do Pará.

Por envolver considerável concentração natural de energia hidráulica e devido à existência, nas proximidades, de condições topográficas que permitem o barramento do rio, a cachoeira do Paredão obteve bastante destaque desde o início da colonização territorial há vários anos, e fez com que se fixassem aí os esforços daqueles que desejavam obter energia hidrelétrica para o desenvolvimento do território.

No trecho onde se pretende barrar o Araguari, porém, as condições topo-hidrográficas só permitem obter uma represa com capacidade de armazenamento muito reduzido em relação aos volumes necessários a uma regularização significativa.

O deflúvio "médio" desse rio em Paredão é bastante alto (da ordem de 1 100 m³/s ou sejam 1 400 mm sobre a área da bacia); a "variabilidade" do escoamento, e conseqüentemente a da energia hidrelétrica disponível, é, porém, também muito grande.

A capacidade de produção da futura usina do Paredão será, portanto, função das disponibilidades naturais e água, exceto se vier a ser possível regularizar o rio noutra local a montante.

Por aí se pode compreender, que embora exista significativo potencial energético na cachoeira do Paredão, seu aproveitamento industrial depende do armazenamento de águas acima e portanto, depende do conhecimento minucioso das

condições topo-hidrográficas de outros trechos do rio Araguaí e não somente daqueles onde se situam as quedas d'água e corredeiras.

Situação similar ocorre no da cachoeira de Paulo Afonso, no São Francisco. As reais possibilidades da usina construída nesse local também são dependentes das obras de regularização a montante.

Dois outros exemplos, ainda na própria bacia do rio São Francisco, podem servir para ilustrar a importância da existência de certas condições topo-hidrográficas na determinação das potencialidades regionais. O primeiro deles se refere ao projeto das Três Marias. O local onde se está construindo Três Marias, não apresenta nenhuma ruptura abrupta no declive, como ocorre em Paulo Afonso, por exemplo; todo o imenso volume que será possível armazenar e a energia hidrelétrica que resultará, são apenas o resultado de uma adequada combinação entre condições topográficas (físicas de modo geral), favoráveis ao barramento do rio e características topo-hidrográficas do vale a montante.

Em Curitiba, no "cayon" a jusante de Paulo Afonso, segundo explorações preliminares efetuadas pela CVSF, existem condições para construção de uma barragem e usina que possibilitariam a produção de enormes volumes de energia. O desnível seria todo criado pela barragem; desconhece-se o volume útil da repêsa que seria criada, mas é provável que não seja relativamente importante; a magnitude da potência que poderia ser instalada, depende da regularização que se efetuar nos reservatórios que possam vir a existir a montante, inclusive no de Três Marias. Uma usina em Curitiba, poderia ter, segundo avaliações preliminares efetuadas, uma potência de 1 600 000 kW; a energia que seria produzida anualmente atingiria então a cifra de 12 500 000 000 kWh². O projeto na cachoeira de Paulo Afonso é previsto para ter uma capacidade máxima da ordem de 900 000 kW com uma produção anual de 6 x 10⁹ kWh.

O projeto de Furnas no rio Grande, serve também para dar ênfase à questão da importância dos pormenores fisiográficos na fixação das máximas possibilidades hidrelétricas de uma região ou bacia fluvial.

As características topo-hidrográficas do vale do rio Grande na zona do projeto em questão são tais que permitem — através da construção de uma barragem de cerca de 100 metros de altura e a conseqüente criação de um grande lago artificial — concentrar em um ponto, grande parte da energia potencial de um trecho de cerca de 180 quilômetros de rio vale acima, e regularizar consideravelmente o deflúvio dos 50 000 quilômetros quadrados pelo rio Grande. O projeto Furnas terá uma usina com cerca de 1 000 000 de kW instalados.

Vários projetos a jusante no rio Grande e no próprio rio Paraná terão suas máximas capacidades ou a sua produção definidos ou dependentes da regularização introduzida pelo reservatório de Furnas. A usina de Peixotos e cerca de talvez uma dezena de outros futuros aproveitamentos no rio Grande serão afetados por essa regularização.

Devido à limitada capacidade de seus reservatórios, os projetos no curso principal do Paraná, como por exemplo os aproveitamentos dos saltos de Urubupungá e o futuro projeto das Sete Quedas, sentirão efeitos e reflexos dessa regularização. Estes últimos, poderão vir a ser amplamente beneficiados também com posteriores regularizações do rio Paranaíba e dos demais afluentes do rio Paraná a montante de Guaíra.

A mesma situação já descrita ocorre com uma pequena bacia em Santa Catarina. A cachoeira de Xanxerê no rio Xapacôzinho está sendo considerada pelo estado para aproveitamento de sua energia hidráulica. Devido à pequena capacidade de armazenamento no trecho do rio onde a cachoeira se encontra, é evidente a necessidade de regularização a montante a fim de obter melhor utilização dos recursos hidroenergéticos desse rio.

² O consumo de energia em todo o Brasil em 1955 foi dessa mesma ordem de magnitude.

Esses fatos e exemplos fornecem uma visão básica do problema da distribuição das fontes hidroenergéticas no Brasil, e permitem traçar as seguintes considerações finais:

1) Os enormes recursos hidrelétricos que se presume ter no país não são devidos exclusivamente à presença das grandes quedas d'água no sistema fluvial.

2) Outros locais existem ao longo dos rios, onde é possível obter consideráveis quantidades de energia e criar grandes potenciais, mesmo sem a existência de quedas naturais.

3) A energia disponível de uma bacia encontra-se distribuída ao longo dos vales dos rios. O seu aproveitamento depende somente da existência de condições topo-hidrográficas e hidrológicas que possibilitem a construção de obras, que satisfaçam preceitos técnicos e econômicos.

4) Os locais das quedas d'água são em geral os que primeiro atraem a atenção na fase inicial de desenvolvimento das bacias fluviais. Nestes locais, a natureza provê parte ou todo o desnível necessário para a geração da energia, de modo que a principal função do homem é a de controlar adequadamente a água e conduzi-la através da maquinaria geradora; por isso, os projetos muitas vezes apresentam vantagens econômicas, mas é preciso dar ênfase ao fato de que suas capacidades são limitadas pela disponibilidade de água. Com o crescimento das demandas, essas capacidades são atingidas e somente pela regularização é possível obter maior disponibilidade de potencial no pé das quedas d'água.

5) É da maior importância para o aproveitamento racional dos recursos de água e hidrelétricos, a existência de locais com características topo-hidrográficas que permitam a criação de condições para a regularização do regime fluvial. Locais desta natureza são recursos naturais de inestimável valor e que devem ser utilizados da forma mais sábia possível.