



**GRUPO VI  
GRUPO DE MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA – GME**

**IMPACTO DA REGULAÇÃO JURÍDICO-AMBIENTAL NO AMBIENTE DE MERCADO DO SETOR ELÉTRICO  
BRASILEIRO: OS USOS MÚLTIPLOS DAS ÁGUAS.**

**Everthon Taghori Sica\***

**LabPlan - UFSC**

**Lisandra Stein e Souza**

**Advogada**

**Rubipiara Cavalcante Fernandes**

**LabPlan - UFSC**

**RESUMO**

O objetivo deste artigo é verificar os conflitos de competência entre a legislação ambiental, os órgãos reguladores e os comitês de bacias, analisando o marco regulatório dos setores de energia elétrica e dos recursos hídricos. Pretende-se identificar os instrumentos econômicos, as “lacunas” regulatórias e as melhores formas de implementação para aperfeiçoar a gestão ambiental dos recursos hídricos conjuntamente com a operação do Sistema Interligado Nacional de energia elétrica, além de contribuir para o estabelecimento de um “marco regulatório” ambiental no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE**

Planejamento; Regulação; Multicritério; Uso Múltiplo; Geração.

**1.0 - O ARCABOUÇO JURÍDICO E INSTITUCIONAL**

A gestão dos recursos hídricos é abordada pela Constituição Federal de 1988, que em seu inciso XIX do art. 21, atribui à União a competência de instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, qual baseia-se na gestão compartilhada das águas por meio da descentralização e da participação da sociedade na gestão pública.

O arcabouço regulatório e jurídico, referente aos recursos hídricos (1), pode ser sintetizado por meio da estrutura e dos seguintes objetivos do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a saber: (i) coordenar a gestão integrada das águas; (ii) arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; (iii) implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; (iv) planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; (v) promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Em termos da estrutura hierárquica da organização social, integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, ver FIGURA 1:

- o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, competente pelo papel normativo e de articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regionais, estaduais e dos setores usuários (art. 33 da Lei nº 9.433/97); tendo os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, em linhas gerais, as mesmas atribuições, na área de sua competência;
- a Agência Nacional de Águas (ANA), competente pela implementação das políticas formuladas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (art. 4 da Lei nº 9.984/00);
- os Comitês de Bacia Hidrográfica, competentes, dentre outros, por aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia, estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados, bem como estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo (art. 38 da Lei nº 9.433/97);

\* LABORATÓRIO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA, Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Trindade - CTC – EEL - Labplan, CEP 88.040 – 900, Florianópolis/SC  
Fone (48) 331.9731 ramal 212, Fax (48) 331.7538, e-mail: acmesica@labplan.ufsc.br

- os órgãos públicos, de âmbito federal, dentre outros, competente por outorgar os direitos de uso de recursos hídricos, regulamentar e fiscalizar seus usos, bem como promover a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental (art. 29 da Lei nº 9.433/97);
- as Agências de Água, dentre outras, são órgãos técnicos dos comitês de bacias.



FIGURA 1 - Organograma simplificado do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Para o setor de energia elétrica, essa nova forma de gerenciar as águas implica mudanças significativas, pois passa a considerar os demais usuários das águas na gestão dos recursos hídricos. A competência para a definição e a fiscalização das condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos, conforme estabelecido nos planos de recursos hídricos das respectivas bacias hidrográficas, está a cargo da ANA<sup>1</sup>, nos termos do inciso XII, do art. 4 da Lei nº 9.984/00, em articulação com o Operador Nacional do Sistema de energia elétrica (ONS), nos termos do § 3º do art. 4 da Lei nº 9.984/00. Essa competência é comum e concorrente a outros órgãos da Administração Pública.

A Política Nacional de Meio Ambiente, enquanto instrumento de gestão ambiental, foi definida anteriormente à Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei nº 6.938/81. Nos termos dos incisos III e IV do art. 9 da referida lei, são instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, a avaliação de impactos ambientais, o licenciamento ambiental e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras.

O Decreto nº 88.351/83, substituído pelo Decreto nº 99.274/90, que regulamenta a Lei nº 6.938/81, no art. 48, vincula a avaliação de impactos ambientais aos sistemas de licenciamento, de competência do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). O referido licenciamento, no que diz respeito a obras de grande porte, notadamente de instalações de geração de energia elétrica, obedece às regras estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 006/87 e pela Resolução CONAMA nº 237/97, que incorporou ao sistema de licenciamento os instrumentos de gestão ambiental.

Definidas, em linhas gerais, a abrangência de cada política, observa-se que somente em 1997, a Política Nacional de Meio Ambiente e a Política Nacional de Recursos Hídricos interagem com os princípios do uso múltiplo das águas e do conceito de gestão da bacia hidrográfica. A interação entre a Política Nacional de Meio Ambiente e a Política Nacional de Recursos Hídricos (preconizada no inciso III, do art. 3 da Lei nº 9.433/97), embora ocorra em tese, na prática merece melhoramentos.

Enquanto a Política Nacional do Meio Ambiente é implementada considerando primordialmente o impacto ambiental, que o empreendimento pode causar no meio ambiente, a Política Nacional de Recursos Hídricos, por sua vez, até por refletir noções mais inovadoras de meio ambiente, é muito mais abrangente por considerar os demais usos da água e toda a bacia hidrográfica.

Como a bacia hidrográfica é delimitada pela geografia física e não política, e como a importância da bacia depende de vários fatores, principalmente do valor que determinado rio ou mesmo a bacia representa para a União, o Estado ou o Município, a gestão das águas por bacia hidrográfica pode efetivar-se diversamente de bacia para bacia. Além da gestão das águas ter as nuances advindas do domínio das águas e da competência concorrente da União, dos Estados e dos Municípios, outra peculiaridade diz respeito a sua gestão descentralizada dos recursos hídricos com a participação do poder público, dos usuários e da sociedade.

No setor de energia elétrica, compete à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por delegação, nos termos do inciso II, do art. 3 da Lei nº 9.427/96, a outorga de concessão para aproveitamento de potenciais hidrelétricos. O poder público, ao outorgar uma concessão, transfere ao particular a prerrogativa de utilizar um bem público em seu favor, devendo, para tanto, adotar medidas que visem, dentre outras, a utilização racional do recurso. Com

<sup>1</sup> A Agência Nacional de Águas é uma autarquia sob regime especial com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, e tem por objetivo implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos.

esse objetivo, por meio do Decreto nº 2.335/95 regulamentador da Lei nº 9.427/95, foram atribuídas, em relação a utilização dos recursos hídricos, as seguintes competências a ANEEL:

- regular e fiscalizar a conservação e o aproveitamento dos potenciais de energia hidráulica, bem como a utilização dos reservatórios de usinas hidrelétricas;
- promover a articulação com os Estados e o Distrito Federal para o aproveitamento energético dos cursos de água e a compatibilização com a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- estimular e participar de ações ambientais voltadas para o benefício da sociedade, bem como interagir com o Sistema Nacional de Meio Ambiente em conformidade com a legislação atuando de forma harmônica com a Política Nacional de Meio Ambiente;
- desenvolver atividades de hidrologia relativas aos aproveitamentos de energia hidráulica e promover seu gerenciamento nos termos da legislação vigente.

### 1.1 Instrumentos Econômicos

Um dos aspectos mais relevantes da Lei nº 9.433/97 é o estabelecimento de instrumentos econômicos e políticos para realizar a gestão integrada dos recursos hídricos, a saber:

- plano de recursos hídricos - documento de âmbito federal e para cada unidade da federação que considera o espaço da bacia hidrográfica uma unidade básica de gerenciamento dos recursos hídricos;
- enquadramento dos corpos d'água em classes de usos preponderantes – a gestão é indissociável da quantidade e da qualidade da água;
- outorga de direito de uso dos recursos hídricos - mecanismo segundo qual o usuário recebe uma autorização para fazer uso da água com fins econômicos. Porém, este processo, além de considerar as diversas demandas deveria, também, considerar a demanda ecológica<sup>2</sup>;
- sistema nacional de informações sobre os recursos hídricos - mecanismo pelo qual os *stakeholders*<sup>3</sup> afetados pela gestão dos recursos hídricos serão providos de informações necessárias para o processo decisório;
- cobrança pelo uso da água - mecanismo pelo qual se pretende harmonizar a relação entre usuários, promover a internalização e a distribuição equânime dos custos sociais, além de gerir o recurso de forma racional.

## 2.0 - A DIFÍCIL TAREFA DA GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS

A gestão dos recursos hídricos é profundamente afetada diante da miscelânea de usos possíveis e da incerteza sobre a forma de usos finais, pois os recursos hídricos podem se transformar de recurso potencial em atual de acordo com os efeitos do progresso tecnológico e das necessidades sociais. Desta forma, há uma considerável incerteza quanto à maneira que as gerações futuras tenderão a explorar as águas. Ademais, é fundamental sustentar condições mínimas para a reprodução dos recursos naturais renováveis<sup>4</sup>, pois esses asseguram as condições das atividades econômicas, embora exista a concepção que a gestão prospectiva dos recursos no longo prazo<sup>5</sup> seja considerada como um custo suplementar e estéril à atividade produtiva.

A gestão dos recursos hídricos subjugada aos diversos interesses econômicos do Estado, de órgãos privados e dos demais usuários estimula entre os diferentes atores sociais (*stakeholders*), que compõem os comitês de bacia, uma grande variedade de propostas com enfoques explicitamente formalizados, que podem ser reduzidos em três tipos principais (2): econômicos, ecológicos e técnico-administrativos.

Pelo enfoque econômico as águas são percebidas como recursos para o atendimento de necessidades imediatas. Todavia, esse enfoque pode subsidiar discursos e decisões centradas na exploração, podendo ocasionar a rápida degradação e perda substancial do capital natural (3).

O enfoque ecológico trata as águas como algo a ser protegido visando à integridade dos sistemas ambientais de maneira absoluta. Conquanto, há uma proposta menos rígida baseada na co-evolução com as necessidades econômicas, por meio de um equilíbrio dinâmico adaptativo das relações entre o homem e seu meio (4).

Já o enfoque técnico-administrativo considera as águas como um objeto de gestão social sob a ótica do recurso e do meio natural. Porém, o exercício deste enfoque, na prática do nível local, apresenta o risco de induzir uma perda de coerência no nível central e um desgaste da racionalidade explícita.

<sup>2</sup> Vazão mínima defluente necessária para manter as funções dinâmicas do ecossistema hídrico da bacia em equilíbrio, abaixo da qual coloca-se em risco a biodiversidade da bacia.

<sup>3</sup> Os atores sociais afetados pela tomada de decisão possuem interesses, valores, acesso à informação e ao capital muito distintos e detêm um certo poder para intervir diretamente no processo decisório. Alguns desses atores não participam ativamente da decisão, mas sofrem os seus reflexos.

<sup>4</sup> A água, devido às características do ciclo hidrológico, é considerada um recurso renovável. Entretanto, num horizonte de tempo economicamente relevante nem todos os recursos hídricos pode ser considerados da mesma maneira. Por exemplo: um aquífero que é renovável na base de tempo geológica, na base de tempo econômica de curto prazo pode não ser renovável.

<sup>5</sup> O ecossistema, no qual está inserido o recurso regulado, pode evoluir, porém não na mesma base de tempo e ritmo que as atividades econômicas e financeiras. Há uma discrepância entre a dinâmica do ecossistema e a dinâmica do sistema econômico.

Esses três tipos de enfoques se diferenciam por suas estruturas, discursos e procedimentos de ação, contudo são complementares, a não ser que sejam valorizados em detrimento um dos outros. A gestão das águas pressupõe um enfoque sistêmico, ou seja, reconhecer a incerteza e a complexidade inerente à gestão dos recursos naturais subentende considerar os critérios de flexibilidade e prudência ecológica para planejamento e gestão.

### 2.1 A Gestão Descentralizada

A gestão centralizada dos recursos naturais pode ocasionar inconvenientes à consideração dos regionalismos (especificidades), porém caso seja bem empregada tem condições de considerar objetivos de maior amplitude em sincronia com as demais bacias (níveis locais). Alguns desses inconvenientes foram abordados por Godard (5) num breve relato sobre a gênese do movimento de descentralização da gestão dos recursos hídricos, a saber:

- as decisões freqüentemente não são adaptadas às condições locais em função do desconhecimento das especificidades;
- a tomada de decisão centralizada submete os espaços locais às pressões e ações em outro nível, implicando perda do poder de decisão local e conseqüentemente revigora o desinteresse e o descaso pelo destino dos ambientes locais;
- a centralização do poder decisório e financeiro faz com que os agentes econômicos locais se tornem “clientes” da administração central.

Por outro lado, o processo de descentralização equivale a uma transferência da capacidade de resolução de problemas, ou seja, a transferência do poder da competência central para local no âmbito da estrutura institucional hierárquica calcada no princípio da subsidiariedade<sup>6</sup>. Entretanto, há possibilidade dos comitês tomarem decisões apenas colaborativas ou consultivas, pois segundo Caubet (6) “se existisse o princípio de subsidiariedade em favor do comitê, não seria possível afirmar que caberá recurso contra *toda* decisão que viesse a tomar<sup>7</sup>”. Ademais, em caso de implementação deficiente, o sistema administrativo descentralizado se torna vulnerável à paralisia decisória.

A descentralização dos processos decisórios pode subestimar o fato de que as conseqüências das decisões afetam simultaneamente os níveis local, regional e central. Como exemplo pode-se citar a transposição do rio São Francisco, que é fonte de vida e recursos para vários municípios e estados brasileiros, além do próprio Brasil. Portanto, a questão principal vai além da repartição de responsabilidades ou de delimitar poderes, e sim na direção de harmonizar os vários pontos de vista dos *stakeholders*, sendo todos eles, a princípio, legítimos. A legitimidade não diz respeito unicamente ao corpo de textos legislativos e regulamentares, pois no bojo da sociedade coexistem vários universos legítimos de justificação e, portanto, inúmeros princípios de legitimidade. A ausência de legitimidade das políticas ambientais tem duas origens distintas (5): o déficit na elaboração de políticas ambientais e a hesitação que ao surgir como opção mais apropriada, em função da especificidade da situação, torna a legitimidade opaca diante de diversas proposições conflitantes e ao mesmo tempo sustentadas de maneira insuficiente.

### 3.0 - PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS HIDROENERGÉTICOS

O aumento do consumo em bens e serviços faz com que outras necessidades sejam incorporadas, resultando em impactos dos mais variados e de maior amplitude nos recursos hídricos. Segundo a ONU (7), o uso dos recursos hídricos aumentou duas vezes mais que a taxa de crescimento populacional no último século e aproximadamente 50% de todas as áreas cobertas com água doce foram perdidas. A tragédia do mar de Aral<sup>8</sup> representa bem as conseqüências da ausência do planejamento integrado que concilie o crescimento econômico com a dinâmica do ecossistema.

O paradigma de planejamento integrado de recursos hidroenergéticos é a mudança de um sistema setorial, local e de respostas a crises para um sistema integrado, preditivo e aliado à dinâmica do ecossistema. Neste sentido, deverá ser incorporado ao planejamento da bacia hidrográfica em conjunto com a operação do Sistema Interligado Nacional de energia elétrica as dimensões social, econômica e ambiental. As abordagens mais recentes consideram os seguintes aspectos fundamentais (8):

<sup>6</sup> Sempre que uma função puder ser exercida pelo poder hierarquicamente inferior, não deve ser absorvida pelo poder que está acima.

<sup>7</sup> De acordo com o art. 37, parágrafo único, da Lei nº 9.433/97: “Das decisões dos comitês de Bacia caberá recurso ao conselho Nacional ou aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com sua esfera de competência”.

<sup>8</sup> Em 1960, a profundidade do mar de Aral (Ásia Central, República do Cazaquistão) era de 53,4 metros, com área de 66.900 km<sup>2</sup> e volume de 1.050 km<sup>3</sup>. Esse lago suportava uma indústria de pesca, recreação e turismo. Entretanto, o projeto de expandir a produção de algodão irrigado aumentou a demanda, implicando redução drástica do volume. A área reduziu de 66.900 km<sup>2</sup> em 1960 para 31.938 km<sup>2</sup> em 1994 e para 25.217 km<sup>2</sup> em 2000. Isto acarretou aumento de salinidade que passou de 10 g/L em 1960 para 60 g/L em 2000. Esse novo deserto expande-se a uma taxa de 150.000 hectares/ano. O crescimento econômico desordenado da região, uso de pesticidas e uma política governamental centralizadora aliada à ausência de qualquer espécie de estudo e planejamento foram as principais causas dessa tragédia (8).

- as modelagens matemáticas e de ecossistemas devem integrar aspectos quantitativos e qualitativos sob diversos pontos de vista, além de projetar cenários adequados providos de simulações e de soluções possíveis;
- o reconhecimento das incertezas e da complexidade ao abordar as propagações sinérgicas dos sistemas econômicos, sociais, culturais e ambientais dos recursos hídricos;
- o reconhecimento da abordagem construtivista<sup>9</sup> no planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois as decisões não proverão de soluções “exatas”, mas sim adaptativas e em etapas;
- o desenvolvimento da capacidade de negociar entre os atores sociais, comunidades, os comitês de bacia e os demais níveis de decisão;
- a definição de objetivos e de critérios à tomada de decisão sobre os usos dos recursos hídricos por meio de sistemas participativos de suporte à decisão.

### 3.1 Sistemas Multicritério de Apoio à Decisão

A resolução de conflitos ambientais no âmbito dos recursos hídricos, nos países desenvolvidos, está consolidando o uso da Teoria da Decisão, Análise de Decisão e Métodos de Estruturação de Problemas (10). Isto confirma a tendência do uso das técnicas de multicritério para a análise e o gerenciamento de questões nas quais imperam conflitos, incertezas, complexidade e várias alternativas de solução (11). O processo de decisão não é delimitado apenas pelos postulados da ciência econômica, pois há, também, o julgamento de valor. Tomar uma decisão significa assumir uma opção com base em princípios racionais e na representação simbólica e cultural do decisor. A visão sistêmica integra a informação sobre o ecossistema ao processo de escolha. A escolha para ser considerada “a melhor possível” não necessita exprimir a solução “ótima”. O estabelecimento de um sistema multicritério de apoio à decisão tende a formalizar a inclusão de variáveis não representadas nos modelos tradicionais de otimização, além de adequar as imprecisões e outros condicionantes do marco regulatório. Ademais, os métodos multicritério permitem, formalmente, a intervenção dos decisores por meio dos critérios a serem considerados e os riscos a serem assumidos no processo de tomada de decisão.

A Divisão de Recursos Naturais e Energia da Comissão Econômica para América Latina e Caribe (CEPAL) publicou um guia de procedimentos no qual reconhece que o equilíbrio do meio ambiente depende dos acordos entre os atores sociais e, portanto, a tomada de decisão não será por outro meio senão por negociações sucessivas. Além disso, propõe uma metodologia para o apoio à decisão, no âmbito dos recursos naturais energéticos, que envolve: (i) identificação dos atores sociais afetados; (ii) determinação de critérios que sustentam a posição dos atores sociais; (iii) definição de objetivos; (iv) geração de alternativas de solução e hierarquização das mesmas; (v) definição de estratégias e programas de ação (12).

Os modelos multicritério<sup>10</sup> foram aplicados com grande aceitabilidade entre os grupos sociais afetados na bacia do rio Svarta (Suécia), onde foram utilizados para as licenças de uso da água, considerando os usos múltiplos; no Manayunk Canal (EUA), onde duas indústrias e a comunidade local, que defendia o uso para recreação, competiam pela água (13). No planejamento de sistemas de energia elétrica há aplicação destes modelos nos sistemas de transmissão de energia elétrica para análise e avaliação de passivos socioambientais (11) e nas seguintes empresas do setor de energia elétrica: Seattle City Light, BC Hydro e BC Gás (14).

## 4.0 - USOS MÚLTIPLOS E SEUS IMPACTOS NO PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO

Existem diversas formas de considerar os usos múltiplos da água, pois esses estão associados às variáveis de decisão incluídas, direta ou indiretamente, nos problemas de otimização de estado ou a restrições. Os usos dos recursos hídricos de uma região são limitados por diversos setores concorrentes e, em geral, sujeito às regras de partição entre os diversos segmentos de uma determinada bacia.

A fim de aperfeiçoar a gestão ambiental dos recursos hídricos, procura-se por meio da análise de um estudo de caso discutir e encaminhar sugestões que possam fornecer instrumentos econômicos para auxiliar a tomada de decisão e com isso servir de instrumento legal para a viabilização de uma legislação condizente com as reais necessidades da sociedade.

### 4.1 Estudo de Caso

Supondo que os recursos hídricos de uma bacia são utilizados somente entre dois segmentos: geração de energia elétrica e navegação, por exemplo. Nesse caso a variável de concorrência é a vazão defluente<sup>11</sup>. As relações de troca entre os usos concorrentes podem ser avaliadas em função do retorno esperado de cada usuário.

<sup>9</sup> O paradigma construtivista, segundo Ensslin (9), reconhece a impossibilidade de excluir do processo de decisão os aspectos subjetivos de quem decide e considera como modelo uma representação de variáveis aceita como útil pelos decisores. Tal representação é a ferramenta considerada adequada para organizar a situação e desenvolver as convicções, além de servir para comunicação. Os modelos não são aproximações da verdade, mas soluções que atendem aos objetivos e valores dos decisores.

<sup>10</sup> A abordagem multicritério possui uma estrutura lógico-dedutiva capaz de comparar alternativas e suas performances sob vários pontos de vista, além de quantificar as prioridades e de informar sobre as implicações e conseqüências dos atributos examinados pelos decisores, inspirando mais segurança na tomada de decisão (11).

<sup>11</sup> Corresponde à vazão decorrente da junção da vazão turbinada e da vazão vertida da usina à montante.

Do ponto de vista de uma empresa geradora de energia elétrica, cujo objetivo é maximizar a produção de energia elétrica (o que repercute diretamente em suas receitas), o problema de operação de seu reservatório deve ser complementado pelas funções de produção que, por sua vez, estão limitadas à sua capacidade máxima de geração que varia em função de sua potência instalada e da disponibilidade de suas máquinas geradoras.

Neste sentido, existem duas variáveis de decisão: a vazão turbinada e a vazão vertida. A vazão turbinada é limitada pelas características da turbina e pela capacidade do gerador, tendo uma geração mínima associada a cada tipo de turbina, abaixo da qual não é recomendável operá-la e uma geração máxima imposta pela capacidade do gerador, que se configura como um limite superior para a vazão turbinada. A vazão vertida se realiza pelos vertedouros, é uma variável de decisão associada à capacidade máxima de armazenamento do reservatório.

A política de geração de uma usina pode evidenciar o esvaziamento prévio de seu reservatório de forma a abrir espaço para afluições futuras e dessa forma não provocar cheias e outras alterações/prejuízos aos segmentos a jusante da usina. As vazões mínimas necessárias para permitir a navegação a jusante da usina são tratadas como restrições, considerando cenários mínimos de vazões afluentes ao reservatório da empresa, entretanto, não considerados os casos de cenários muito secos e de períodos críticos devido às características dessas afluições<sup>12</sup>. Para um melhor entendimento da relação entre essas variáveis de decisão os segmentos analisados faz-se uma análise da função de produção de uma empresa geradora de energia elétrica.

O processo de produção de energia elétrica pode ser simplificado como a transformação da energia potencial gravitacional, da água armazenada no reservatório, em energia elétrica por meio das unidades geradoras. Matematicamente, segundo Finardi (15), esse processo, considerando uma única usina hidrelétrica, é simplificado da seguinte maneira:

$$E_j = Ep_j \eta t_j \eta g_j \quad (1)$$

em que:

$E_j$  é a energia produzida (saída) pelo  $j$ -ésimo gerador da usina ao longo de um período  $\Delta t$ ;

$Ep_j$  é a energia potencial da massa d'água que é utilizada para acionar a turbina acoplada ao  $j$ -ésimo gerador durante o período  $\Delta t$ ;

$\eta t_j$  é o rendimento médio da  $j$ -ésima turbina acoplada ao  $j$ -ésimo gerador ao longo de um período  $\Delta t$ ;

$\eta g_j$  é o rendimento médio do  $j$ -ésimo gerador ao longo de um período  $\Delta t$ .

Considerando que a energia potencial gravitacional é expressa pelo produto da massa da água, pela aceleração da gravidade e pela altura de queda líquida média em  $\Delta t$  a qual a turbina está submetida,  $hl_j$ , a Equação (1) pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$E_j = [(\sigma_{esp} q_j \Delta t) g h l_j] \eta t_j \eta g_j \quad (2)$$

em que:

$\sigma_{esp}$  é a massa específica da água [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$q_j$  é a vazão turbinada média pela  $j$ -ésima turbina durante o período  $\Delta t$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

$g$  é a aceleração da gravidade [ $\text{m}/\text{s}^2$ ];

$\Delta t$  é o período de tempo considerado [s];

Sendo a potência produzida descrita como a energia gerada por unidade de tempo,  $ph = dE/dt$ , é possível expressá-la no  $j$ -ésimo gerador pela seguinte expressão:

$$ph_j = G \eta t_j \eta g_j h l_j q_j \quad (3)$$

em que:

$ph_j$  é a potência ativa (média) associada à energia do  $j$ -ésimo gerador [MW];

$G$  é uma constante com valor de  $9,81 \cdot 10^{-3}$  [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{s}^2)$ ].

Portanto, de acordo com a Equação (3) pode-se notar que a função de produção de uma unidade hidrelétrica é definida pelo inter-relacionamento das seguintes variáveis: (i) altura de queda líquida,  $hl_j$ ; (ii) rendimento da turbina,  $\eta t_j$ , e do gerador,  $\eta g_j$ ; (iii) vazão turbinada na unidade pela  $j$ -ésima turbina,  $q_j$ .

A seguir, descreve-se a influência dessas variáveis na potência de saída e na vazão defluente de uma usina hidrelétrica, as quais são as variáveis de relações de troca entre os usos concorrentes analisados.

#### 4.1.1 Altura de Queda Líquida

Um aproveitamento hidrelétrico sob a ótica do planejamento da operação é representado por meio da equação de conservação da água<sup>13</sup>, considerada para uma usina hidrelétrica isolada hidraulicamente, a saber:

$$v_f = v_0 + (y - Q - s) \Delta t \times 10^{-6} \quad (4)$$

em que:

<sup>12</sup> Nestes casos verifica-se uma lacuna regulatória que acarreta, por vezes, hesitação e conflito tanto da competência no âmbito da tomada de decisão na gestão da bacia hidrográfica e na operação do Sistema Interligado Nacional (SIN) de energia elétrica.

<sup>13</sup> Por simplificação são desconsiderados na Equação (4) os efeitos da evaporação e da infiltração da água.

$v_f$  é o volume armazenado no reservatório ao final do período  $\Delta t$  [ $\text{hm}^3$ ];  
 $v_0$  é o volume armazenado no reservatório no início do período  $\Delta t$  [ $\text{hm}^3$ ];  
 $y$  é a vazão afluyente média ao reservatório durante o período  $\Delta t$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];  
 $Q$  é a vazão turbinada média na usina durante o período  $\Delta t$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];  
 $s$  é a vazão vertida média na usina durante o período  $\Delta t$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

A operação da turbina hidráulica em uma usina hidrelétrica depende da altura de queda na qual a mesma esteja submetida. Quanto maior a queda, maior a potência de saída. Define-se como altura de queda bruta (ou queda topográfica) de uma usina, a diferença de cotas entre os limites dos níveis de montante (na captação da água) e de jusante (canal de fuga), quando a vazão na usina é igual a zero, isto é, com as turbinas fora de operação e sem a existência de vazão vertida. A cota de montante do reservatório é uma função não-linear do volume armazenado no início e final do período  $\Delta t$ . Por sua vez, a cota de jusante é função não-linear da vazão defluente, isto é, da vazão turbinada total na usina,  $Q$ , mais a vazão vertida,  $s$ , ao longo do período  $\Delta t$  (16).

#### 4.1.2 Vazão Turbinada

Conforme demonstrado na Equação (3), a vazão turbinada,  $q_j$ , é uma das variáveis que definem a potência de saída de saída do conjunto turbina-gerador.

#### 4.1.3 Análise da Função de Produção

Matematicamente a função de produção depende de variáveis de controle (vazão turbinada na unidade e vazão vertida) e de variáveis de estado (volumes armazenados ao início e ao final do estágio de tempo considerado):

$$ph_j(v_0, v_f, q_j, Q, s) = G \cdot (\rho_{0j} + \rho_{1j}q_j + \rho_{2j}hl_j + \rho_{3j}q_jhl_j + \rho_{4j}q_j^2 + \rho_{5j}hl_j^2)hl_jq_j \quad (5)$$

em que:

$\rho_{0j}, \dots, \rho_{5j}$  são coeficientes (particulares de cada unidade) de eficiência que devem ser estimados de antemão, por exemplo: por meio da técnica de regressão não-linear multivariável, a partir dos pontos retirados da curva colina da  $j$ -ésima unidade.

Das Equações (1) a (5) observa-se que as variáveis de decisão sobre o uso das águas para a geração de energia elétrica e para a navegação são a vazão turbinada,  $Q$ , e vazão vertida,  $s$ . Ao aumentar a vazão vertida num dado período de tempo, por razão da necessidade de navegação, implica reduzir a altura de queda líquida,  $hl$ , e, por conseguinte, a potência gerada. Caso a usina hidrelétrica fosse remunerada pela potência gerada haveria uma perda de receita, todavia o modelo atual do setor de energia elétrica no Brasil remunera a usina hidrelétrica pela energia assegurada, sendo as diferenças liquidadas na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) por meio do Mecanismo de Relocação de Energia (MRE). Por outro lado, o MRE objetiva compartilhar os riscos hidrológicos entre a usinas despachadas centralizadamente pelo ONS<sup>14</sup> e não os custos ou benefícios sociais decorrentes de usos múltiplos ou concorrentes<sup>15</sup>. Portanto, a cobrança pelo uso da água<sup>16</sup> poderá modificar o comportamento dos agentes econômicos da indústria de energia elétrica em situações de uso concorrente.

## 5.0 - CONCLUSÕES

O modelo administrativo de gerenciamento dos recursos hídricos por comitês de bacia, e agências de água é inovador, e sua implantação implica mudança de atitude e comportamento dos administrados que precisam dialogar e serem receptivos a parceria com os demais usuários e comunidades. A efetiva operacionalização dos comitês depende fundamentalmente do processo político, gradual e progressivo consoante às especificidades locais e regionais.

Embora exista um arcabouço regulatório mínimo que prevê a articulação dos diversos organismos atuantes para garantir o uso múltiplo das águas falta amadurecer as competências de cada organismo e intensificar a troca de informação entre os mesmos, bem como promover a conscientização da participação popular assegurada por lei.

Por outro lado, no que diz respeito aos empreendimentos de energia elétrica, uma solução interessante, seria articular o Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento com o planejamento e gestão da bacia hidrográfica, os quais teriam a capacidade de identificar os usos múltiplos da bacia e ter uma noção mais apurada da real capacidade de utilização de um determinado aproveitamento hidrelétrico. Dois dos principais percalços para o planejamento e gestão descentralizada são a modelagem matemática do ecossistema hídrico e a disponibilidade

<sup>14</sup> De acordo com o § 1º do art. 20 do Decreto nº 2.655/98 (redação do Decreto 3.353/00).

<sup>15</sup> O art. 24 do Decreto nº 2.655/98, dispõe: "Os riscos de indisponibilidade das usinas de geração hidrelétrica, de natureza não hidrológica, serão assumidos individualmente pelas usinas participantes, não sendo, portanto, cobertos pelo MRE".

<sup>16</sup> Instituída pela Lei nº 9.433/97 e que difere dos encargos do MRE baseados na Tarifa de Otimização na qual esta inserida a compensação financeira pelo uso dos recursos hídricos (Resolução Normativa nº 132, de 23 de Dezembro de 2004).

da informação sistematizada aos *stakeholders* a fim de obter as condições necessárias e suficientes para a tomada de decisão.

Do estudo de caso apresentado para a função de produção de uma usina hidrelétrica fica evidente a inter-relação entre as variáveis de decisão (vazão turbinada e vazão vertida) dos dois usos concorrentes utilizados (navegação e geração de energia elétrica). Desse modo, o comportamento ao longo do tempo destas variáveis servirá de referência de como poderá se definir as relações de troca, quando da necessidade de aumentar ou diminuir um desses usos em função do outro e em função do ressarcimento ou compensação financeira decorrente das alterações implementadas entre os segmentos envolvidos.

O processo decisório para os usos das águas deve ser imbuído dos conhecimentos tanto de especialistas como das comunidades locais. Para tanto, a elaboração de previsões e cenários capazes de simular as evoluções possíveis e a representação de vários pontos de vista dos diversos atores envolvidos e afetados pela tomada de decisão (abordagem multicritério) são necessárias para reorganizar e racionalizar a gestão dos recursos hídricos por meio dos comitês.

A crescente complexidade das questões enfrentadas na gestão dos recursos hídricos torna necessária a adoção de novas tecnologias. Neste sentido, a modelagem matemática via dinâmica de sistemas auxiliaria nas simulações e projeção de cenários, já a metodologia multicritério possibilitaria a integração de diversas ferramentas e técnicas num único sistema que auxiliaria na escolha da alternativa que melhor atende os interesses dos usuários.

Os conflitos sobre a gestão dos recursos hídricos vão além dos interesses, em seu sentido econômico, pois estão situados em sistemas de representação e de valor das águas. Por fim, equacionar a estrutura institucional e a organização do espaço de gestão dos recursos hídricos capazes de atender as exigências ecológicas, jurídicas, econômicas e culturais é uma tarefa essencial para o futuro do Estado-Nação do Brasil.

## 6.0 - REFERÊNCIAS

- (1) ANTUNES, P. de B. Direito Ambiental. Rio de Janeiro: Lúmen Júris, 2002, pp. 569-616.
- (2) OLLAGNON, H. Estratégia Patrimonial para Gestão dos Recursos e dos Meios Naturais: enfoque integrado da gestão do meio rural. In: VIEIRA, P. F., WEBER, J. Gestão dos Recursos Naturais Renováveis e Desenvolvimento: novos desafios para pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez. 2002. pp.201-266.
- (3) SICA, E.T., CAMARGO, C. C. B. The Water Use while Critical Natural Capital in the Context of the Brazilian Electric Sector. In: IEEE/PES/T&D Transmission and Distribution Latin America. São Paulo. 2004. Art. nº 180.
- (4) SICA, E. T., CAMARGO, C. C. B. Instrumentos Econômicos de Gestão e Regulação Ambiental aplicados ao Setor Energético em Ambiente de Mercado. In: X Congresso Brasileiro de Energia-CBE. Rio de Janeiro. 2004.
- (5) GODARD, O. A Gestão Integrada dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente: conceitos, instituições e desafios de legitimação. In: VIEIRA, P. F., WEBER, J. Gestão dos Recursos Naturais Renováveis e Desenvolvimento: novos desafios para pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez. 2002. pp.201-266.
- (6) CAUBET, C. G. A água, a lei, a política ... e o meio ambiente? Curitiba: Juruá. 2004. p. 306
- (7) UNITED NATIONS. Global challenge, global opportunity: trends in sustainable development. Johannesburg: United Nations. 2002.
- (8) TUNDISI, J. G. Água no Século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa e Instituto Internacional de Ecologia. 2003. p. 248.
- (9) ENSSLIN, L., MONTIBELLER-NETO, G., NORONHA, S. M. Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis: Editora Insular. 2001. p. 295.
- (10) MAGRINI, A., BREDARIOL, C. Conflito Ambiental e Negociação. In: MAGRINI, A , SANTOS, M. A. Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas. Rio de Janeiro: UFRJ; COPPE; IVIG. 2001. pp. 243-271.
- (11) SICA, E. T. Internalização de Variáveis Qualitativas no Planejamento de Sistemas Elétricos de Energia: uma proposta metodológica. Dissertação de Mestrado, Labplan/PGEEL/CTC/UFSC, Florianópolis, SC, Fevereiro de 2003. p. 265.
- (12) DRNE-CEPAL. Procedimientos de Gestion para un Desarrollo Sustentable. Chile: Comissão Econômica para America Latina e Caribe. 1993
- (13) MARTINS, R. C., SILVA, N. F. L. Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil. Volume II - desafios teóricos e político-institucionais. São Carlos: RiMa. 2003. p. 307.
- (14) HOBBS, B. F., MEIER, P. Energy Decisions and the Environment: a guide of the use of multicriteria methods. Norwell: Kluwer. 2000. p. 257.
- (15) FINARDI, E. C. Alocação de Unidades Geradoras Hidrelétricas em Sistemas Hidrotérmicos Utilizando Relaxação Lagrangeana e Programação Quadrática Seqüencial. Tese de Doutorado, Labplan/PGEEL/CTC/UFSC, Florianópolis, SC, Junho de 2003. p. 201.
- (16) MACINTYRE, A. J. Máquinas Motrizes Hidráulicas. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1983.