

Avaliação de redes de monitoramento de recursos hídricos: estudo aplicado às águas superficiais na bacia do rio Macaé

Evaluation of water resources monitoring networks: study applied to surface waters in the Macaé River Basin

Carolina Cloris Lopes Benassuly*

Wanessa Alves Duarte**

Maria Inês Paes Ferreira***

Resumo

O monitoramento dos recursos hídricos remete ao conhecimento dos fenômenos hidrológicos, estruturando sua gestão, de forma a atender aos seus usos múltiplos, e ao mesmo tempo permitir o controle e a conservação desse recurso. A eficácia do monitoramento depende da adequação de projeto e das condições apropriadas de operação de sistemas de informações. A rede de monitoramento formada pelas estações deverá ser adequada aos seus objetivos e ser ótima em sua locação. Os dados gerados devem permitir modelar o comportamento hidrológico na bacia, possibilitando a interpolação dos dados de forma que se obtenha a informação desejada em quaisquer pontos da bacia. Entre os conceitos e métodos que norteiam a estruturação e avaliação de redes de monitoramento para águas superficiais, o presente trabalho emprega o conceito de entropia para analisar as séries históricas das estações em operação na bacia do rio Macaé, quanto à redundância das informações transmitidas pelas estações e a relevância de tais informações. A importância do rio Macaé se justifica por ser responsável pelo abastecimento público e industrial de toda a cidade de Macaé, a qual produz cerca de 80% de todo o petróleo nacional. Como resultado apresenta-se a alta relevância das estações do alto curso da bacia e a necessidade de adensamento da rede para as regiões sem dados.

Palavras-chave: Rede de monitoramento. Entropia. Recursos hídricos. Macaé.

* Pesquisadora associada ao Núcleo de Pesquisa em Petróleo, Energia e Recursos Naturais / Instituto Federal Fluminense/Câmpus Macaé. Tecnóloga em Petróleo e Gás, Mestre em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense.

** Graduanda de Engenharia de Controle e Automação, Câmpus Macaé, Instituto Federal Fluminense.

*** Coordenadora do Núcleo de Pesquisa em Petróleo, Energia e Recursos Naturais / Instituto Federal Fluminense/ Câmpus Macaé. Pesquisadora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense.

Abstract

Knowledge of hydrological phenomena is required in water resources monitoring, in order to structure the water management, focusing on ensuring its multiple uses while allowing that resource's control and conservation. The effectiveness of monitoring depends on adequate information systems design and proper operation conditions. Data acquisition, treatment and analysis are vital for establishing management strategies, thus monitoring systems and networks shall be conceived according to their main objectives, and be optimized in terms of location of data stations. The generated data shall also model hydrological behavior of the studied basin, so that data interpolation can be applied to the whole basin. The present work aimed to join concepts and methods that guide the structuring of hydrologic monitoring networks of surface waters. For evaluating historical series characteristics as well as work stations redundancy, the entropy method was used. The Macaé River Basin's importance is related to the public and industrial uses of water in the region that is responsible for more than 80% of Brazilian oil and gas production, what justifies the relevance of the research made. This study concluded that despite of its relatively short extension, the Macaé River Basin should have higher monitoring network density, in order to provide more reliable management data. It also depicted the high relevancy of stations located in its upper course.

Key words: Monitoring network. Entropy. Water resources. Macaé.

Introdução

Alinhada ao contexto internacional de sustentabilidade foi sancionada, em 08 de janeiro de 1997, a Lei nº 9.433, cujo principal objetivo é assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Essa lei propõe uma política participativa e um processo decisório mais aberto aos diferentes atores sociais vinculados ao uso da água. Tendo em vista seus aspectos técnicos e políticos, o uso adequado dos instrumentos criados torna a gestão eficiente, pautada na garantia dos usos múltiplos, na descentralização do poder e na democratização das informações. Nessa perspectiva, o monitoramento do comportamento hidrológico é o requisito básico no processo de planejamento e de tomadas de decisão. A eficácia desse monitoramento depende da adequação de projeto e das condições apropriadas de operação do sistema de informações, que consiste na aquisição, tratamento, análise e utilização da informação obtida. De acordo com Gontijo Jr. (2007), “sem dados e informações relativas aos recursos hídricos, e sem o acompanhamento do desenvolvimento dos seus aspectos quali-quantitativos não se

pode diagnosticar, prever ou verificar a evolução da gestão dos recursos hídricos". O presente trabalho pretende reunir os conceitos e métodos que norteiam a estruturação e avaliação de redes de monitoramento para águas superficiais. Dentre eles, selecionou-se a aplicação do conceito de entropia para analisar as séries históricas das estações em operação na bacia do rio Macaé, no estado do Rio de Janeiro.

A importância do rio Macaé está atribuída à sua capacidade de abastecer toda a cidade de Macaé, para diversos usos, dentre os quais: abastecimento público, agricultura, geração de energia e a indústria de petróleo. Macaé foi a cidade escolhida para sediar as operações *onshore* de apoio à atividade *offshore* de produção de petróleo e gás na bacia de Campos, produção esta que representa 80% da produção nacional (ANP, 2011). Assim, a saúde do rio Macaé é fator fundamental para a economia nacional.

O que é entropia?

A entropia (do grego *εντροπία*, *entropía*) é uma grandeza termodinâmica que aparece geralmente associada ao que se denomina, não em senso comum, de "grau de desordem" de um sistema termodinâmico. Em acordo com a segunda lei da termodinâmica, trabalho pode ser completamente convertido em calor, mas calor não pode ser completamente convertido em trabalho. Com a entropia procura-se mensurar a parcela de energia que não pode mais ser transformada em trabalho em transformações termodinâmicas.

A implementação dos instrumentos de gestão e o processo decisório

O estabelecimento da Faixa Marginal de Proteção - FMP dos rios, pelos órgãos gestores, não tem sido citado entre os instrumentos de gestão. A definição da FMP dos cursos d'água depende da estimativa das vazões de cheia em cada local, para que possa ser preservada a calha fluvial e garantida a seção hidráulica necessária para a passagem dos volumes durante esses eventos.

A outorga de uso é um dos instrumentos de suporte para a gestão dos recursos hídricos. O sistema de outorga deve compatibilizar duas grandezas fundamentais: a disponibilidade hídrica (oferta) e a demanda. A gestão da demanda tem por objetivo racionalizar e disciplinar o uso, evitando ou equacionando situações de conflito, e pode ser estimada a partir do cadastramento de usuários, que é dinâmico e contínuo no tempo. Além de variar muito no tempo e no espaço, a disponibilidade hídrica de um

curso d'água para ser estimada, exige o conhecimento do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica a partir de dados fluviométricos ou de estudos que utilizem modelos hidrológicos. Isso pressupõe o monitoramento contínuo das variáveis indicadoras da sua disponibilidade, com registros dos níveis da água e vazões ocorrentes nos rios, do registro das precipitações e do conhecimento das condições climáticas. Assim, a quantidade de água que poderá ser outorgada depende da estimativa da disponibilidade hídrica, dentre outros critérios (TUCCI, 2007).

No estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA)¹ é o atual órgão responsável pelo cadastramento dos usuários que possuem outorga no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNDARH), de modo que o INEA mantém permanente articulação com a Agência Nacional das Águas (ANA) na finalidade de constituir e manter um cadastro unificado de usuários de água. Para fins de cálculo de disponibilidade hídrica, o estado do Rio de Janeiro estabeleceu, por meio da Portaria Serla nº 567, de 07 de maio de 2007 que será utilizada a vazão de referência “ $Q^{7,10}$ ”, definida como a vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno, sendo a vazão ambiental mínima a ser mantida no corpo hídrico definida como 50% da $Q^{7,10}$.”

A tomada de decisão é, em última análise, o objetivo final do sistema de informações. Magalhães Jr. (2000) discute os fatores que determinam o sucesso do processo decisório, afirmando que está diretamente relacionado à quantidade e à qualidade das informações, fatores que possibilitam confiança na formulação de cenários. Como contraponto o autor lista os maiores desafios do processo decisório no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, dentre eles: a carência de dados hidroambientais e os interesses setoriais, locais e pessoais. O autor destaca ainda os problemas institucionais na gestão ambiental, desde superposição de funções, a falta de diálogo, e até as deficiências no processo de integração intersetorial. Enfatiza que a maioria das decisões são tomadas em um contexto de elevadas incertezas sobre o futuro, principalmente considerando-se a escassez de informações, e que a utilização otimizada de tais informações vai ao encontro do princípio da precaução, muito defendido atualmente em termos de políticas públicas.

Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Macaé

A bacia hidrográfica do rio Macaé está localizada no Litoral Norte do Estado do Rio de Janeiro, na Região Hidrográfica VIII, e drena uma área de 1.765 km². Sua calha principal desenvolve-se no sentido oeste-leste, percorrendo cerca de 136 km até

¹O Instituto Estadual do Ambiente (INEA) foi criado através da Lei nº 5.101, de 04 de outubro de 2007. O novo instituto, instalado em 12 de janeiro de 2009, assume as atribuições e competências dos três órgãos ambientais vinculados à Secretaria de Estado do Ambiente (SEA): a Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (Feema), a Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (Serla) e o Instituto Estadual de Florestas (IEF).

desaguar no Oceano Atlântico. A área da bacia abrange seis municípios: Macaé, que comporta 82% do limite territorial da bacia, com cerca de 1.448 km²; Nova Friburgo, onde o rio nasce na serra de Macaé de Cima, a 1.560m de altitude, com 142 km² (8%) da bacia; Casimiro de Abreu com 83 km² da bacia (4,7%); Rio das Ostras com 11 km² da bacia (0,6%); Conceição de Macabu com 70 km² da bacia (4%) e Carapebus com 11 km² da bacia (0,6%) (PINHEIRO, 2008).

Solos e vegetação

O 2º relatório do Plano Preliminar da Bacia do Rio Macaé (2002) apresenta o diagnóstico pedológico da área em questão. Do curso médio até a foz do rio Macaé ocorrem solos orgânicos, que apresentam teor variável de matéria orgânica em sedimentos fluviolacustres². Caracterizam-se por apresentar o lençol freático subafiorante e por serem mal drenados. Nas nascentes e no curso superior do rio predominam os solos aluviais, que possibilitam uso agrícola diversificado, como: arroz, olericultura³ e pastagem. No domínio das rochas cristalinas, predominam o Latossolo Vermelho e Amarelo e o Podzólico⁴, ambos mais indicados para pastagens.

No alto curso da bacia em estudo, na região de Nova Friburgo pode-se encontrar uma das áreas em que a cobertura vegetal está mais conservada, existindo ainda 45% da vegetação original de Mata Atlântica do município, sendo este o quinto município do Rio de Janeiro com a maior área dessa formação vegetal.

Nessa parte da bacia, segundo Lima (2008), a composição florestal da área, além da altitude, sofre a influência da posição da vegetação nas encostas e da declividade dos terrenos, podendo-se encontrar a floresta montana de encosta, ripária e secundária, de transição e Floresta Ombrófila Densa Montana e Alto-Montana.

Conforme diminuem as cotas altimétricas ao longo do rio, essa formação vai ocorrendo de forma mais espaçada, verificando-se na maior parte as florestas secundárias, algumas formadas em áreas remanescentes de pastagens. Ao longo do rio Macaé observa-se uma expressiva supressão da mata ciliar⁵ e encostas cobertas por pastagens.

² Fluviolacustre: Que diz respeito aos rios e aos lagos simultaneamente.

³ Olericultura: é a área da horticultura que abrange a exploração de hortaliças e que engloba culturas folhosas, raízes, bulbos, tubérculos, frutos diversos e partes comestíveis de plantas. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Olericultura>.

⁴ Podzol: São ricos em ferro e lima (de onde vem seu nome: pod: embaixo, zola: cinza). É formado sob umidade, condições frias e ácidas, especialmente em áreas ricas em quartzo. É um solo fértil, e por causa disso é muito devastado e utilizado para pastagens. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Podzol>.

⁵ Mata ciliar, vegetação ribeirinha, vegetação ripária ou vegetação ripícola é a designação dada à vegetação que ocorre nas margens de rios e mananciais. Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Mata_ciliar.

Geomorfologia e usos e ocupação da terra

A região em estudo apresenta uma diversidade de ambientes que vai desde a Serra do Mar, no limite norte, passando por montanhas, morrotes, morros, colinas, planícies até os cordões litorâneos (FVG, 2003). Em sua pesquisa, Marçal e Luz (2003), descrevem as unidades morfoesculturais constituintes da bacia do rio Macaé, que incluem escarpas serranas, maciços costeiros e superfícies aplainadas do litoral leste fluminense, planície aluvial, planície fluviolagunar e planície costeira.

Alpino et al. (2007) desenvolveram uma pesquisa na região do alto curso da bacia do rio Macaé. O objetivo do trabalho foi caracterizar o relevo da bacia por meio da identificação de classes dos parâmetros da eficiência do processo de drenagem, sejam eles: desnivelamento altimétrico, gradiente da bacia e densidade de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980). A compartimentação topográfica surge como uma técnica de fundamental importância por facilitar a identificação de áreas mais vulneráveis à ocorrência de determinados processos, como os de erosão do solo e de velocidade da drenagem de água, assim como, por agrupar sub-bacias em classes com características topográficas, ou domínios morfológicos semelhantes. A análise conjunta desses parâmetros fornece as bases para o conhecimento da dinâmica da bacia, onde cada parâmetro possui sua interferência no ambiente. Os resultados apresentados apontam para uma área de desnivelamento altimétrico elevado, chegando até 996 m em uma determinada sub-bacia. Essa distribuição de classes de desnivelamento revela a grande tendência dessa bacia em gerar fluxos intensos de seus cursos d'água, o que ameniza a pressão dos processos erosivos é a densidade florestal presente na região.

Na medida em que o homem se desenvolve economicamente e se apropria da natureza e de seus recursos, torna-se agente modificador dos processos morfodinâmicos existentes na bacia, a partir do momento em que seu modo de produção é responsável por desequilibrar a dinâmica dos fenômenos naturais. O desequilíbrio que vem sendo gerado na bacia do rio Macaé ocorre principalmente em função das alterações causadas pela eliminação da cobertura vegetal, gerando uma onda de degradações que vão desde o impacto no solo até a poluição e assoreamento dos recursos hídricos, principalmente na forma do canal do rio Macaé, que atualmente tem algumas de suas áreas tomadas pelo acúmulo crescente de sedimentos e degradação de suas margens (LIMA, 2008).

Hoje um dos principais problemas identificados na área da bacia estudada está ligado à conservação dos seus solos e às consequências da falta de planejamento das atividades agropecuárias.

Complementando o avanço econômico da região, no final dos anos 70 a indústria do petróleo instalou-se na bacia de Campos, desenvolvendo toda sua cadeia produtiva. A cidade de Macaé serve como base de apoio às atividades desenvolvidas nas plataformas

de exploração e produção de petróleo, causando significativas transformações na região do baixo curso da bacia do rio Macaé. A grande oferta de empregos atraiu um considerável contingente de pessoas e a cidade não consegue acompanhar e dar suporte ao crescimento desordenado. Muitos impactos ambientais e sociais surgiram a partir dessa forma insustentável de gerir a cidade, o que fez, dentre outros impactos, com que as áreas marginais do rio fossem ocupadas por moradias.

Entretanto, não foi relevado o fato de que muitas daquelas áreas estão na planície de inundação do rio e que sistematicamente é ocupada pelas águas nas épocas mais chuvosas.

Avaliação da qualidade e dos usos preponderantes da água

Em sua dissertação, Pinheiro (2008) realizou a caracterização dos usos e da qualidade da água na bacia do rio Macaé, por meio da análise de oito pontos distribuídos ao longo do rio Macaé, juntamente com a caracterização do uso e ocupação da terra. Foram avaliados os parâmetros: temperatura, turbidez, resíduo sólido total, pH, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), cloro livre e cloro total, fósforo total, nitrogênio (nitrato, nitrito e amoniacal), coliformes totais e *Escherichia coli*. Os valores do índice de qualidade das águas (IQA) calculados mostram que a qualidade das águas do rio Macaé pode ser considerada boa de forma geral. O parâmetro *E. coli* foi considerado crítico na bacia. De acordo com a autora, os principais usos da água hoje verificados no rio Macaé referem-se ao abastecimento de água para usos industriais e agrícolas e para consumo humano; à diluição de despejos domésticos e à geração de energia elétrica. A agricultura é responsável por grande parte da poluição difusa nos corpos hídricos, pois fertilizantes e defensivos agrícolas que não são absorvidos pela planta escoam para o curso d'água.

A Figura 1 especializa o cenário atual da qualidade de água ao longo do rio Macaé. De acordo com Pinheiro (2008), os trechos correspondentes a cada ponto coletado foram classificados a partir da análise de conformidade dos parâmetros de acordo com os padrões estabelecidos pela CONAMA 357 de 2005. Pinheiro (2008) ressalta a boa qualidade nas cabeceiras do rio, seguidas de trechos afetados pelo lançamento de esgoto sem tratamento, e intercalados com trechos de melhor qualidade.

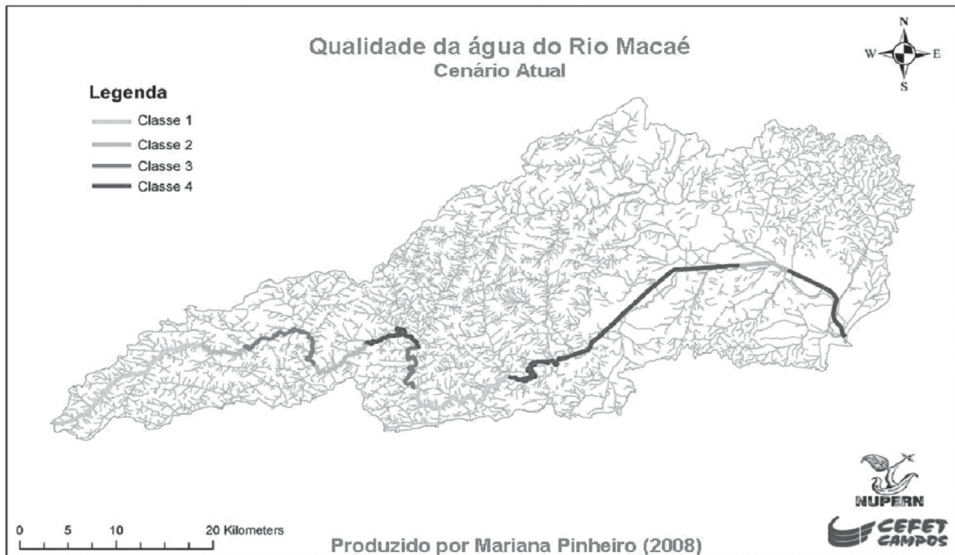


Figura 1: Cartograma da qualidade atual do rio Macaé baseado na conformidade dos parâmetros analisados com a Resolução CONAMA n. 357/2005.

Fonte: Pinheiro, 2008.

Aspectos climáticos

O regime hidrológico de uma região é determinado pelas suas características físicas, geológicas, topográficas e climatológicas. No clima, a precipitação e a evaporação contribuem de forma significativa no balanço hidrológico, enquanto a temperatura, a umidade e o vento são indispensáveis para suas formações. A topografia influencia o movimento na superfície com o auxílio da gravidade e estimula a precipitação em altitudes, através da ação desses fatores climáticos, inclusive a variação da pressão atmosférica. A geologia além de influenciar a topografia, define o local de armazenamento das águas provenientes da precipitação, com uma parte reservada na superfície e outra nos aquíferos⁶. A ascensão do ar úmido é fundamental para originar a precipitação, podendo acontecer com diferentes mecanismos (SALGUEIRO, 2005).

A área da bacia do rio Macaé possui características climáticas bastante diversificadas devido aos fatores físicos de sua geomorfologia, como altitude e disposição do relevo da bacia de drenagem. A presença do oceano, essa grande massa líquida, ameniza o comportamento dos principais elementos climáticos. O sistema atmosférico que prevalece na maior parte do ano é o Tropical Atlântico. Esse sistema é responsável pela estabilização do tempo e pelos períodos de anos secos. As alternâncias

⁶ Aquíferos: Um aquífero é uma formação ou grupo de formações geológicas que pode armazenar água subterrânea. São rochas porosas e permeáveis, capazes de reter água e de cedê-la. Esses reservatórios móveis aos poucos abastecem rios e poços artesianos.

com o sistema polar, durante o verão, trazem consigo tempo bom e brusco aquecimento, constituindo o fenômeno denominado aquecimento pré-frontal. A temperatura média anual fica em torno de 22 °C no verão e 19 °C no inverno. As medições efetuadas através de evaporímetros tipo Piché, indicam valores superiores a 1.100 mm ao longo da faixa litorânea, sendo a média anual para a localidade de Macaé igual a 1.137 mm. Assim, o município de Macaé está inserido na classificação climática como subtropical de umidade moderada, com inverno seco e verão úmido, conforme classificação de Köppen (FGV, 2003).

Os ventos úmidos vindos do oceano, ao serem barrados pelas elevações da Serra do Mar, precipitam-se e ocasionam as chuvas orográficas, comuns na Região Serrana. As chuvas orográficas caracterizam-se por serem de pequenas intensidades e de grandes durações, em pequenas áreas, localizadas próximas às elevações topográficas, como o caso da Estação Fazenda Oratório. A Figura 2 apresenta os totais anuais precipitados do ano de 1998 a 2008 dessa estação.

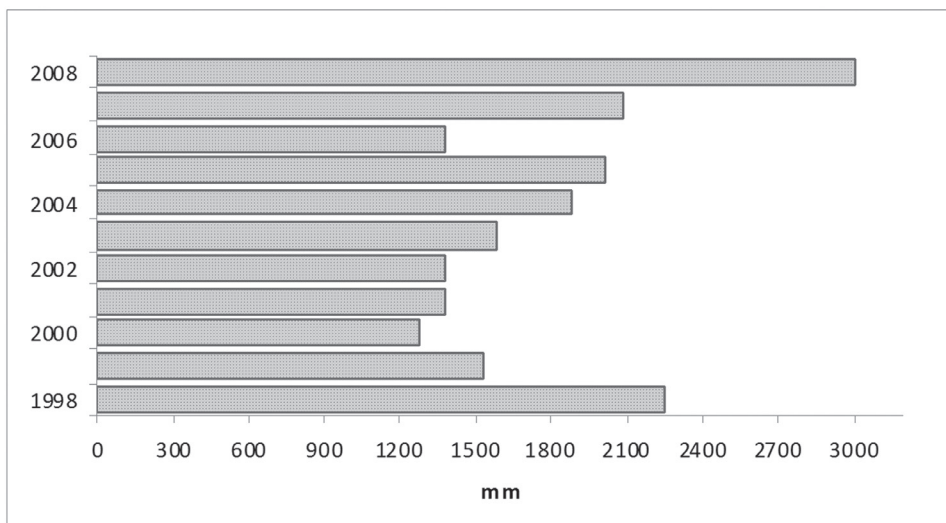


Figura 2: Totais anuais precipitados, ano 1998 a 2008 na estação Fazenda Oratório
Fonte: Elaboração própria, dados a partir de ANA, 2009

A sazonalidade anual ressalta os meses de maio a setembro como os de menores precipitações, havendo maior incidência das chuvas no trimestre de novembro a janeiro. Maior destaque deve ser dado ao potencial de chuvas intensas, concentradas em intervalos de pequena duração. A Figura 3 mostra a média de totais mensal do ano de 1998 a 2008.

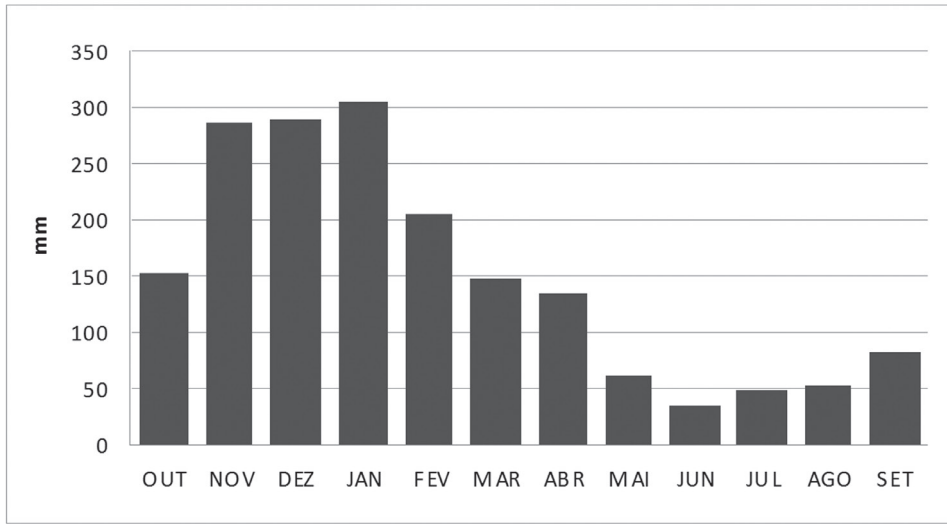


Figura 3: Média de totais mensais precipitados, ano 1998 a 2008 na estação Faz. Oratório
 Fonte: Elaboração própria, dados a partir de ANA, 2009

A ocorrência de chuvas muito intensas é um fator indutor de problemas ambientais, tais como inundações, deslizamentos e desabamentos nas áreas urbanas, assim como fortes processos erosivos quando a declividade do terreno é muito acentuada, mesmo nas áreas florestadas como no caso do alto curso da bacia (OLIVEIRA et. al., 2008). O estudo da intensidade da chuva, da sua energia cinética, do total de chuva e do seu momento (produto entre a massa e a velocidade da gota de chuva), associado ao estudo pedológico e da vegetação é prerrogativa à avaliação da erosividade de uma área (LIMA, 2008). O conhecimento dos totais precipitados constitui elemento importante na determinação das vazões superficiais e conseqüentemente suas disponibilidades para um perfeito gerenciamento do recurso hídrico (SALGUEIRO, 2005).

Comportamento estatístico das vazões fluviais

A utilização da teoria de probabilidades torna-se ferramenta principal na análise dos fenômenos hidrológicos aleatórios. A teoria de probabilidades apresenta duas ramificações de grande importância para a hidrologia aplicada: a estatística matemática e o estudo de processos estocásticos. A estatística matemática permite analisar um conjunto limitado de observações de um fenômeno aleatório e extrair inferências quanto à ocorrência de todas as prováveis realizações do fenômeno em questão. O estudo de processos estocásticos refere-se à identificação e interpretação da

aleatoriedade presente em tais processos, em geral por meio de modelos matemáticos que buscam estabelecer as possíveis conexões sequenciais, no tempo e/ou no espaço, entre suas realizações. As variáveis hidrológicas aleatórias são descritas por distribuições (modelos) de probabilidade, nas quais se procura estabelecer o padrão de variabilidade da população representada, a fim de estimar as probabilidades de ocorrência de certos eventos (CPRM, 2007). A modelagem matemática segue um raciocínio dedutivo e seu objetivo é propor uma ideia geral válida para quaisquer casos particulares. A partir desses estudos torna-se possível extrair da amostra os elementos suficientes para estimar o comportamento da variável estudada e concluir, por exemplo, com que probabilidade a variável hidrológica irá igualar ou superar certo valor de referência.

Conforme descrito em Gontijo Jr. (2007), os processos hidrológicos são representados por funções variáveis no tempo e no espaço. A representação gráfica dessas funções, usualmente, é feita por intermédio de curvas-padrão sendo as mais importantes o hidrograma, a curva de permanência e o histograma de frequência, conforme abaixo definidos:

a) hidrograma: representação temporal ou espacial do comportamento das variáveis hidrológicas, normalmente dispostas no eixo das ordenadas;

b) curva de permanência: relaciona a variável hidrológica (no eixo das ordenadas) com o tempo de permanência de seus valores, em porcentagem, no eixo das abscissas; e

c) histograma de frequência: relaciona os valores hidrológicos (abscissa) com a frequência com que ocorrem (ordenada). Para a análise dos histogramas de frequência, são utilizadas funções teóricas chamadas de densidade de probabilidade - FDP. A FDP representa, em determinado intervalo de tempo, a probabilidade de ocorrência de um evento. No caso da vazão fluvial, é muito utilizado o modelo probabilístico contínuo baseado na distribuição Log-Normal.

O tempo de concentração, como parâmetro hidrológico invariável, pode ser definido como o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante (em percurso hidráulico) da bacia até o seu exutório⁷ (CPRM, 2007).

A avaliação diária da vazão por um processo direto (medição e integração do campo de velocidades na seção transversal) é excessivamente oneroso e complicado, por isso é feito o registro dos níveis do rio, determinando uma relação biunívoca entre a vazão e o nível, denominada de curva-chave. Para o traçado da curva-chave em uma determinada estação, é necessário que disponha de uma série de medições de vazões no local e os correspondentes níveis (CARVALHO, 2008).

Assim, a essência da hidrologia estatística é extrair conclusões válidas a respeito do comportamento populacional, tendo-se em conta a incerteza devida à presença e à

⁷ Exutório: é um ponto de um curso d'água onde se dá todo o escoamento superficial gerando no interior uma bacia hidrográfica banhada por este curso. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Exut%C3%B3rio>.

magnitude dos erros de amostragem. Depois de consistidos, os dados passam a ganhar a confiabilidade desejada para então serem disponibilizados aos usuários.

No Brasil, as principais entidades produtoras de dados hidrológicos e hidrometeorológicos são a Agência Nacional de Águas (ANA), cuja parte da rede é operada pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Outras redes acessórias, de menor extensão, são mantidas por companhias energéticas ou por companhias de serviços de saneamento básico, entre outras. Grande parte dos dados hidrológicos brasileiros encontra-se disponível por meio do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas – Hidroweb, mediante acesso à URL <http://hidroweb.ana.gov.br>.

Redes de monitoramento

A *World Meteorological Organization* (WMO) – Organização Meteorológica Mundial define que uma rede de monitoramento fluviométrico ótima é um sistema de monitoramento de dados hidrometeorológicos planejado visando caracterizar e definir perfeitamente os parâmetros utilizados no planejamento, controle e gerenciamento dos recursos hídricos, de forma direta ou por interpolação em quaisquer pontos da bacia. Nessa perspectiva, a rede é eficiente quando há a instalação adequada das estações, em especial na densidade e na distribuição espacial dessas. Os dados devem oferecer suficiente precisão das características básicas dos elementos hidrológicos para fins práticos (WMO, 1994 apud GONTIJO Jr., 2007). Uma rede ótima deve conter também uma estação sedimentométrica para cada estação fluviométrica, medindo a descarga total de sedimento ao oceano ou medindo a erosão, transporte e deposição de sedimento numa bacia (PAIVA e PAIVA, 2003).

A rede de monitoramento da qualidade da água permite avaliar as condições qualitativas do manancial. A qualidade de água é um conceito relativo que depende diretamente do uso a que se destina. Desta forma, Porto (2000) destaca que as redes de monitoramento de tendências da qualidade da água possuem relação direta com a verificação da eficácia do instrumento de enquadramento. A Resolução do CONAMA nº 357/2005 classifica as águas do território brasileiro (BRASIL, 2005). O monitoramento ideal integra a avaliação das condições da qualidade da água em conjunto com o monitoramento hidrológico (KOIDE e SOUZA, 2003). Também um projeto ideal deve estar baseado na maximização econômica dos dados que são coletados, pois a instrumentação e operação de rede de estações é muito onerosa.

Rede de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Macaé

O Estado do Rio de Janeiro é dividido em dez regiões hidrográficas, das quais cinco fazem parte das bacias litorâneas (Sub-bacia 59): RH Baía da Ilha Grande; RH Guandu; RH Baía da Guanabara; RH Lagos São João; e RH Macaé e Rio das Ostras. No inventário de estações da ANA, constam 317 estações fluviométricas na Sub-bacia 59 (bacias litorâneas), das quais apenas 43 estão em operação. A Figura 4 espacializa as Estações de Monitoramento Fluviométrico na Bacia do Rio Macaé.



Figura 4: Cartograma das Estações de Monitoramento Fluviométrico na Bacia do Rio Macaé
Fonte: Elaboração Própria, 2009

Objetivos da rede de monitoramento

O tipo de informação desejada depende diretamente dos objetivos da rede, ou seja, os objetivos a serem atingidos são em função dos usos a se fazer das informações disponibilizadas por ela. Os objetivos de gestão visam a obter informações que possam subsidiar a tomada de decisão quanto aos usos dos recursos hídricos em determinada bacia, atendendo aos seguintes interesses: i) Subsídios para o planejamento de uso dos recursos hídricos, atendendo aos múltiplos usuários, às metas de qualidade e quantidade expressas no enquadramento dos corpos d'água e à compatibilização com as demais políticas públicas correlatas; ii) Subsídios à regulação dos usos, principalmente quanto: à alocação dos recursos hídricos, à autorização de seus usos por intermédio da outorga de direito, à fiscalização dos usos e à investigação de fontes clandestinas; e iii) Monitoramento preventivo para sistemas de alerta.

Em relação ao monitoramento da qualidade da água, Koide e Souza (2003) citam como exemplo de objetivos: i) verificar a conformidade com padrões de qualidade da

água para usos diversos; ii) determinar a eficiência de processos de tratamento e de métodos de controle à poluição, como também fornecer os dados para a formulação de tais programas; e iii) fornecer informações para o planejamento do desenvolvimento dos recursos hídricos. E também Lanna (2004) cita, como objetivo, o acompanhamento da evolução da qualidade no manancial ao longo do tempo, como reflexo do uso do solo na bacia e de medidas de controle de poluição adotadas; e a avaliação do ambiente aquático, considerando além da água, sedimentos e material biológico. Nesse sentido, o monitoramento da qualidade da água pode ser utilizado para orientar os usos, o controle e a preservação do recurso.

Métodos e procedimentos para estruturação da rede de monitoramento

A literatura pertinente possui poucos procedimentos e métodos sistematizados, que sejam capazes de direcionar ao adequado planejamento de redes de monitoramento de águas superficiais. Para cada etapa de estruturação de uma rede existem métodos e procedimentos específicos, entretanto, eles não estão relacionados diretamente com os objetivos aos quais a rede deve atender. De um modo geral, os procedimentos devem responder às perguntas balizadoras da estruturação da rede (WMO, 1994 apud PAIVA e PAIVA, 2003):

- Quais variáveis hidrológicas necessitam ser observadas?
- Onde elas precisam ser observadas (pontos das observações)?
- Qual deve ser a frequência de observação?
- Qual deve ser o período do programa de observação?
- Com que precisão devem ser observadas?
- Qual tratamento para os dados?

Localização das estações

O comportamento das vazões em uma determinada área de drenagem está mais diretamente relacionado com as variações de precipitações e da cobertura do solo quanto menor é essa área. Assim, a escala espacial a ser considerada para a coleta dos dados determina os fenômenos e objetivos atendidos por determinada rede fluviométrica.

Conforme WMO (1984), o objetivo de uma rede em uma região é permitir a interpolação entre os dados provenientes de estações distintas, a fim de determinar com suficiente precisão para fins práticos as características desses elementos hidrológicos em qualquer lugar da região (em quantidade suficiente para definir a distribuição estatística do elemento de estudo).

Segundo Salgueiro (2005), para organizar formalmente uma rede geralmente constata-se a existência de algumas estações em funcionamento. Quando essas estações

foram operadas durante um longo tempo e geradas séries confiáveis, conclui-se que deverão continuar operando uma vez que forneceram informações necessárias ao desenvolvimento da rede formal que se deseja.

Para análise e otimização de redes pluviométricas, tem sido muito utilizado o método geoestatístico, o qual permite avaliar os fenômenos naturais considerando suas características aleatórias e espaciais (GONTIJO JR., 2007). Soares (2001) relaciona o dimensionamento do número mínimo de estações pluviométricas com a área de drenagem da bacia e ainda destaca o procedimento generalizado para o dimensionamento de redes de monitoramento pluviométricas, o qual requer o conhecimento da correlação espacial da precipitação.

O método Sharp é adequado para redes de acompanhamento de longo prazo e/ou para localizar o trecho ou fonte poluidora responsável pela violação dos padrões de qualidade da água na bacia. Gontijo Jr. (2007) também analisa o método e conclui que o mesmo “permite inclusive local estações para objetivos hidrológicos, nas escalas temporais necessárias a estudos de alterações climáticas e que atendam aos usos frequentes de recursos hídricos”. Esse método consiste na análise topológica da rede de drenagem, a fim de dividir a bacia em porções relativamente iguais quanto ao número de tributários contribuintes, para assim definir a sequência ótima de amostragem. Essa divisão inicia-se pelo ordenamento dessa rede de drenagem. Lima (2004) e Gontijo Jr. (2007) descrevem de forma mais detalhada esse método.

Outro método também bastante empregado utiliza o conceito de entropia. Entropia é uma variável que mede o grau de evolução de um sistema físico. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, qualquer sistema físico isolado avançará espontaneamente na direção de uma desordem sempre crescente e a entropia é a medida dessa desordem (CAPRA, 2006). Essa definição, quando adaptada para sua aplicação em hidrologia, pode ser interpretada como o grau de ramificação de uma rede de drenagem (GONTIJO JR., 2007). Uma das principais propriedades da entropia é que o seu valor máximo, ou a máxima quantidade média de informação por mensagem ocorre quando todos os eventos são igualmente prováveis e independentes. Neste caso, as probabilidades individuais de ocorrência são todas iguais e cada mensagem contribui com a mesma quantidade de informação. Essa propriedade coincide com a noção intuitiva de que a máxima informação deve ser transmitida quando os eventos são aleatórios ou igualmente prováveis. Se o caso de eventos igualmente prováveis não ocorre, a informação média diminuirá em relação à máxima (SOARES, 2001). Assim, quanto mais desiguais forem as probabilidades de ocorrência dos dados numa série ergódica (estacionária), menor será a quantidade média de informações da série.

A teoria da informação sugere que se possa medir a redundância ou sobreposição de informações contidas na série como a diferença entre a máxima informação que

poderia ser transportada e a informação média verificada na série. Essa redundância própria de cada série é calculada pela equação (1).

$$H(x) = (1/2) \ln(2\pi) + (1/2) \ln(\sigma^2) + (1/2) - \ln(\Delta X_i) \quad (1)$$

Na qual:

$H(X)$ = entropia própria de X

σ^2 = variância da série amostral

ΔX_i = intervalo de amostragem dos dados

O aumento da variância equivale ao aumento da entropia própria da série, pois, a entropia será grande quando os valores dos eventos possuírem alta variabilidade, ou seja, quando há muitos resultados prováveis, o valor esperado é muito incerto.

Por outro lado, quando são analisadas duas séries de dados sequenciais, elas podem conter informações independentes ou trazer redundâncias nas informações que transportam. Nesses casos, a quantidade de informação transportada pelas duas séries é menor que se quantificadas separadamente. Por exemplo, ao compararmos duas séries fluviométricas sequenciais, haverá uma quantidade de informação que foi “transportada” da série a montante para a de jusante. A essa “redundância” denomina-se entropia condicional. Uma maneira de expressar a informação sobre a média é utilizando-se de uma distribuição de probabilidades e definindo-se uma nova quantidade chamada entropia da distribuição.

Para o cálculo da entropia condicional, Soares (2001) propõe a equação (2):

$$H(X_1, X_2, \dots, X_{j-1} | X_j) = H(X_1, X_2, \dots, X_{j-1}, X_j) - H(X_j) \quad (2)$$

Em que:

$$H(X_1, \dots, X_j) = (j/2) \ln(2\pi) + (1/2) \ln |C| + (j/2) - j \ln(\Delta X)$$

Nas quais:

$H(X/X_j)$ = entropia condicional de X , dado X_j

J = número de amostras (ou estações)

$|C|$ = determinante da matriz de covariâncias C (que mede as dependências entre as séries amostrais associadas)

ΔX = intervalo de amostragem dos dados, o mesmo para todas as estações

Determinação das variáveis monitoradas, da frequência e do período de amostragem

É importante conhecer a ocupação da bacia e os usos preponderantes de seus recursos hídricos, para se ter uma noção preliminar das principais variáveis a selecionar. Nesse caso o que se busca são os indicadores mais adequados para traduzir as

informações acerca do estado e da evolução do comportamento das águas superficiais. Em relação à qualidade da água, Lima (2004) sugere a priorização das variáveis com maior probabilidade de exceder os limites estabelecidos na legislação, em específico os dispostos na Resolução CONAMA 357/05. De acordo com Koide e Souza (2003), a seleção das variáveis dependerá dos métodos e sistemas de análise dos resultados escolhidos, assim como dos objetivos da rede. Os autores citam como exemplo que se for selecionado um modelo matemático de simulação para a interpretação dos dados, o conjunto de variáveis consideradas deve ser medido no monitoramento. Outro exemplo é o caso da verificação da adequação aos padrões de balneabilidade, em relação à implicação dos objetivos do uso dos dados nas variáveis da qualidade da água, o qual deve contemplar normalmente os índices de contaminação fecal e os sólidos em suspensão.

Precisa-se saber o número ideal de amostras para conseguir um grau de certeza mínimo aceitável nas conclusões. A frequência e a periodicidade de amostragem são função da variabilidade da qualidade da água no ecossistema (KOIDE e SOUZA, 2003; LIMA, 2004). A vazão exerce forte influência na maioria das variáveis indicadoras de qualidade da água. Desta forma, qualquer programa de monitoramento da qualidade da água deve estar associado ao monitoramento da vazão. As variáveis mais influenciadas pela vazão são os sólidos suspensos; o fósforo; pesticidas; entre outros relacionados aos sedimentos (LIMA, 2004). A determinação da frequência de amostragem pode também ser realizada com base estatística, ou seja, em estudos estatísticos dos erros de amostragem, que produzem o número mínimo de amostras. O cálculo desse número depende do conhecimento prévio do comportamento da qualidade da água no local, considerando uma distribuição de probabilidade das concentrações de cada característica de qualidade da água a ser medida (KOIDE e SOUZA, 2003).

Existem poucas pesquisas sobre a duração do período de amostragem. De acordo com Gontijo Jr. (2007), as características do regime fluvial têm forte dependência com a escala temporal. A regulação de usos para a gestão e o acompanhamento da implementação de planos de recursos hídricos são exemplos de usos que necessitam de informações em prazo inferior a trinta anos. Soares (2001) menciona que a duração de um programa de monitoramento pode ser definida em função dos objetivos da rede, da representatividade da variabilidade do fenômeno em estudo e dos recursos disponíveis. Cita inclusive critérios práticos para essa determinação, com os quais se pode pensar em uma duração mínima de um ano hidrológico, para representar as variáveis de qualidade da água que são influenciadas pela vazão, e em até cinco anos para avaliar a tendência do fenômeno.

Metodologia

Inicialmente foi realizado o diagnóstico da bacia do rio Macaé para subsidiar os aspectos técnicos da avaliação e reestruturação da rede, com pesquisas bibliográficas e visita a campo. A proposta do trabalho foi apresentada no Comitê de Bacia da área em estudo de forma a se conhecer o estado da arte do monitoramento na bacia e o estágio de interação de informações entre as representações. A revisão bibliográfica permitiu o embasamento teórico-conceitual, conhecendo os fatores que interferem na hidrologia e na qualidade de água e reunindo os procedimentos de avaliação das redes e os métodos estatísticos para interpretação dos dados.

O procedimento escolhido utiliza o conceito de entropia e foi proposto por Soares (2001) e ratificado por Gontijo Jr. (2007). A escolha desse procedimento deve-se em função ser empregado na avaliação da qualidade dos dados coletados em cada uma das estações de monitoramento, assim como para a verificação da redundância existente nas diversas séries de dados visando à otimização das estações ou o redimensionamento da rede sob análise. Os trabalhos de Soares (2001) e Gontijo Jr. (2007) estabelecem um fluxograma das etapas a serem obedecidas para a aplicação do método. A primeira etapa consiste em selecionar as estações, determinar o período de análise da série histórica e o intervalo de amostragem de cada série. Optou-se por determinar um período de 10 anos, considerando um período expressivo e adequado quanto sua representatividade, como sugerido por Tucci (2004) ao afirmar que para fins de gestão a série histórica deve ser de 10 a 30 anos. Definidas as condições mínimas de aceitabilidade dessas séries (tempo de leitura e área mínima de drenagem), podem ser construídas as funções distribuição de frequência de cada uma das séries. A análise das diversas funções-distribuição de uma bacia permite que se identifique a função-distribuição padrão, no presente estudo utilizou-se o *software*⁸ estatístico Minitab 15 para essa análise. Apenas aquelas bacias cujo comportamento estatístico hidrológico das distribuições de frequência das séries de vazões assemelha-se à função Log-Normal possuem equações já desenvolvidas para a utilização do método.

Quanto ao monitoramento da qualidade, utilizou-se o arcabouço legal de gestão da água, pois a legislação prevê procedimentos e limites de aceitação dos parâmetros de qualidade da água, assim como os responsáveis pelas análises.

Resultados e Discussão

Frequentemente, as estações de monitoramento antigas foram instaladas com o intuito de estudar o potencial hidrelétrico de alguns cursos d'água, localizando-

⁸ Software: é uma sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um dado/informação ou acontecimento. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Software>.

se apenas nas bacias de maior interesse para geração hidrelétrica, com áreas de drenagem superiores a 500 km². Estima-se que esse seja o objetivo original da rede de monitoramento estudada, hoje sob gestão da ANA. No entanto, o presente trabalho propôs-se a avaliar a rede, tendo em vista a disponibilidade hídrica e o acompanhamento da condição e controle da qualidade da água. Esses dados são a base para instruir as ações de gestão ambiental. Desta forma, a aquisição de dados de qualidade e quantidade integrados da água permite o ajuste e calibração de modelos de simulação e de sistemas de suporte a decisão.

Dentre as estações existentes na bacia do rio Macaé, ativas ou inativas, somente as estações em operação no alto curso da bacia atendem aos requisitos de tempo de leitura e área mínima de drenagem. As estações 59139500 UHE Macabu-Jusante e 50142000 Glicério (PCH), ambas localizadas no rio São Pedro, também estão em operação, entretanto cabe lembrar que esse rio sofre dois represamentos, com séries hidrológicas não estacionária e heterogênea no tempo, com descargas não regularizadas e regularizadas, respectivamente antes e depois da implantação daqueles reservatórios a montante, inviabilizando assim a análise de suas séries históricas. Foram então analisadas as estações 59120000 Macaé de Cima, 50125000 Galdinópolis e 59135000 Piller. Sob uma perspectiva empírica, estima-se que, de fato, a redundância de informações seja mais alta nas séries das estações da mesma região geográfica, como no caso do alto curso da bacia. Com isso, a presente pesquisa procurou estabelecer a priorização das informações geradas nas estações do alto curso da bacia, hierarquizando as três estações em grau de importância. É fundamental destacar a carência e a importância de informações do comportamento do rio em seus médio e baixo curso. No baixo curso, a Usina Termoelétrica Norte Fluminense instalou uma estação telemétrica desde 2005.

A variável analisada foi a vazão específica (razão da vazão fluviométrica pela área drenada em determinada seção do curso d'água). A vazão específica calculada nos trechos da rede de drenagem pode caracterizar regiões homogêneas com relação aos aspectos hidrológicos e é muito útil na extrapolação de modelos probabilísticos ou de registros na ausência de dados suficientes em determinada bacia correlacionada (GONTIJO JR., 2007).

Para verificar a ergodicidade⁹ da série foi utilizada a Identificação de Distribuição Individual. A Figura 5 apresenta a representação gráfica do teste para a Estação Galdinópolis, por exemplo, comprovando o comportamento da distribuição Log-Normal da série.

⁹Ergodicidade: Em física e termodinâmica, a hipótese de ergodicidade estabelece que, sobre um período prolongado de tempo, o tempo de permanência em uma dada região do espaço de fase de microestados com a mesma energia é proporcional ao volume da região, ou seja, todos os microestados acessíveis são igualmente prováveis ao longo de um período de tempo prolongado. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Hip%C3%B3tese_de_ergodicidade>

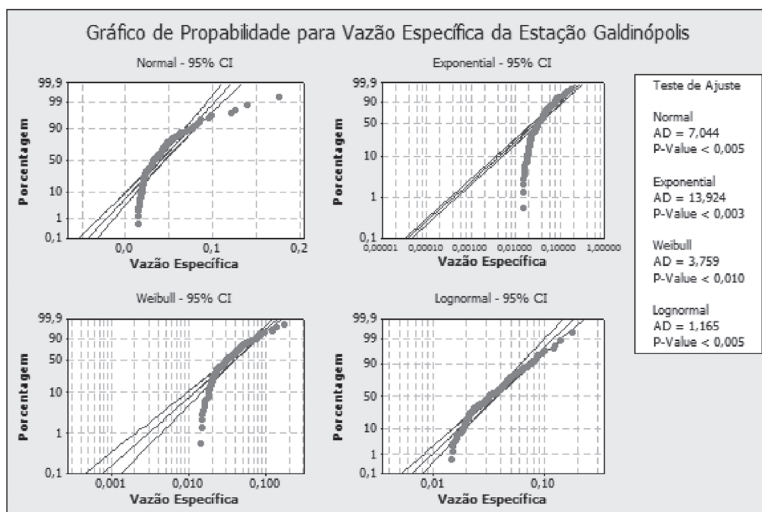


Figura 5: Identificação de Distribuição Individual da Estação Galdinópolis

Fonte: Elaboração Própria, 2009

Esse procedimento resulta na hierarquização final das estações utilizando-se os conceitos de entropia própria e condicional. Fisicamente, o significado desse transporte de informação é a dependência de uma estação de monitoramento com relação à informação gerada pela outra, ou seja, quanto maior o transporte de informação entre as estações, quando estas se associam, mais redundante ou desnecessária será a informação. Quando o valor do transporte de informações for negativo estará identificado que a estação é muito necessária para a produção das informações relevantes na rede (GONTIJO Jr., 2007). A Figura 6 apresenta os resultados dessa etapa, com a hierarquia final das estações, entropia própria de cada série (EP) e o menor transporte de informação (TR) de cada estação condicionada à outra.

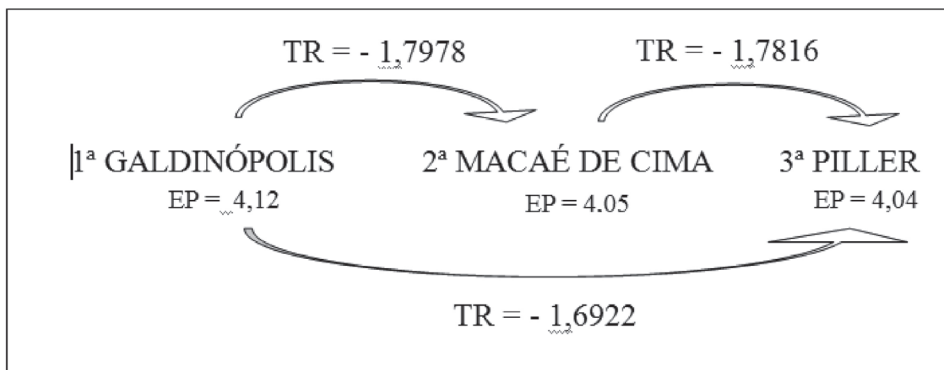


Figura 6: Hierarquização final das estações, com o mínimo transporte de informações

Fonte: Elaboração Própria, 2009

O resultado apresentado comprova a importância das três estações de medição instaladas no alto curso da bacia, contrariando a hipótese inicialmente estabelecida. Alinhado ao resultado apresentado, Martins (1967) apud Gontijo Jr. (2007) afirmam que as variações das vazões instantâneas serão tanto maiores e dependerão tanto das chuvas de alta intensidade quanto maior a declividade do terreno, configurando-se como uma das razões da relevância dos dados para a região. Assim, atrelado à importância das estações para o monitoramento das vazões está o monitoramento das chuvas no alto curso, representado pela Estação Faz. São João, Estação de Galdinópolis e Estação de Piller.

Uma alternativa para o monitoramento da vazão no médio curso é instalar uma estação simples (linímetro) a montante da captação de água utilizado pelo Sistema Intermunicipal Casimiro/ Rio das Ostras, próximo à antiga Estação Ponte do Baião. A coleta dos dados deve também obedecer uma frequência diária, às 7 e às 17 horas.

Quanto à qualidade da água, o arcabouço legal pertinente visa assegurar a potabilidade, a balneabilidade e o enquadramento, por meio da Portaria 518/04, das Resoluções 274/00 e 357/05, respectivamente. Aplicando-se os procedimentos previstos nessas leis é possível determinar os pontos de monitoramento, a frequência de amostragem e as variáveis analisadas.

Uma proposta do sistema integrado de monitoramento é apresentada na Figura 7, com a espacialização das redes Fluviométricas, Pluviométricas e de Qualidade na Bacia do Rio Macaé.



Figura 7: Cartograma da Rede de Monitoramento proposta para a bacia do rio Macaé
Fonte: Elaboração Própria, 2009

Foi constatado que além da geração e tratamento dos dados, o compartilhamento de dados e informações torna-se premissa ao bom encaminhamento da gestão da bacia hidrográfica e principalmente ao entendimento do comportamento dos fenômenos hídricos pelos gestores e representações do Comitê de Bacia do Rio Macaé, facilitando a articulação e a comunicação entre esses atores, de forma a fortalecer a gestão integrada e descentralizada dos recursos hídricos da bacia em estudo.

Conclusões e Recomendações

A análise consorciada dos dados de chuvas, vazão e qualidade permite a adoção de programas e modelos computacionais que auxiliam as tomadas de decisão e norteiam a gestão dos recursos hídricos. Entretanto, observou-se a ausência de diretrizes para o planejamento e operação do Sistema de Informações. A sua estruturação com uma coordenação unificada e com a alimentação dos dados georreferenciados¹⁰ de forma descentralizada é um passo elementar na consolidação da gestão, além de democratizar as informações em linguagem acessível aos gestores, representações e sociedade em geral. A escolha pelo Comitê de uma entidade dinamizadora dessa rede permite captar os dados brutos de forma integrada, tratá-los e disponibilizá-los. Essa entidade pode ser de prestação de serviços; de ensino, pesquisa e extensão; ou mesmo a própria agência de bacia, por exemplo.

Outro aspecto de destaque frente ao impacto do crescente processo de erosão e assoreamento¹¹ que a bacia do rio Macaé vem sofrendo, é a relevância do monitoramento sedimentométrico para o cálculo da descarga sólida e transporte de sedimentos em rios. Esses dados possibilitam identificar as áreas mais críticas de degradação, assim um trabalho articulado de recuperação dessas áreas degradadas e um controle mais intensivo ao desmatamento podem ser considerados uma alternativa eficaz na melhoria de todo o sistema socioambiental dessa bacia.

Referências

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2011. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2006.asp>. Acesso em: 2011.

BRASIL. Lei das Águas. Lei n° 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília. DOU 09.01.1997.

¹⁰ Georreferenciamento ou georreferenciação de uma imagem ou um mapa ou qualquer outra forma de informação geográfica é tornar suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Georreferenciamento>.

¹¹ Assoreamento: é a obstrução, por sedimentos, areia ou detritos quaisquer, de um estuário, rio, ou canal. Pode ser causador de redução da correnteza. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Assoreamento>.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

CARVALHO, T. M. Técnicas de Medição de Vazão por Meios Convencionais e Não Convencionais. RBGF, Revista Brasileira de Geografia Física, Recife-PE, v. 1, n. 1, p. 73-85, maio/ago. 2008.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Belo Horizonte. In: NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Plano Preliminar de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Macaé: diagnóstico da situação dos recursos hídricos. SEMADUR/SERLA/UTE Norte-Fluminense, Rio de Janeiro-RJ, 2002.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Relatório de sistematização dos dados e estudos existentes na bacia. SEMADUR/SERLA/UTE Norte-Fluminense, Rio de Janeiro-RJ, 2003.

GONTIJO JR., W.C. Avaliação e redimensionamento de redes para o monitoramento fluviométrico utilizando o método Sharp e o conceito de entropia. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 2007.

KOIDE, S., SOUZA, M. Monitoramento da Qualidade da Água. In: PAIVA, J.B.F., PAIVA, E.M.C. (Org). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: Ed. Evangraf, ABRH, 2003.

LANNA, A. E. Gestão dos Recursos Hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2004.

LIMA, J. B. M. Estudo de Redes de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais: o Caso da Bacia do Rio Descoberto. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

LIMA, L. D. M. Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGG Instituto de Geociências – UFRJ, 2008.

MARÇAL, M. S.; LUZ, L. M. Geomorfologia Aplicada a Classificação de Unidades de Paisagem na Bacia do Rio Macaé - Litoral Norte Fluminense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro, 2003. Anais ... Rio de Janeiro : UERJ, 2003.

PINHEIRO, M.R. Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos aplicada à bacia hidrográfica do Rio Macaé. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos. Campos do Goytacazes. 2008.

RIO DE JANEIRO. Fundação Superintendência de Rios, Lagos e Lagoas (SERLA). Portaria SERLA n. 567, de 07 de maio de 2007. Estabelece critérios gerais e procedimentos técnicos e administrativos para cadastro, requerimento e emissão de Outorga de Direito de Uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências.

SALGUEIRO, João Hipólito Paiva de Britto. Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: estudo de Caso na bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco, 2005. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestra_salgueiro.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2009.

SOARES, P.F. Projeto e avaliação de desempenho de redes de monitoramento de qualidade da água utilizando o conceito de entropia. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. USP. São Paulo, 2001.

TUCCI, C.E.M. (Org). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4.ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH, 2007.

WMO. Guide to hydrological practices: data acquisition and processing, analysis, forecasting e others applications. 15th ed. WHO, 1994. (World Meteorological Organization, n. 168).