

AQUORA – Sistema Multi-Usuário para Gestão de Recursos Hídricos

Felipe de Azevedo Marques, Demetrius David da Silva, Márcio Mota Ramos, Fernando Falco Pruski

Departamento de Engenharia Agrícola – UFV

engmarx@terra.com.br, demetrius@funarbe.org.br, mmramos@ufv.br, ffpruski@ufv.br

Recebido: 18/02/08 - revisado: 26/03/08 - aceito: 09/11/09

RESUMO

Informações mais precisas e confiáveis sobre os recursos hídricos, em tempo real, são fundamentais para permitir a antecipação de ações importantes para o processo de gestão das águas. Com recursos dos Sistemas de Informações Geográficas e avanços da informática e telecomunicações, é possível gerenciar os recursos hídricos de forma mais eficiente e conforme os princípios estabelecidos na Política Nacional de Recursos Hídricos. O sistema integrado em rede, denominado AQUORA, baseia-se na estruturação de um acervo das informações necessárias à gestão de outorgas de uso da água, em um banco de dados simples e on-line, aplicado, inicialmente, à bacia do rio Doce. Este artigo apresenta a metodologia desenvolvida para a construção da base de dados hidrológicos e o desenvolvimento de um sistema de gestão on-line, integrando a base georreferenciada aos formulários dos processos de outorga de direito de uso. Utilizando imagens orbitais e séries históricas de estações pluviométricas e pluviométricas, estimou-se a disponibilidade hídrica trimestral ao longo de toda a hidrografia. A consideração do período trimestral mostrou-se eficaz na flexibilização dos critérios de outorga e a base hidrológica georreferenciada, o pilar para um sistema de gestão orientado às bacias hidrográficas. O sistema de gestão on-line, além de armazenar as informações pertinentes aos processos de outorgas e obter a disponibilidade hídrica mensal para qualquer seção da rede hidrográfica, é capaz de avaliar o impacto da concessão de uma nova outorga com base na disponibilidade a jusante e manter atualizada a disponibilidade hídrica em toda a rede hidrográfica.

Palavras-chave: Sistemas de informação, outorga, controle em tempo real, rio Doce.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda de água para satisfazer seus múltiplos usos tem contribuído para o aumento de seu consumo e, conseqüentemente, dos conflitos entre usuários em diversas bacias hidrográficas do Brasil. Neste sentido, é crescente a discussão sobre a melhor forma de gerenciar e normatizar o uso da água para atender aos seus mais diferentes fins, de modo a garantir a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos pelas gerações futuras.

Além de considerar a água como um bem de domínio público e adotar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, instituída pela Lei n.º 9.433, de 1997 (Brasil, 1997), aponta que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e da sociedade.

Entre os instrumentos da PNRH, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos se destaca como um dos mais importantes, tendo como objeti-

vos principais assegurar o controle quantitativo e qualitativo da água, bem como o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Para que os órgãos gestores possam analisar os pleitos de outorga, de forma segura e eficaz, é necessário ter conhecimento da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica e sistematizar o processamento das informações referentes aos usos múltiplos, avaliando os impactos gerados a partir de determinado cenário de utilização da água.

Assim, outro instrumento de gestão, muito importante, é o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, que apresenta como princípios básicos: a) descentralização da obtenção e produção de dados e informações; b) coordenação unificada do sistema; e c) acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade (Brasil, 1997).

Embora tenha havido grandes avanços no setor, a gestão deste recurso público continua fragmentada entre os Estados e os processos de outorga centralizados nas entidades gestoras Estaduais, quando a bacia hidrográfica é que deveria ser a unidade de planejamento e gestão.

Outro ponto importante é que atualmente, as informações necessárias ao controle dos usos dos recursos hídricos permanecem armazenadas em formato estático em instituições de pesquisa e gestão, dificultando a recuperação e utilização por parte dos gestores e usuários.

Uma reflexão sobre o papel das ciências no apoio ao manejo racional do meio ambiente, por meio da aplicação dos instrumentos modernos e eficientes de que se dispõem na atualidade, sugere que as inovações científicas devem nortear os processos de tomada de decisões, a formulação de políticas e aproximar a ciência da sociedade (CNUMAD, 1992). No caso dos recursos hídricos, percebe-se ainda, o caráter estratégico das pesquisas aplicadas que buscam cruzar tecnologias de diferentes áreas de conhecimento para uma gestão mais eficiente.

O desenvolvimento do sistema denominado AQUORA aliou os avanços da hidrologia, do geoprocessamento e da gestão da informação com o objetivo de criar um sistema computacional fundamentado nos conceitos da democratização da informação, de unificação dos cadastros de usuários de água e na automação dos processos de outorga, respeitando os critérios definidos por cada órgão gestor de recursos hídricos.

Dessa forma, o artigo apresenta o desenvolvimento do sistema multi-usuário (cliente-servidor) para gestão integrada e participativa dos recursos hídricos, denominado AQUORA. São discutidos os métodos e resultados desde a construção da base de dados hidrológicos até a validação das rotinas automáticas em ambiente Web.

Os métodos descritos neste artigo visam a aperfeiçoar a eficiência de um sistema de informações, no que se refere à qualidade das informações contidas no banco de dados. Dessa forma, apresenta-se uma metodologia para construção da base de dados hidrológicos, aplicada ao sistema de controle de usos da água, AQUORA.

A metodologia desenvolvida é aplicável a qualquer bacia e sugere a criação de novos sistemas capazes de expandir e modernizar a participação dos múltiplos usuários na gestão integrada dos recursos hídricos. Como demonstração é apresentada uma aplicação do sistema para o controle das outorgas superficiais e atualização da disponibilidade hídrica na bacia do rio Doce, onde atuam diferentes organismos gestores.

GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Nos últimos 10 anos o Brasil vem avançando, não sem grandes dificuldades, na implantação

de um sistema de gerenciamento de recursos hídricos descentralizado, participativo e que caminhe para a auto-sustentabilidade. São princípios estabelecidos pela lei federal de recursos hídricos e nas leis estaduais da mesma natureza. Trata-se de um modelo inovador, sem similar no mundo, que tem exigido delicadas negociações entre usuários de recursos hídricos, sociedade civil e gestores públicos (CIDS-FGV, 2003).

Tucci (2006) ressalta a importância da criação de instituições como a Agência Nacional das Águas - ANA e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, mas alerta que este arcabouço institucional é a condição necessária, mas não suficiente para alcançar o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos, pois o marco institucional é um processo e não o fim em si próprio.

A implementação da PNRH defronta-se com a grande necessidade de integração entre os conhecimentos científicos e tecnológicos (ANA, 2008). Analisando o estágio atual da PNRH, a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente - SRH/MMA incentiva o desenvolvimento de ferramentas de suporte à decisão com a participação e a colaboração dos diversos atores sociais envolvidos no processo de gestão, em todo o Brasil (SRH/MMA, 2006).

Houve grandes avanços, como a criação de Comitês de Bacias; o Fundo Setorial de Recursos Hídricos - CT-HIDRO, com maior formação de pesquisadores e pesquisas no setor; e o significativo aumento da percepção por parte da sociedade com relação à gestão da água (Tucci, 2006).

Mas apesar dos avanços, alguns desafios ainda permanecem. Dentre eles destaca-se a questão da dominialidade. Como uma bacia possui corpos d'água de diferentes dominialidades (rios federais e rios estaduais) há uma assimetria na implantação da outorga e cobrança pelo uso da água (Thomas, 2006). Como, então, evoluir a gestão dos usos dos recursos hídricos se as gestões são fragmentadas?

Há a necessidade de sistemas unificados de gestão de recursos hídricos, baseados nos preceitos da PNRH. Sistemas automáticos capazes de considerar os diferentes critérios na concessão de outorgas, adotando a bacia hidrográfica como a unidade de planejamento, e capazes de descentralizar a gestão incorporando transparência e de promover a participação pública na gestão dos recursos hídricos.

Nesse sentido, entende-se que a proposta do sistema de gestão on-line, apoiado na construção de uma base de dados hidrológicos consistente, específica para cada bacia hidrográfica, é estratégica por proporcionar uma visão abrangente da situação dos

recursos hídricos além de permitir o acompanhamento sistemático dos usos múltiplos, fundamentando sobremaneira o controle de usos da água por meio da outorga de direito de uso.

Vazões mínimas de referência e critérios de outorga

Geralmente, a vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial, de modo que, quando da ocorrência dessa escassez, todos os usuários, ou os prioritários, mantenham em operação os usos outorgados.

No Brasil, apesar dos critérios utilizados para avaliação dos pedidos de outorga serem bastante diversificados, muitos órgãos gestores têm adotado a vazão mínima com sete dias de duração e recorrência de dez anos ($Q_{7,10}$) ou a vazão associada às permanências de 90% (Q_{90}) ou 95% (Q_{95}) como valores de referência para o processo de outorga, sendo disponibilizado apenas um percentual destas vazões mínimas de referência (ANA, 2007).

Na Figura 1 são apresentados os critérios para outorga referentes à captação de águas superficiais estabelecidos por diferentes órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil (ANA, 2007).

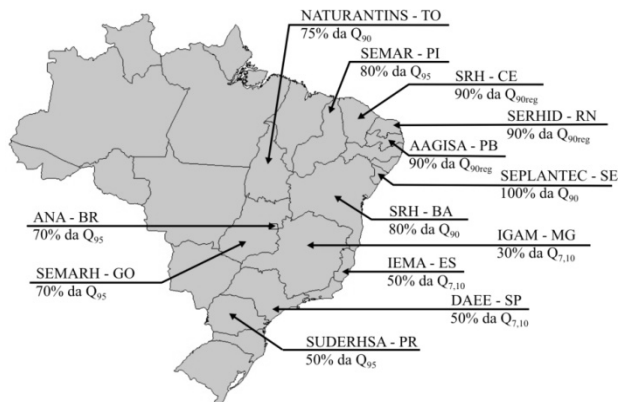


Figura 1 – Diferentes critérios para outorga em águas superficiais estabelecidos por órgãos gestores do Brasil.

É fácil observar que a dominialidade dos cursos d'água fragmenta a gestão dos recursos hídricos e dificulta a integração das informações, uma vez que os órgãos gestores adotam diferentes vazões de referência, percentuais outorgáveis e formulários para requerimento de outorga, quando a bacia hidrográfica é que deveria ser a unidade de planejamento e gestão.

Atualmente outro ofensor à aplicação da PNRH é a adoção de vazões mínimas de referência que correspondem às condições anuais de maior escassez hídrica, pois este valor anual pode se tornar restritivo em bacias onde há maior demanda de água, principalmente nos períodos chuvosos quando maior quantidade do recurso poderia ser outorgada. Ressalta-se que um dos objetivos da outorga é garantir o direito dos cidadãos ao acesso e sendo a água um bem de domínio público, sua gestão deve ser eficiente e proporcionar o desenvolvimento dos empreendimentos produtivos.

Buscando avaliar a sazonalidade nas vazões de referência, os estudos realizados por Catalunha (2004) revelaram que a utilização do período trimestral para a determinação das vazões mínimas de referência apresenta-se mais adequada ao processo de outorga quando comparada com as vazões obtidas para o período anual.

De modo semelhante, Lemos (2006) obteve vazões mínimas de referência com base nos períodos anual e trimestral, concluindo que o uso do período trimestral proporciona considerável aumento na vazão de referência, flexibilizando o processo de outorga, principalmente nos períodos mais chuvosos, quando vazões superiores poderiam ser outorgadas em vista da maior oferta do recurso.

Com a consideração da sazonalidade na oferta de água, torna-se cada vez mais essencial a existência de informações hidrológicas estruturadas e, sobretudo, de órgãos gestores capacitados com sistemas gestores para processar tal conhecimento, subsidiando intervenções e operações adequadas.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

Entre os instrumentos de gestão previstos na atual legislação, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH tem por objetivos: a) reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos; b) atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos; e c) subsidiar a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Confrontando os instrumentos da Política Nacional com os objetivos do sistema de informação sobre recursos hídricos percebe-se que ao associar um banco de dados hidrológicos georreferenciado a rotinas para gerenciamento dos cadastros de usuá-

rios, tem-se a possibilidade de criar uma poderosa ferramenta de gestão e de apoio à decisão.

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2007b) declara que o SNIRH servirá de referência para o desenvolvimento dos instrumentos de outorga, enquadramento, cobrança e fiscalização dos usos. Para tanto, a disponibilidade hídrica deve ser atualizada permanentemente e para fins administrativos deve estar associada às informações cadastrais obtidas dos processos de outorga.

A ANA (2007b) compreende que a construção do SNIRH deve ser realizada de forma conjunta, participativa e descentralizada. Neste princípio, a ANA descentraliza o processo ao compartilhar com os gestores estaduais a organização, implantação e posterior gestão dos sistemas de informações. Já na participação da sociedade na construção conjunta do SNIRH, destacam-se as pesquisas pela comunidade científica, beneficiado pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos - CT-HIDRO, com maior formação de pesquisadores e pesquisas no setor.

Mais do que as diferenças nos critérios de outorga, a falta de integração das bases de dados e a atuação isolada de cada órgão gestor, ignorando a presença de outros usuários na mesma bacia, confronta com o princípio de adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão e planejamento e evidenciam a necessidade de um sistema computacional para integrar os critérios das políticas federal e estaduais.

Vale ressaltar que um sistema de gestão vai além dos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD), pois mais que disponibilizar informações para a tomada de decisão e analisar os impactos das intervenções, precisam ser dinâmicos e integrar as rotinas técnicas e administrativas. Devem também, manter atualizado o cenário de utilização dos recursos e servir como instrumento para gestão da informação, através de consultas, análises e elaboração de relatórios.

No contexto da Hidroinformática, sistemas de gestão se diferem dos SSD e recebem a denominação de sistemas de Controle em Tempo Real (RTC), pois além de permitir consultas, são capazes de gerenciar, com eficiência, as informações

Sistemas informatizados para gestão hídrica

Os objetivos ousados do SNIRH contrastam com a carência de pesquisas aplicadas capazes de gerar inovações metodológicas e tecnológicas para uma gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. Uma sensível evolução vem ocorrendo desde o surgimento dos sistemas de informações geográficas (SIGs) e, atualmente, com a integração de modelos hidrológicos aos sistemas gerenciadores

de bancos de dados relacionais (SGBDR). A Figura 2 apresenta alguns sistemas desenvolvidos no Brasil para apoio à gestão de recursos hídricos.

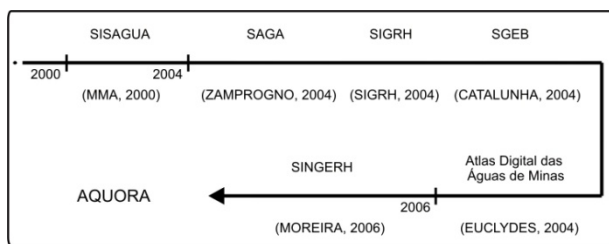


Figura 2 - Sequência cronológica de alguns sistemas de informação de apoio a gestão de recursos hídricos.

Em 2000, o Ministério do Meio Ambiente desenvolveu o Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Usuários da Água - SISAGUA. Este sistema realiza o controle administrativo, análises técnicas e a visualização espacial dos pleitos de outorga (MMA, 2000), mas não contém informações de disponibilidade hídrica sendo uma ferramenta administrativa.

O Grupo de Estudo e Ações em Recursos Hídricos - GEARH, vinculado à Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, desenvolveu em 2004, o Sistema de Apoio à Gestão das Águas - SAGA, uma ferramenta administrativa para o cadastro e manutenção das informações referentes aos processos de outorgas (Zamprogno, 2004). Neste mesmo ano, Euclides et al. (2004) desenvolveram o Atlas Digital das Águas de Minas que disponibiliza vazões máximas, mínimas e médias para os principais rios de Minas Gerais.

Ainda em 2004, surgiram os primeiros sistemas on-line para gestão participativa dos recursos hídricos. O Estado de São Paulo desenvolveu o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH, uma plataforma para comunicação de dados, troca de informações e armazenamento do conteúdo técnico e legal afeto à gestão das águas em SP (SIGRH, 2004). Catalunha (2004) desenvolveu o Sistema para Gestão e Estudo em microBacias - SGEB, capaz de disponibilizar vazões mínimas de referência e cadastrar usuários em ambiente Web.

Recentemente, Moreira (2006) desenvolveu um software, denominado SINGERH, que possibilita obter as vazões mínimas de referência para seções nos rios principais da bacia do rio Paracatu e quantificar o impacto de um novo usuário na disponibilidade hídrica no ponto da captação.

O sistema cliente/servidor AQUORA merece destaque por possibilitar armazenar as informações

pertinentes aos processos de outorgas; obter a disponibilidade hídrica mensal para qualquer seção ao longo da rede hidrográfica; avaliar o impacto da concessão de uma nova outorga com base na disponibilidade hídrica à jusante; e atualizar a disponibilidade hídrica ao longo de toda a rede hidrográfica, com base nas outorgas já concedidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho dividiu-se em duas partes: a) construção da base de dados hidrológicos e b) desenvolvimento e avaliação do sistema.

Apesar das metodologias serem aplicáveis para qualquer bacia hidrográfica, de forma estratégica para o desenvolvimento e avaliação do sistema de gestão, foi selecionada uma bacia hidrográfica em que a regulação do uso dos recursos hídricos é compartilhada entre diversos órgãos gestores. Devido à situação de gestão compartilhada, também comum em outras bacias, utilizou-se a bacia do rio Doce para o desenvolvimento e validação do sistema multi-usuário AQUORA.

A - CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS HIDROLÓGICOS

A bacia hidrográfica do rio Doce situa-se na região Sudeste (Figura 3), entre os paralelos 17°45' e 21°15' Sul e os meridianos 39°55' e 43°45' Oeste. Apresenta área de drenagem de aproximadamente 83.400 km², dos quais 86% situa-se no Estado de Minas Gerais e o restante no Estado do Espírito Santo. Abrange, total ou parcialmente, 228 municípios, sendo 202 em Minas Gerais e 26 no Espírito Santo e possui uma população total de, aproximadamente, 3,1 milhões de habitantes.

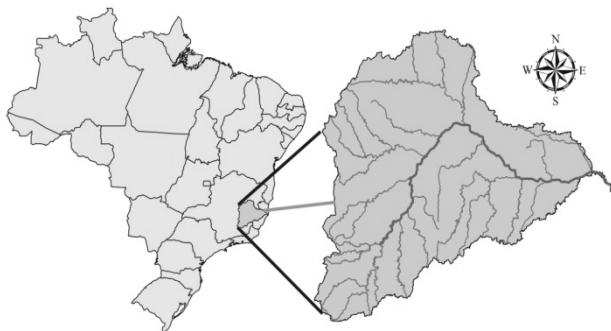


Figura 3 – Localização da bacia hidrográfica do rio Doce.

Tratamentos para geração do MDEHC

Para atender a demanda técnica da modelagem consistente do relevo em SIG e sua integração com outras informações, foram realizadas operações a fim de garantir a convergência do escoamento superficial até a foz da hidrografia. Foi desenvolvida uma metodologia reunindo o máximo de processos automáticos que pudessem ser reproduzidos, por qualquer pessoa em qualquer bacia, com o mínimo de intervenções manuais, conforme sugerido por Ribeiro (2004).

Basicamente, foram realizados tratamentos tradicionais buscando a eliminação das depressões espúrias, o ajuste da ramificação da drenagem, o aprofundamento da hidrografia e a correção do deslocamento nas imagens da SRTM com as cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Todo o tratamento foi realizado utilizando o pacote ArcGIS 9.2[®], com operações de vizinhança e conectividade na calculadora matricial do ArcMap[®]. Esta calculadora realiza operações automáticas em toda a base de dados por meio de algoritmos baseados em funções pré-definidas do aplicativo.

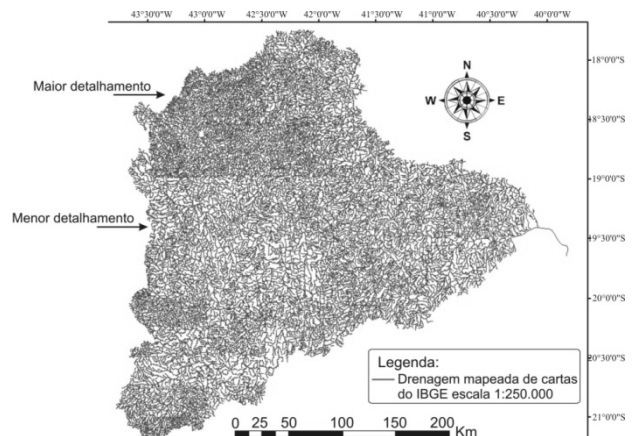


Figura 4 – Hidrografia mapeada de cartas do IBGE na escala 1:250.000, com grande variação na ramificação.

Vale ressaltar que na etapa de ramificação da drenagem numérica, ou seja, a hidrografia calculada com base no relevo do MDE, ajustou-se a ramificação de modo que esta atingisse um nível de detalhamento capaz de aliar a necessidade de representar toda a rede hidrográfica da bacia do rio Doce com a preocupação de não sobrecarregar o banco de dados do sistema em desenvolvimento.

Como base de comparação para o estabelecimento da drenagem numérica, utilizou-se as drenagens mapeadas de cartas do IBGE nas escalas 1:250.000 e 1:50.000.

A utilização da drenagem numérica é vantajosa em estudos de avaliação de modelos hidrológicos uma vez que elimina problemas advindos de diferentes níveis de detalhamento, comum nas cartas do IBGE, como por exemplo, na própria bacia do rio Doce (Figura 4).

Obtenção das características físicas e pluviométricas

Devido ao objetivo proposto, foi desenvolvida uma metodologia para obter automaticamente as características físicas e pluviométricas referentes a cada célula de 90m ao longo de toda a drenagem da bacia do rio Doce.

Utilizando os recursos do ArcMap9.2® extraiu-se, célula a célula, as variáveis físicas: área de drenagem (A), comprimento do rio principal (L), comprimento total da drenagem (Lt), densidade de drenagem (Dd) e declividade média (S), além de espacializar os totais trimestrais e total anual de precipitação na área de drenagem de cada célula, utilizando como base o MDEHC com resolução de 90 metros e séries históricas de 59 estações pluviométricas.

Cabe ressaltar que os procedimentos desenvolvidos aplicam-se muito bem a qualquer tamanho de bacia hidrográfica, desde que se trabalhe com um MDEHC. Neste sentido, além da qualidade funcional, amenizando a demanda de trabalho manual e a subjetividade dos resultados, o trabalho teve compromisso com a operacionalidade, buscando um nível de simplificação metodológica desejável para a sua execução em escala nacional.

Na Tabela 1 são apresentados os algoritmos utilizados na extração automática das variáveis morfométricas, referentes à drenagem numérica.

Utilizando algoritmos de consulta e seleção sobre o banco de dados carregado da plataforma Hidroweb disponibilizada pela ANA, as séries de dados diários de 59 estações pluviométricas foram subdivididas em trimestres e calculados os totais médios trimestrais e anual.

Por meio do interpolador espacial (IDW) espacializou-se os totais pluviométricos de interesse, por toda a bacia. Posteriormente, operações automáticas, como as utilizadas no cálculo da declividade média, produziram imagens com dados de precipitação média na área de drenagem de cada célula (90x90m) da rede hidrográfica.

Tabela 1 - Seqüência de comandos utilizados para extração das características físicas

Variável	Comandos na calculadora matricial
(A)	[aux] = h_r1 * escacum [a_km2] = (aux * 8100) / 1000000
(L)	[L] = flowlength([diresc], #, upstream) [L_m] = L + 90
(Lt)	[segmentos] = streamlink([h_r1], [diresc]) [dist] = flowlength([diresc], #, upstream) [foz_seg] = zonalmax(segmentos, dist) [seg_foz] = con(foz_seg == dist, 0) [aux1] = isnull(seg_foz) [seg_dir] = aux1 * [diresc]
(Dd)	[dist_seg] = flowlength(seg_dir, #, upstream) [aux2] = dist_seg + 90 [aux3] = zonalmax(segmentos, aux2) [compr_seg] = con(aux3 == aux2, aux2) [aux4] = flowaccumulation([diresc], compr_seg) [Lt_m] = con(isnull(compr_seg) == 1, aux4 + aux2, aux4 + aux2)
(Dd)	Dd_kmkm = (Lt_m / 1000) / a_km2
(S)	Spatial Analyst – Surface Analysis – Slope Decl_acum = flowaccumulation(diresc, slope) Decl = decl_acum / escacum

Regionalização e espacialização das vazões mínimas de referência trimestrais

No presente trabalho buscou-se considerar a sazonalidade na disponibilidade hídrica, considerando como referência o período trimestral. Desta maneira, obteve-se as vazões mínimas $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} para atender cada trimestre, de modo que a vazão do período mais seco não seja uma limitante na outorga em períodos mais chuvosos.

Na regionalização de vazões na bacia do Doce, analisaram-se séries históricas disponibilizadas pelo sítio Hidroweb da ANA contendo dados diários de 55 estações fluviométricas (Figura 5).

Optou-se por utilizar o método tradicional de regionalização de vazões, proposto pela ELETROBRÁS (1985), mais adequada ao estudo em bacias com grande variabilidade espacial, uma vez que individualiza regiões homogêneas, conduzindo

a melhores estimativas de vazões mínimas de referência (Azevedo, 2004; Ribeiro et al., 2005).



Figura 5 – Localização das estações fluviométricas selecionadas.

Na tentativa de amenizar as discontinuidades nas vazões em seções fronteiriças entre regiões, avançou-se a delimitação das regiões até a interseção com outro rio principal, transferindo-se o degrau para uma confluência com maior disponibilidade e, portanto, menor potencial de conflito (Figura 6).

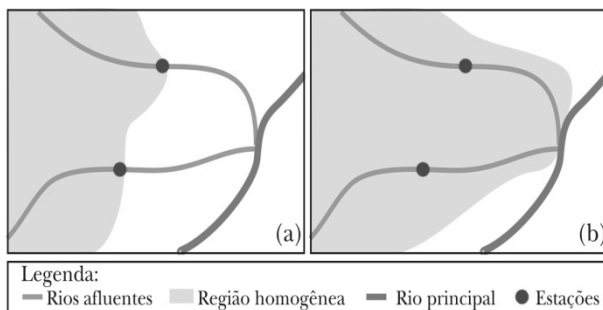


Figura 6 - Traçado tradicional da região homogênea (a) e o novo traçado da região homogênea (b).

De posse das imagens contendo as variáveis físicas e pluviométricas para cada célula da hidrografia, as equações regionais de regionalização com melhores ajustes estatísticos foram processadas em SIG, sobre a máscara da drenagem numérica. Em análise preliminar, evidenciou-se que nem todas as equações apresentaram sensibilidade à espacializa-

ção em SIG, produzindo vazões constantes antes e após as confluências.

A Figura 7 exemplifica a influência das variáveis físicas na sensibilidade à espacialização dos modelos de regressão. Recomenda-se que a área ou o comprimento total da drenagem deve sempre estar presente e constituir o principal peso nas equações, pois dentre as variáveis usualmente consideradas são as únicas que acompanham o aumento de vazão no curso d'água, após as confluências. Já as variáveis comprimento do rio principal, densidade de drenagem, declividade média e as precipitações variam muito pouco nas confluências e devem ser evitadas.

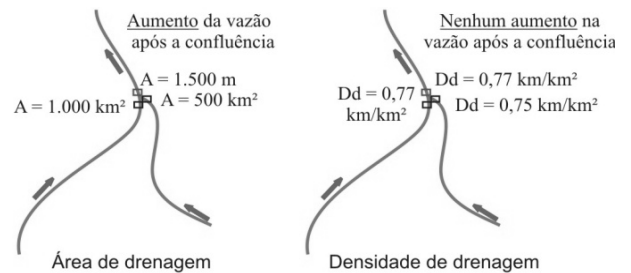


Figura 7 - Comparação da sensibilidade à variação de vazão nas confluências entre as variáveis explicativas.

Em seguida, as equações que se mostraram sensíveis à espacialização foram processadas juntamente com os grids contendo as variáveis explicativas, resultando em mapas temáticos com informações trimestrais de vazão mínima de referência para cada célula (90m) da hidrografia.

B - DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO

O desenvolvimento do AQUORA foi dividido em três etapas: a) preparação dos dados afetos ao processo de outorga; b) estruturação do banco de dados e c) modelagem e avaliação do sistema em rede.

Definição da área de trabalho

Na bacia hidrográfica do rio Doce atuam três órgãos gestores de recursos hídricos com critérios de vazões de referência e percentuais outorgáveis distintos (Figura 8). Esta conjuntura oferece obstáculos à gestão integrada nas bacias, mas sistemas gestores podem lidar com os domínios e critérios diferentes com elevada eficiência.

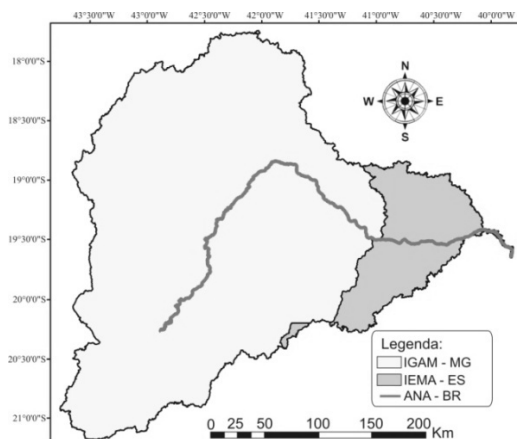


Figura 8 – Representação das áreas de atuação dos três órgãos gestores atuantes na bacia do rio Doce.

Na bacia do rio Doce a ANA outorga até 70% da Q_{95} no rio federal, podendo variar em função das peculiaridades de cada região (ANA, 2007), enquanto o Estado de Minas Gerais, que possui o segundo maior número de outorgas no País (ANA, 2007), outorga, através do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), até 30% da $Q_{7,10}$ (Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99). Já o Espírito Santo normalizou os critérios de outorga somente em 2005 e outorga, via Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), até 50% da $Q_{7,10}$ (Instrução Normativa Nº 019/2005).

Obtenção dos dados afetos ao processo de outorga

O banco de dados (BD), que serviu de base para o desenvolvimento do sistema de gestão, precisou ser carregado com informações referentes ao processo de outorga de uso de águas superficiais. Com este propósito os dados solicitados nos formulários oficiais de requerimento de outorga de uso de água da ANA e do IGAM foram incorporados ao BD. Na ocasião não estavam disponíveis os formulários do IEMA.

Além da localização do ponto de captação de água, os formulários também identificam uma série de dados afetos aos processos de outorga, como: categoria, modalidade e finalidade da outorga; dados cadastrais do requerente e do responsável técnico, além do detalhamento de atividades em cada empreendimento outorgado (ANA, 2006; IGAM, 2006), como resumido a seguir.

Categoria

- Requerimento
- Alteração
- Transferência
- Cessão

▪ **Renovação**

Modalidade

- Derivação ou captação de água
- Obras hidráulicas

Finalidade

- Irrigação (Métodos, culturas, áreas correspondentes)
- Aquicultura (Métodos, espécies, espelhos)
- Abastecimento animal (Quantidade, espécies)
- Saneamento (População atual e daqui a 10 anos)
- Indústria (Produtos, quantidades)

As informações hidrológicas referentes a cada célula (90 x 90m) da rede hidrográfica foram obtidas da base de dados hidrológicos construída a partir da espacialização de equações de regressão aplicadas a regiões hidrológicamente homogêneas. Estas vazões apresentam-se no formato de 12 imagens matriciais com informações trimestrais das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}).

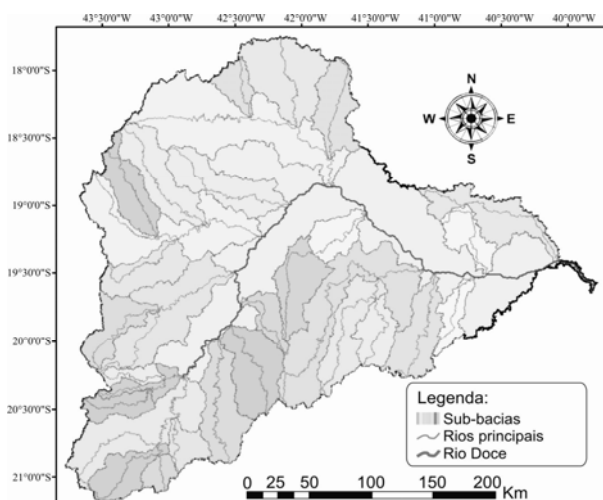


Figura 9 – Sub-bacias associadas aos rios principais.

Como as células dos mapas temáticos constituem a base de registros do BD associado ao sistema, informações relevantes como: coordenadas geográficas; nome do curso d'água; bacia e sub-bacia a que pertence; unidade federativa; município; vazão mínima de referência adotada para outorga e correspondente percentual outorgável, tiveram que ser armazenadas em cada célula da rede hidrográfica do rio Doce, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG.

Desta forma, as informações pertinentes à identificação do ponto de captação, presentes nos formulários de outorga, foram primeiramente identificadas em mapas e, em seguida, armazenadas em cada uma das células pertencentes à rede de drenagem. Os relacionamentos criados no BD com a incorporação de camadas geográficas como municípios, sub-bacias e rios principais são fundamentais para o processamento de consultas sobre a base de dados, permitindo, por exemplo, buscar os usos outorgados contidos em determinado elemento geográfico.

Na Figura 9 é ilustrada a sobreposição das sub-bacias associadas aos rios principais, aqui considerados como os que apresentam estações fluviométricas instaladas em sua calha.

Estruturação do banco de dados

Identificadas as informações referentes a cada célula da rede de drenagem: variáveis físicas (área de drenagem, comprimento do rio principal, densidade de drenagem) e pluviométricas (precipitação total anual); vazões mínimas de referência trimestrais ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}); Estado, município, bacia, sub-bacia e curso d'água a que pertence; coordenadas geográficas e percentuais outorgáveis, iniciou-se a estruturação do BD a ser incorporado ao sistema de gestão.

No desenvolvimento do sistema, buscou-se as melhores alternativas de estruturação das informações de forma a permitir total flexibilidade para utilização em outras bacias hidrográficas ou eventuais mudanças de critérios nos processos de outorga, como alterações na vazão de referência ou no percentual outorgável.

Além das informações referentes à seção de interesse, várias outras informações têm importância no gerenciamento dos processos de outorga, como constatado nos formulários dos órgãos gestores. A fim de se modelar a estrutura do BD, utilizou-se o software ERwin® Data Modeler na elaboração dos diagramas de relacionamentos, considerando todas as informações a serem incorporadas ao sistema.

Em seguida, através do SGBDR SQL Server® o modelo do BD originou as tabelas de classes com os respectivos relacionamentos. A partir de rotinas tradicionais desenvolvidas em SQL (Structured Query Language), para consulta e transferência de dados, as tabelas recém-criadas foram carregadas com as informações exportadas do ambiente de SIG, funcionando como uma espécie de carga inicial.

O desenvolvimento do sistema cliente/ servidor trouxe grandes inovações aos modelos anteri-

ores para gestão de recursos hídricos ao incorporar conceitos dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) às rotinas dos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Relacionais (SGBDR). O sistema piloto (atual) utiliza como SGBDR, o SQL Server® 2003 da Microsoft®. Cabe observar que o sistema atual não utiliza um banco de dados espacial e, portanto, os relacionamentos espaciais encontram-se traduzidos em atributos.

Modelagem e avaliação do sistema em rede

Um exemplo da inovação do AQUORA, atingida com a integração de SIG e SGBDR é a atualização permanente da vazão remanescente nos cursos d'água após a concessão das outorgas, até o exutório (análise de montante). No entanto, destaca-se que o sistema trabalha apenas o aspecto quantitativo, para as captações e também para os lançamentos.

Uma inovação também significativa foi a operacionalização do conceito de imobilização hídrica, a partir do qual, a menor vazão outorgável a jusante imobiliza a vazão máxima a ser outorgada a montante, assegurando vazões remanescentes ao processo de outorga em conformidade com a legislação no domínio de gestão (análise de jusante).

Como qualquer captação em uma seção do curso d'água acarreta redução na disponibilidade, o sistema avalia se a demanda requerida na simulação é maior que a mínima vazão disponível a jusante. Para identificar os conflitos em relação aos limites outorgáveis, o sistema busca ao longo da hidrografia a jusante, a situação em que a vazão disponível é inferior à vazão requerida, assim:

$$\text{Se } Q_{DISP_JUS} < Q_{REQ_MONT} \quad \Rightarrow \quad \text{CONFLITO}$$

em que,

Q_{DISP_JUS} = Vazão disponível em qualquer ponto a jusante, m^3/s ;

Q_{REQ_MONT} = Vazão requerida a montante, m^3/s .

Um exemplo do efeito das outorgas na disponibilidade hídrica a jusante, para o caso do Estado de Minas Gerais, é apresentada na Figura 10. Observa-se que apesar da vazão disponível na seção de interesse ser de 15 L/s, o valor máximo outorgável para evitar o descumprimento da vazão remanescente a jusante, deve ser de 10 L/s.

A partir da identificação da seção de interesse pelo usuário, o sistema relaciona todas as células pertencentes à trajetória do escoamento superficial até a foz do rio Doce, utilizando as direções de esco-

amento armazenadas no BD. As vazões disponíveis referentes a trajetória são armazenadas, possibilitando as análises de jusante.

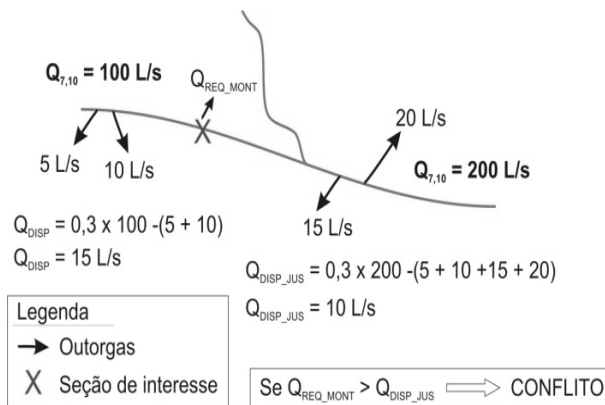


Figura 10 – Esquema ilustrativo da importância da análise de jusante, aplicando critérios de Minas Gerais.

Em SQL, foram desenvolvidas as rotinas que identificam conflitos originados por novas outorgas; calculam o impacto de captações de água sobre a disponibilidade hídrica a jusante; atualizam a oferta hídrica ao longo da rede de drenagem após concessão de nova outorga e consideram a disponibilidade hídrica a jusante na análise da vazão outorgável a montante.

A interface do sistema na Internet foi desenvolvida no Visual Web Developer®, que acessa as rotinas do SQL Server® realizando consultas e atualização dos dados pelos usuários de recursos hídricos, visitantes ou órgãos gestores. O sistema foi projetado para ser executado em qualquer navegador de Internet, em qualquer sistema operacional, possuindo uma interface de fácil utilização e auto-explicativa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A - CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS HIDROLÓGICOS

Tratamentos para geração do MDEHC

Na Figura 11 está representada a comparação entre a rede hidrográfica gerada estabelecendo-se 50 e 25 células contribuintes a partir da qual as células foram identificadas como pertencentes a um curso d'água, e a drenagem mapeada em escala 1:50.000.

Analisando-se a Figura 10, constatou-se que o grau de ramificação da drenagem gerada com 25 células contribuintes aproxima-se da escala 1:50.000.

Menores números de células contribuintes também foram testados, porém, à medida que se ramificou a rede de drenagem, sobrecarregou-se o ambiente computacional, implicando expressiva lentidão aos processos e operações seguintes.

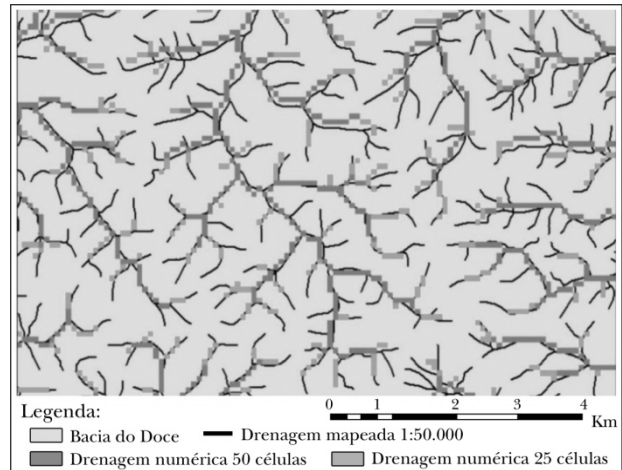


Figura 11 – Sobreposição das drenagens numéricas com 50 e 25 células contribuintes e mapeada na escala 1:50.000

É importante expor que a delimitação automática dos divisores de água é facilitada em bacias encaixadas como a do rio Doce e, portanto, a validação do MDEHC baseou-se também no traçado contínuo da drenagem numérica desde as nascentes até o exutório, comprovando sua consistência hidrográfica. Dessa forma, comprovou-se a viabilidade do MDEHC para utilização em processos de extração de características morfológicas.

Obtenção das características físicas e pluviométricas

As características físicas foram extraídas com sucesso, célula a célula, da rede hidrográfica da bacia do rio Doce.

Os resultados, armazenados em mapas temáticos, contêm informações morfométricas para todas as células da drenagem numérica, com uma resolução de 90 metros, como exemplificado na Figura 12.

A Tabela 2 apresenta os desvios relativos entre as características morfométricas obtidas de modo automático, com base na drenagem com 25 células contribuintes, e os resultados encontrados por procedimentos manuais com base em feições vetoriais, digitalizadas de cartas do IBGE.

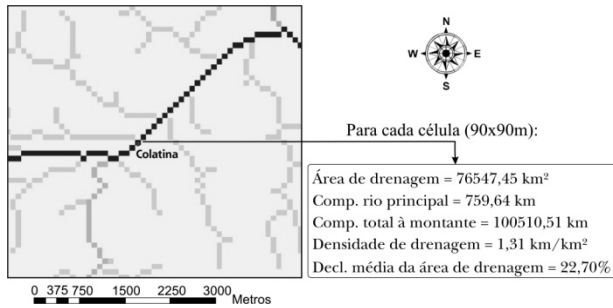


Figura 12 – Informações físicas para a seção da hidrografia referente à estação fluviométrica Colatina.

Tabela 2 - Comparação dos resultados obtidos de modo automático (pixel a pixel) e os encontrados por procedimentos manuais

Escala Comparada	Desvio relativo (%)			
	A	Lrp	Lt	Dd
1:50.000	-1,78	0,19	-70,34	-70,20
1:250.000	-10,29	3,52	48,10	53,24

Obs.: valores negativos indicam que o processo automático subestimou os valores obtidos por métodos manuais.

Os procedimentos automáticos produziram resultados aproximados de área e comprimento do rio principal, entretanto, a ramificação da drenagem numérica subestimou o comprimento total da rede hidrográfica em relação à escala 1:50.000 e superestimou quando comparada à escala 1:250.000. Como esperado, a densidade de drenagem acompanhou o comportamento do comprimento total.

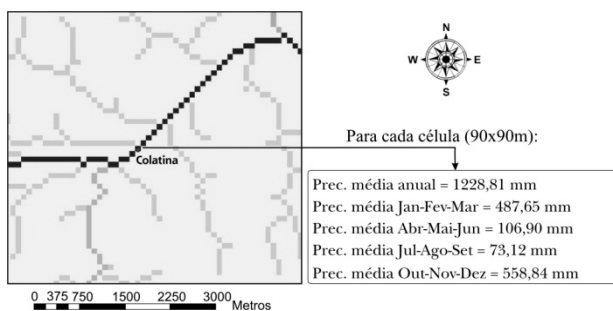


Figura 13 – Precipitações médias na área de drenagem da seção da hidrografia referente à estação Colatina.

Os resultados sugerem que a ramificação da drenagem numérica utilizada aproxima-se à escala 1:100.000, sendo necessário o condicionamento do

MDEHC com a hidrografia do IBGE para sustentar essa afirmação. Neste estudo, optou-se por manter a drenagem derivada a partir do MDEHC para evitar o tempo necessário à validação topológica da hidrografia vetorial do IBGE.

Utilizando os grids contendo a distribuição espacial das precipitações, anuais e trimestrais, e as direções de escoamento sobre o terreno da bacia, foram armazenadas as precipitações médias na área de drenagem para cada célula da hidrografia, como exemplificado na Figura 13.

Regionalização e espacialização das vazões mínimas de referência trimestrais

Considerou-se o ano hidrológico como tendo início no mês de outubro e término no mês de setembro, do ano seguinte. Conforme as vazões específicas médias ilustradas na Figura 14, os meses de maiores e menores vazões observadas são janeiro e setembro, respectivamente. O segundo trimestre (Jan-Fev-Mar) é o de maior disponibilidade hídrica.

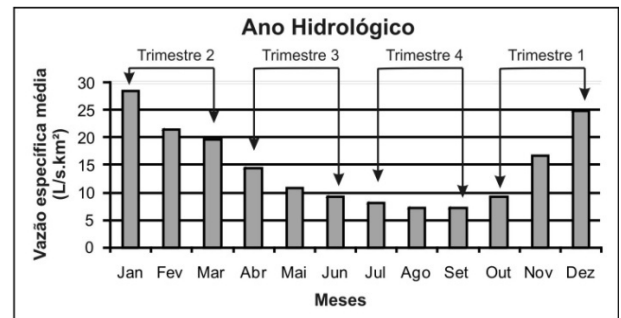


Figura 14 – Análise da distribuição média de vazões ao longo do ano, na bacia do rio Doce.

A consideração do período trimestral incorporou a sazonalidade da disponibilidade hídrica na regionalização das vazões mínimas, ao comprovar a variação das vazões de referência entre os trimestres. A flexibilidade sazonal da Q_{90} e Q_{95} foi avaliada comparando-se os valores trimestrais com as vazões obtidas com base no período anual.

Já a flexibilidade nos valores de $Q_{7,10}$, com a adoção do período trimestral, foi avaliada estabelecendo-se como $Q_{7,10}$ anual, a vazão correspondente ao trimestre de menor disponibilidade hídrica; na maioria dos casos, o trimestre jul-ago-set.

A flexibilidade devido à adoção do período trimestral apresentou comportamento similar em todas as estações e os valores médios estão resumi-

dos na Tabela 3. Observou-se que o trimestre mais rigoroso, devido à baixa disponibilidade hídrica, é o quarto trimestre, composto pelos meses julho, agosto e setembro.

Tabela 3 – Flexibilidade média nas vazões mínimas de referência adotando-se o período trimestral

Vazão de referência	Flexibilidade média trimestral (%)			
	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4
Q _{7,10}	9,05	88,99	40,49	3,43
Q ₉₀	-5,51	50,61	12,57	-14,69
Q ₉₅	-12,61	37,54	13,72	-13,04

Analisando os extremos, a consideração do período trimestral representou um acréscimo médio de 89% na Q_{7,10} no segundo trimestre e uma redução de 15% na Q₉₀ do quarto trimestre. No primeiro e no quarto trimestres, houve decréscimo nas vazões associadas às permanências de 90 e 95% devido às menores vazões observadas, já a Q_{7,10} aumentou com a consideração da sazonalidade, em todos os trimestres.

Com base em critérios geográficos e estatísticos, identificaram-se seis regiões hidrologicamente homogêneas para as vazões estudadas, como apresentado na Figura 15.

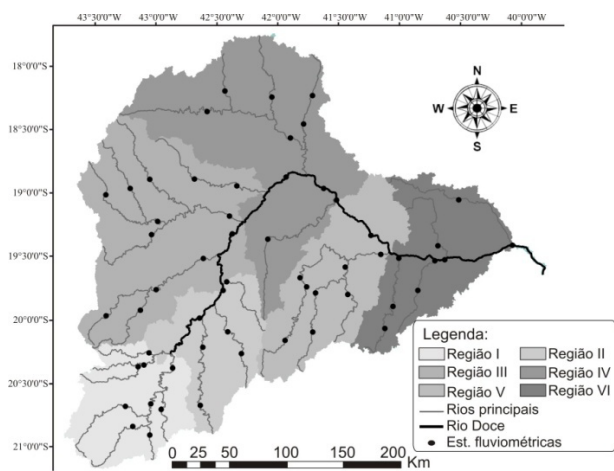


Figura 15 – Regiões hidrologicamente homogêneas.

A Tabela 4 apresenta a média dos desvios absolutos entre as vazões estimadas pelas equações regionais e as vazões calculadas pela estatística tradi-

cional. Estas médias foram obtidas dos desvios individuais das 55 estações fluviométricas que participaram da regionalização de vazões mínimas, comparando-se para cada trimestre, as vazões estimadas com as calculadas.

Tabela 4 – Erros médios na estimativa das vazões mínimas de referência trimestrais

Vazão de referência	Erro médio (%)			
	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4
Q _{7,10}	26,9	26,6	28,7	32,7
Q ₉₀	22,0	24,9	25,1	28,4
Q ₉₅	24,7	28,2	28,0	32,7

No quarto trimestre, a baixa disponibilidade foi responsável pelos maiores desvios. Vale ressaltar que a seleção dos melhores modelos não baseou-se somente em critérios estatísticos, mas em um novo critério: a sensibilidade à espacialização.

Processando as equações de regressão regionais, comprovadamente sensíveis à espacialização em SIG, elaboraram-se 12 mapas temáticos armazenando as vazões mínimas de referência (Q_{7,10}, Q₉₀ e Q₉₅) em cada trimestre. A Figura 16 ilustra, por exemplo, o mapa temático referente à Q_{7,10} para o trimestre Out.-Nov.-Dez. e, no detalhe, a Figura 17 exibe as informações de vazão para a célula da hidrografia onde está instalada a estação fluviométrica Colatina (56994500).

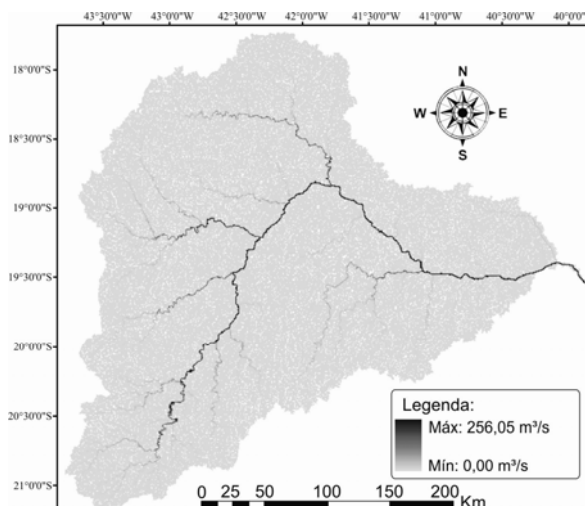


Figura 16 – Grid da Q_{7,10} referente ao primeiro trimestre (Out.-Nov.-Dez.) espacializada por toda a drenagem.

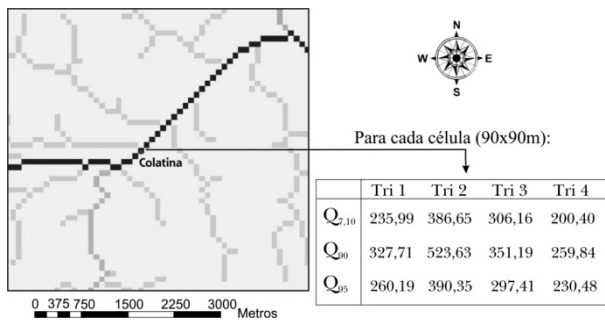


Figura 17 – Vazões mínimas de referência (m³/s) para a seção da hidrografia referente à estação Colatina.

B - DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO

Ao sistema multi-usuário para gestão integrada das outorgas de direito de uso das águas superficiais, desenvolvido no trabalho, denominou-se AQUORA, com origem no termo em latim “Aequora” que significa “as águas” e como qualquer sistema de informações, constantemente estão sendo implementadas novas rotinas sobre esta arquitetura.

Obtenção dos dados afetos ao processo de outorga

Além das informações hidrológicas, todas as informações necessárias ao gerenciamento dos processos de outorga de uso de água, solicitadas nos formulários de outorga dos órgãos gestores, foram armazenadas em imagens matriciais, como exemplificado na Figura 18.

O conjunto das informações dependentes das seções de interesse, representadas por células, formaram a base de dados extraída em SIG, totalizando para a bacia do rio Doce, 1.042.822 registros.

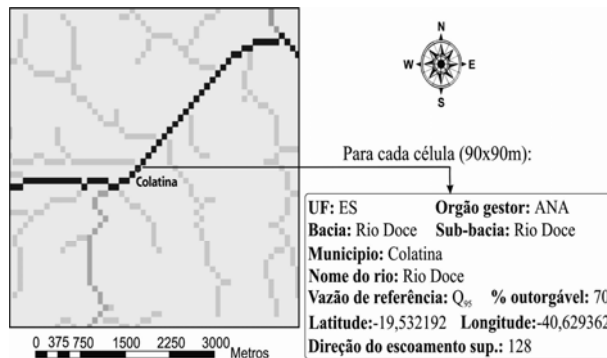


Figura 18 – Informações solicitadas nos formulários de outorga, referentes à seção da hidrografia onde se encontra instalada a estação fluviométrica Colatina.

Estruturação do banco de dados

A complexa estrutura do BD incorporado ao AQUORA, capaz de armazenar as informações pertinentes aos processos de concessão de outorgas, organiza-se em três núcleos principais (Figura 19).

As três tabelas raízes são: 1) TB_PIXL, que contém as informações de cada célula da rede de drenagem; 2) TB_OUTG, que armazena as informações que identificam as outorgas; e 3) TB_EMPR, que caracteriza os empreendimentos que demandam outorgas de uso da água.

Um exemplo do detalhamento das informações incorporadas ao BD relacional do AQUORA é o núcleo PIXEL, ilustrado na Figura 20.

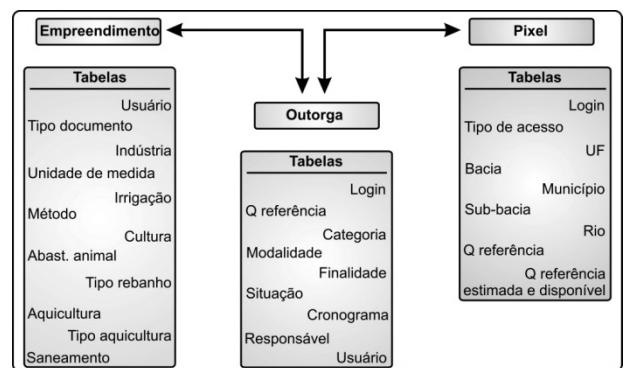


Figura 19 - Modelo simplificado do banco de dados do AQUORA.

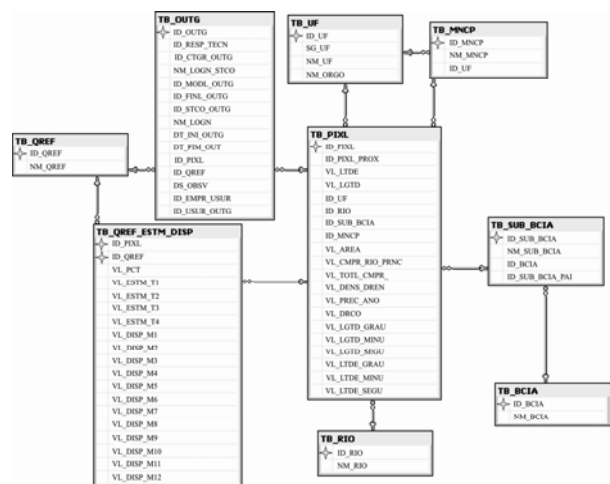


Figura 20 - Diagrama de relacionamentos da tabela raiz TB_PIXL e informações incorporadas ao sistema.

As tabelas associadas ao núcleo PIXEL contêm a identificação das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} ou Q_{95}); a unidade da federação a que pertence cada célula e também o órgão gestor que concede as outorgas; o município e o nome do curso d'água que contém a célula.

Devido à flexibilidade da estrutura criada no BD, o sistema não se restringe à bacia do rio Doce, de forma que o BD poderá incorporar informações de outras bacias em estudos posteriores. A hierarquia de relacionamentos, criada entre sub-bacias, é essencial para a elaboração de relatórios de gestão, de modo que as sub-bacias que englobam as menores foram denominadas sub-bacias pai e contêm todos registros em sua área de drenagem.

A disponibilidade hídrica em cada célula também é armazenada no núcleo PIXEL, que contém para cada trimestre, as vazões mínimas de referência estimadas pelas equações de regressão regionais e também as vazões disponíveis em cada mês, inicialmente, com base no percentual outorgável de cada célula. Estes registros são essenciais ao sistema, uma vez que os usuários cadastrarão suas demandas mensais para o requerimento da outorga.

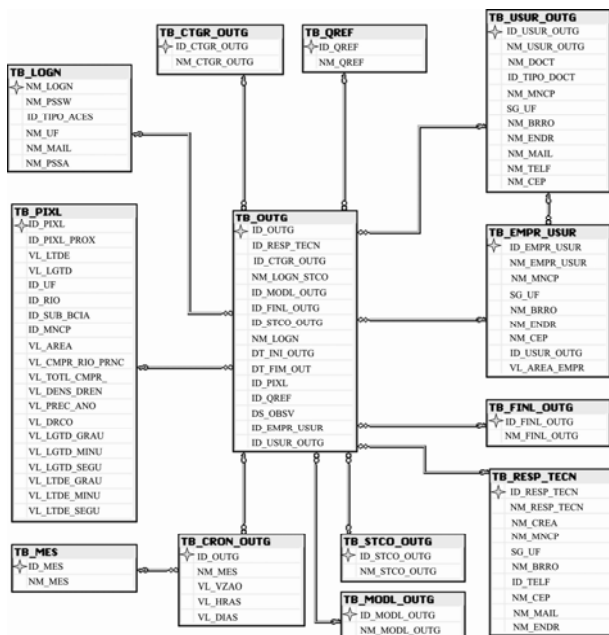


Figura 21 - Diagrama de relacionamentos da tabela raiz TB_OUTG e informações incorporadas ao sistema.

Outra rede relacional parte do núcleo OUTORGA, identificando todas as informações pertinentes ao processo de outorga. A flexibilidade atri-

buída à organização estrutural do BD possibilita que cada célula da hidrografia possa conter várias captações, cada usuário possa ser responsável por vários requerimentos e cada empreendimento estar associado a diferentes outorgas. A rede de relacionamentos que parte do núcleo OUTORGA e as informações de suas tabelas associadas são apresentadas na Figura 21.

O visitante ao acessar o sistema AQUORA, deverá cadastra-se e efetuar a autenticação que o identificará quanto ao tipo de acesso e permissões, como: 1) Administrador, com total acesso ao sistema; 2) Gestor, cabendo analisar e dar parecer sobre as outorgas; 3) Usuário, capaz de requerer e acompanhar os processos; e 4) Visitante, caso ainda não tenha sido cadastrado um empreendimento.

O usuário, ao cadastrar-se, carrega o BD com informações pessoais, como nome e número do documento de identificação; declara seu endereço, conforme UF, Município, Rua, Bairro e CEP; e, fornece e-mail e telefone para contato. Da mesma forma, são cadastrados os dados do empreendimento e do responsável técnico.

Conforme os formulários de requerimento analisados, o sistema também permite a diferenciação dos processos de outorga ao classificá-los quanto à Categoria, Modalidade e Finalidade da concessão de uso da água.

Quanto à demanda, requerida nos processos de outorga, o sistema armazena mensalmente as vazões e também o número de horas de captação e quantos dias no mês a vazão deverá ser utilizada. Após o usuário ter cadastrado as informações acerca do empreendimento e referentes à sua demanda, a situação da outorga é identificada como “em análise” e encaminhada ao gestor, que poderá ativar, suspender ou arquivar os processos mediante justificativa.

O terceiro núcleo, EMPREENDIMENTO, é aquele que reúne as informações acerca do empreendimento cuja outorga é requerida. O sistema desenvolvido é capaz de armazenar em tabelas interdependentes, o detalhamento das atividades desenvolvidas em cada empreendimento outorgado, de acordo com sua finalidade. A Figura 22 apresenta a rede de relacionamentos associada aos empreendimentos outorgados.

Para fins de irrigação, o sistema é capaz de diferenciar métodos e culturas, cada uma com sua respectiva área irrigada. Em se tratando de criação de animais, o AQUORA armazena a quantidade de animais livres e confinados além do tipo de rebanho e correspondente área de ocupação.

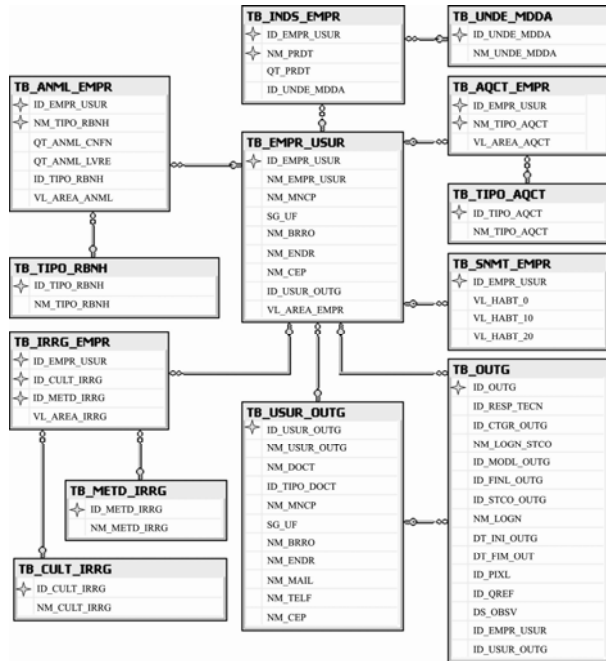


Figura 22 - Diagrama de relacionamentos da tabela raiz TB_EMPR_USUR e informações incorporadas ao sistema.

Para empreendimentos industriais, o BD incorpora informações sobre os tipos de produtos e quantidades em quaisquer unidades de medida. Caso a atividade outorgada seja aquicultura, armazena-se o método utilizado e a área ocupada; e ainda, para saneamento, cadastra-se a população atual e estimada para dez e vinte anos.

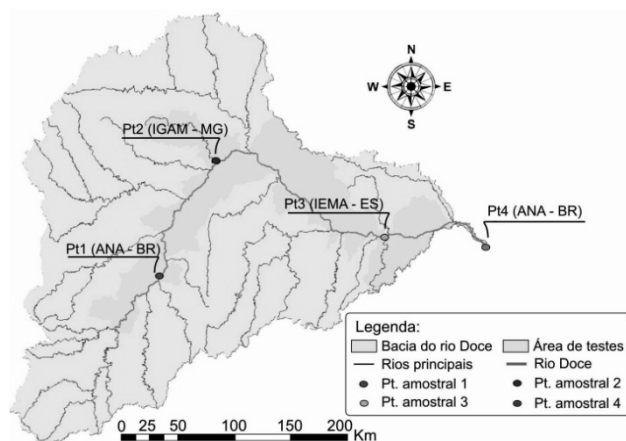


Figura 23 – Área de validação do AQUORA e localização dos pontos amostrais em MG, ES e sobre o rio Doce.9

Modelagem e avaliação do sistema em rede

Com o BD carregado em ambiente SQL Server®, as atualizações de cadastros, disponibilidade e demanda hídrica, oriundas dos processos de outorgas de uso da água são instantaneamente processadas com rotinas internas na SQL.

Visando agilizar a realização dos testes de validação do sistema na WEB, foi adotada a área correspondente à região destacada na Figura 23, escolhida por incluir cursos d'água de domínio da união (rio Doce) além de drenar MG e ES.

Também na Figura 23, estão localizados os pontos amostrais utilizados na avaliação do AQUORA, ressaltando que os pontos 2 e 3 estão localizados na foz de afluentes do rio Doce em Minas Gerais e Espírito Santo, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Informações dos pontos amostrais

Pts	Latitude	Longitude	Gestor	Critério
1	19° 50' 53"	42° 17' 14"	ANA	70% Q ₉₅
2	18° 14' 19"	56' 42" 02"	IGAM	30%
3	19° 07' 19"	32' 40" 38"	IEMA	50%
4	19° 46' 19"	38' 39" 48"	ANA	70% Q ₉₅

A página principal da interface do sistema com os usuários via WEB é ilustrada na Figura 24.

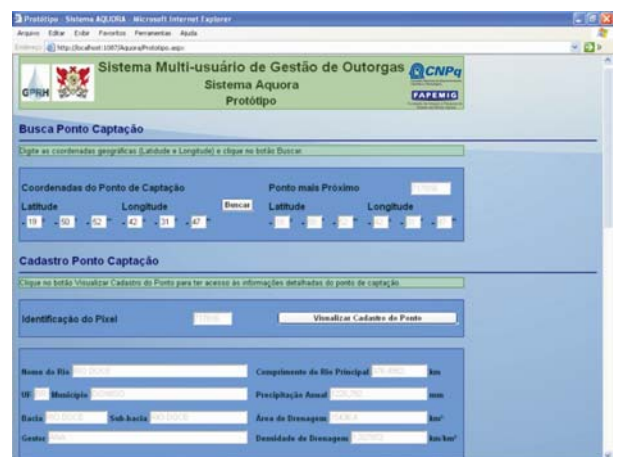


Figura 24 – Página de interação com os usuários via WEB.

Essa página, onde foram processados os testes das rotinas desenvolvidas, foi carregada utilizando-se o navegador Internet Explorer 7.0®, mostrando-se acessível a qualquer usuário familiarizado com a Internet.

No ambiente Web, foram identificados os pontos amostrais de interesse, a partir das coordenadas geográficas, e em seguida, solicitou-se as vazões mínimas de referência correspondentes a cada trimestre do ano civil. As vazões de referência de cada ponto amostral estão reunidas na Tabela 6, e a tela de interface do sistema AQUORA na Internet, onde as consultas por vazões de referência são realizadas, é ilustrada na Figura 25.

Tabela 6 – Vazões mínimas de referência nos pontos amostrais (m³/s)

Pts	Qref	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4
1	Q _{7,10}	125,92	98,48	78,46	81,72
	Q ₉₀	161,47	121,52	97,35	102,82
	Q ₉₅	143,23	112,18	83,92	82,36
2	Q _{7,10}	4,36	3,21	2,48	2,54
	Q ₉₀	6,17	4,40	3,62	4,48
	Q ₉₅	4,33	3,43	2,72	3,11
3	Q _{7,10}	3,31	2,29	1,62	1,75
	Q ₉₀	4,28	3,25	2,27	2,51
	Q ₉₅	3,00	2,60	1,76	1,75
4	Q _{7,10}	418,51	332,14	217,12	256,05
	Q ₉₀	567,23	379,64	281,16	355,39
	Q ₉₅	423,29	321,81	249,95	282,77

Inicialmente, as vazões disponíveis fornecidas pela página do sistema na WEB, referentes aos quatro pontos amostrais, correspondem exatamente à disponibilidade estabelecida pelos critérios de outorga, no entanto, à medida que as outorgas vão sendo ativadas o sistema atualiza, em tempo real, as vazões disponíveis no ponto de captação e também em toda a trajetória do escoamento superficial até o exutório da bacia.

Por incorporar uma base de dados hidrológica construída para a totalidade dos cursos d'água da bacia hidrográfica e os diferentes critérios de outorga adotados, o sistema realiza as análises dos processos e a atualização do cenário de uso das á-

guas superficiais de forma integrada, respeitando os limites estabelecidos por cada domínio de gestão.

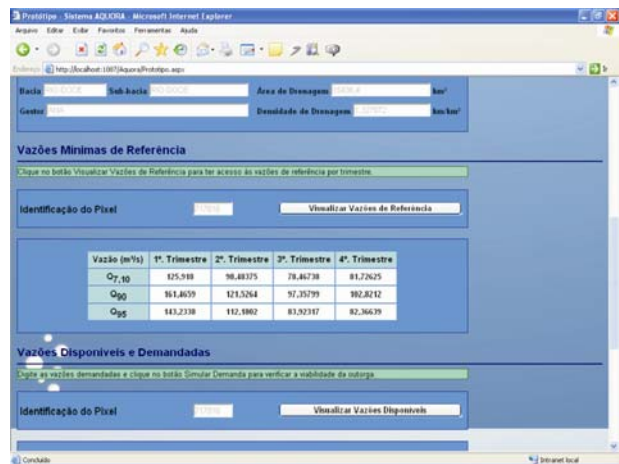


Figura 25 – Página para consulta das vazões mínimas.

A página do AQUORA, onde os usuários identificam a disponibilidade mensal, solicitam demandas e identificam conflitos, é apresentada pela Figura 26, e na Tabela 7 são apresentadas as vazões mensais disponíveis para cada ponto amostral selecionado.

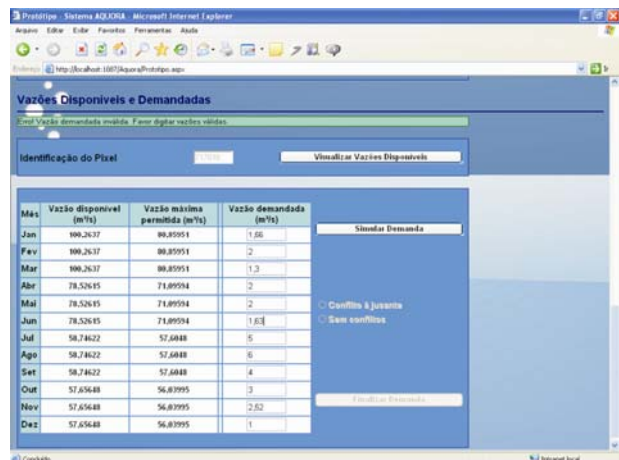


Figura 26 – Página para consulta de vazões disponíveis, simulação de demandas mensais e análise de conflitos.

Buscando avaliar a atualização e o controle da disponibilidade em tempo real e a eficiência do sistema na avaliação de descumprimento das normas à jusante, foram simuladas diferentes captações que imobilizaram a oferta em seções a montante.

Tabela 7 – Vazões disponíveis nos pontos amostrais selecionados (m³/s)

Meses	Pt1	Pt 2	Pt 3	Pt4
Jan	100,26	1,31	1,66	296,30
Fev	100,26	1,31	1,66	296,30
Mar	100,26	1,31	1,66	296,30
Abr	78,53	0,96	1,15	225,27
Mai	78,53	0,96	1,15	225,27
Jun	78,53	0,96	1,15	225,27
Jul	58,75	0,74	0,81	174,97
Ago	58,75	0,74	0,81	174,97
Set	58,75	0,74	0,81	174,97
Out	57,66	0,76	0,88	197,94
Nov	57,66	0,76	0,88	197,94
Dez	57,66	0,76	0,88	197,94

Como esperado, quando se foi solicitada uma vazão superior a máxima permitida, isto é, maior que a mínima disponibilidade a jusante, o sistema identificou e acusou a presença de conflito.



Figura 27 – Vazão disponível e máxima vazão permitida no Pt1, após redução de vazão na foz do rio Doce.

Solicitando captações nos pontos amostrais situados a montante (Pt1, Pt2, e Pt3) o AQUORA correspondeu às expectativas, reduzindo a vazão permissível de ser outorgada até a foz da bacia (Pt4), mantendo a disponibilidade hídrica atualizada.

Estando cada célula da drenagem associada à célula seguinte, a identificação de conflitos processou-se com segurança e em tempo reduzido. Simulando uma outorga, com base em demandas mensais, as rotinas analisaram todas as células a jusante

do ponto da captação e identificaram a menor vazão disponível para cada mês, ou seja, a máxima vazão permitida que condiciona o usuário a solicitar uma vazão menor ou igual a esta.

Com a rotina de atualização de vazões, após o gestor ativar determinada outorga, as demandas mensais implicam reduções nas vazões disponíveis, não apenas na seção de derivação, mas em toda a trajetória do escoamento nos cursos d'água até atingir a foz da bacia hidrográfica. Estes resultados têm grande aplicação ao proporcionarem atualizações permanentes das disponibilidades hídricas e garantirem a manutenção de vazões residuais em concordância com as legislações distintas de cada órgão gestor.

Desta forma, o AQUORA é um sistema de auxílio a gestão de recursos hídricos que realiza de forma automática, as análises a montante e a jusante na identificação de conflitos com as normas existentes advindos da concessão de uma nova outorga e atualiza, em tempo real, a disponibilidade hídrica mensal ao longo de toda a rede de drenagem, na unidade da bacia hidrográfica.

As demais rotinas incorporadas ao sistema para armazenar e correlacionar os dados cadastrados na outorga com a disponibilidade hídrica na rede hidrográfica, considerando a situação das outorgas e os prazos de concessão, foram testadas no SQLServer® e corresponderam às expectativas. Atualmente, o banco de dados do AQUORA está sendo atualizado para um banco de dados geográfico no formato ESRI® Geodatabase com conexão ao SGBDR Oracle® para expandir suas funcionalidades e assegurar uma interface de SIGWeb através do servidor espacial ESRI ArcGIS Server®, a ser disponibilizado no servidor da UFV (www.ufv.br/dea/gprh).

Os resultados confirmam que o estabelecimento de bancos de dados integrados é essencial na avaliação dos recursos hídricos, na simulação dos efeitos de captações sobre a disponibilidade hídrica em seções à jusante, e na gestão integrada do uso simultâneo por múltiplos usuários, principalmente em bacias onde diferentes órgãos gestores compartilham a regulação dos usos dos recursos hídricos.

CONCLUSÕES

A consideração do período trimestral incorporou sazonalidade à regionalização de vazões mínimas de referência, flexibilizando os critérios de outorga em períodos de maior disponibilidade e podendo restringir em períodos de escassez hídrica.

A obtenção automática das características físicas e pluviométricas referentes a cada célula (90m) da hidrografia permitiu a espacialização das vazões mínimas de referência, célula a célula, e conseqüentemente, a construção de uma base de dados hidrológicos com elevada qualidade, capaz de subsidiar a gestão em grandes bacias hidrográficas. Esta base de dados georreferenciada foi essencial na construção e validação do sistema AQUORA.

O AQUORA é capaz de armazenar as informações pertinentes aos processos de outorgas; obter a disponibilidade hídrica mensal para qualquer seção ao longo da rede hidrográfica; avaliar o impacto da concessão de uma nova outorga com base na disponibilidade a jusante; e atualizar a disponibilidade hídrica em toda a rede hidrográfica, com base nas outorgas já concedidas.

Por incorporar transparência e eficiência ao controle das concessões de outorgas, respeitando os critérios estabelecidos por cada órgão regulador e automatizando os processos, o AQUORA constitui uma poderosa ferramenta de gestão, capaz de expandir e modernizar a participação dos múltiplos usuários na gestão integrada dos recursos hídricos, buscando a proteção da sociedade, do meio-ambiente e dos setores produtivos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo e apoio financeiro.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio e financiamento do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas. *A ANA na gestão das águas: tecnologia e capacitação*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/TecnologiaCapacitacao/default2.asp>>. Acesso em: 5 mai. 2008.
- ANA - Agência Nacional de Águas. *GEO Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil*. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007. 264 p.
- ANA - Agência Nacional de Águas. *Visão geral sobre o SNIRH e processos geoespaciais relacionados*. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Brasília – DF, 24p. 2007b.
- ANA - Agência Nacional de Águas. *Outorga de direito de uso*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/Outorga/default2.asp>>. Acesso em: 2 jul. 2006.
- AZEVEDO, A. A. *Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã*. Viçosa, MG: UFV, 2004. 101 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola).
- BRASIL. *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997. [S. l.]: MMA/ SRH, 1997.
- CATALUNHA, M. J. *Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da Q_{7,10} para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual*. Viçosa, MG: UFV, 2004. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).
- CIDS-FGV. *Ultrapassando barreiras na gestão de recursos hídricos: Estudos de apoio à implementação de agências de cobrança pelo uso da água aplicados à bacia do rio Paraíba do Sul*. Concedente: ANA, 2003.
- CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. AGENDA 21. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <<http://www.ecolnews.com.br/agenda21/>>. Acesso em: 10 jul. 2009.
- ELETOBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. *Metodologia para regionalização de vazões*. Rio de Janeiro, 1985.
- EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R. *Atlas digital das águas de Minas*. Viçosa, MG: UFV, RURALMINAS, IGAM, 2004. 78 p.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Formulários para elaboração de processo de outorga*. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/outorga/formularios>. Acesso em: 3 jul. 2006.
- LEMONS, A. F. *Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio São Francisco, à montante do reservatório de Três Marias*. Viçosa, MG: UFV, 2006. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. *SISAGUA, Sistemas de apoio ao gerenciamento de usuários de água*. Brasília – DF, dez. 2000.
- MOREIRA, M. C. *Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água*. Viçosa, MG: UFV. 2006. 105 f. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola).
- RIBEIRO, C. A. A. S. *Geração de modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes no ArcGIS*. In: ENF613 – Tópicos avançados em sistemas de informações geográficas. Viçosa-MG, 2004.

- RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. *Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce*. Engenharia na agricultura. Viçosa – MG, v.13, n. 2, p. 103-107, abr., 2005.
- SIGRH – Sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos de São Paulo – *Manual do usuário*. São Paulo, SP: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, 2004. 47 p.
- SRH/MMA – Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente. *Estágio atual da política nacional*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/index.cfm>>. Acesso em: 10 jul. 2006.
- THOMAS, P. *A cobrança pelo uso da água nas bacias PCJ*. In: Revista ABRH – Notícias, Edição comemorativa do dia mundial da água, Nº10, mar., 2006.
- TUCCI, C. E. M. *Gestão estratégica em recursos hídricos: evolução dos recursos hídricos*. In: Revista ABRH – Notícias, Edição comemorativa do dia mundial da água, Nº10, mar. 2006.
- ZAMPROGNO, D. P. et al. *Desenvolvimento de sistema para suporte a gestão participativa de recursos hídricos*. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa - PB, 2005.

processes of rights of use and obtaining the monthly water availability for any section along the hydrographic system, is able to evaluate the impact of the concession of a new grant based on downstream availability and to update the water availability throughout the hydrographic system, based on the licenses already granted.

Keywords: information systems, RTC, water use concessions, water availability.

AQUORA – Multi-user System for Water Resources Management.

ABSTRACT

Accurate, reliable real-time information on water resources is extremely important in order to allow the anticipation of important actions for the resource management process. Using Geographic Information Systems resources and advances in computer science and telecommunications, water resources can be managed more effectively, according to the guidelines established in the National Water Resources Policy. The system integrated in a network, developed in this work, is based on structuring a collection of information required to manage water use concessions in a simple and on-line database applied initially to the Doce river watershed. This paper presents the methodology developed to create the hydrological database and construct the on-line management system, integrating the hydrological geodatabase with the basic forms of the processes about water use concessions. Using orbital images and time series of streamflows and rainfall, the quarterly minimum flows of reference were estimated throughout the whole drainage system of the Doce river watershed. The system developed, named AQUORA, besides storing information pertinent to the