

ISSN 1806-4051  
Vol. 9 - no. 2 - (jul./dez. 2012)

# Regga

REVISTA DE GESTÃO DE ÁGUA DA AMÉRICA LATINA  
REVISTA DE GESTION DEL AGUA DE AMERICA LATINA





#### EDITORES EXECUTIVOS

Carlos E. M. Tucci, IPH, UFRGS, Brasil  
Andrei Jouravlev, CEPAL, Chile  
Antônio Domingues Benetti, IPH, UFRGS, Brasil  
Walter Collischonn, IPH, UFRGS, Brasil

#### EDITORES ASSOCIADOS

Adalberto Meller  
Ademir Paceli Barbassa  
Adilson Pinheiro  
Adriano Fontainhas Bandeira  
Adriano Rolim da Paz  
Alex Santana  
Adolfo Villanueva  
Armando Bertranou  
Armando Pires  
Arno Krezinger  
Carlos Depettris  
Carlos Nobuyoshi Ide  
Carlos Ruberto Fragozo Junior  
Christopher Freire Souza  
Cleuda Freire  
Cristiano Poletto  
Cristina Pachcoalato  
Cristóvão Scapulatempo Fernandes  
Daniela Costa Bemfica  
Dante Gama Larentis  
Débora Missio  
Diego Polacchinni Carrillo  
Dieter Wartchow  
Diogo Costa Buarque  
Eduardo Lucena Amorim  
Eduardo Von Sperling  
Eneas de Souza Machado  
Francisco Lobato  
Fernán Vergara  
Fernando Dornelles

Fernando Falco Pruski  
Fernando Meirelles  
Francisco Assis de Souza Filho  
Francisco Bragança de Souza  
Francisco Forgiarini  
Geraldo Lopes da Silveira  
Gino Gehling  
Giuliano Marcon  
Glauco Kimura de Freitas  
Ingrid Illich Muller  
Jaime Cabral  
Jair Koppe  
Janine F. Haase  
Joana d'Arc Medeiros  
João Batista Dias de Paiva  
Joel Avruch Goldenfum  
José Antonio Louzada  
José Carlos Mierzwa  
José Luiz Flores Machado  
José Nilson B. Campos  
Jorge Victor Pilar  
Juliano Gimenez  
Julio Gomes  
Juan Carlos Bertoni  
Juan Martín Bravo  
Jussara Cabral Cruz  
Lafayette Dantas da Luz  
Lauro Beltrão  
Lucia Helena Ribeiro Rodrigues  
Luciano Meneses C. da Silva

Luiz Olinto Monteggia  
Luiz Silvio Scartazzini  
Márcia Maria Rios Ribeiro  
Márcio B. Baptista  
Marcos Imério Leão  
Marcos Tozzi  
Maria do Carmo Gastaldini  
Maria Lucia Silva  
Mario Luiz Damé Wrege  
Marllus Gustavo Passos das Neves  
Masato Kobiyama  
Mauro Naghettini  
Miriam Moro Mine  
Mônica Porto  
Nídio Barni  
Paulo Rógenes  
Pierre Chevallier  
Rafael Cabral Cruz  
Rafael Souza  
Roberto Kirchheim  
Rogerio Dewes  
Rosane Cavalcante  
Rutinéia Tassi  
Teodorico Alves Sobrinho  
Teresinha Guerra  
Tiago Finkler Ferreira  
Tirzah Moreira de Melo  
Wilson Cabral de Souza Junior  
Yvonilde Dantas P. Medeiros

#### ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – IPH/UFRGS  
Caixa Postal 15029  
CEP 91501-970 – Porto Alegre, RS, Brasil  
Fone: (51) 3493-2233 / 3308-6652  
Fax: (51) 3493 2233  
E-mail: [rega@abrh.org.br](mailto:rega@abrh.org.br)

#### IMPRESSÃO

Editora Evangraf  
Rua Waldomiro Schapke, 77 – Porto Alegre, RS  
Fone (51) 3336-0422

CAPA / PLANEJAMENTO GRÁFICO / EDITORAÇÃO  
Carla M. Luzzatto e Fernando Piccinini Schmitt

Rega / Associação Brasileira de Recursos Hídricos. – Vol. 9,  
no. 2 (jul./dez. 2012) –  
Porto Alegre - ABRH/Brasil, 2009 –  
v.

Semestral  
ISSN 1806-4051

1. Recursos hídricos. I. Associação Brasileira de Recursos  
Hídricos.

CDU 556.18

#### PUBLICAÇÃO SEMESTRAL

*Pede-se permuta . We demand exchange. Se pide permuta.*

# Rega

**Rega** é uma revista proposta pelo GWP Global Water Partnership da América do Sul e conta com a parceria de várias entidades nacionais e regionais na área de recursos hídricos, entre elas: CEPAL, BID, Banco Mundial, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, IARH - Instituto Argentino de Recursos Hídricos, RedeCap-Net Argentina, APRH - Associação Paraguaia de Recursos Hídricos, Sociedade Brasileira de Limnologia, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, Organização dos Estados Americanos e RIGA - Red de Investigación y Gestión Ambiental de la Cuenca del Plata.

Os objetivos da revista são de divulgar o conhecimento adquirido nas Américas sobre a Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Considera-se importante a troca de informações entre os diferentes atores na área de recursos hídricos: técnicos, decisores de governo e instituições privadas, membros de comitê e agências de bacias, usuários de águas, etc.

Os principais aspectos enfatizados são os seguintes: - resultados comparativos e experiências sobre políticas públicas em recursos hídricos; - estudos sobre a cadeia produtiva dos diferentes setores de recursos hídricos; - gerenciamento integrado dos recursos hídricos dentro de uma visão interdisciplinar; - aspectos institucionais e de gestão de recursos hídricos e meio ambiente; - setores usuários da água e impactos sobre a sociedade.

**Rega** es una revista propuesta por la GWP-Global Water Partnership de América del Sur, y cuenta con el apoyo de varias entidades nacionales y regionales en el área de recursos hídricos, entre ellas: CEPAL, BID, Banco Mundial, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, IARH - Instituto Argentino de Recursos Hídricos, Red Cap-Net Argentina, APRH - Asociación Paraguaya de Recursos Hídricos, Sociedade Brasileira de Limnologia, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Organización de los Estados Americanos y RIGA - Red de Investigación y Gestión Ambiental de la Cuenca del Plata.

El objetivo de la revista es divulgar el conocimiento adquirido en las Américas sobre la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Se considera importante el intercambio de información entre los diferentes actores en el área de Recursos Hídricos: técnicos, tomadores de decisiones del gobierno y de instituciones privadas, miembros de comités y agencias de cuenca, usuarios de recursos hídricos, etc.

Los principales aspectos enfatizados son los siguientes: - resultados comparativos y experiencias sobre políticas públicas en recursos hídricos; - influencia económica de los recursos hídricos sobre las cadenas productivas; - gestión y gerenciamento integrado de recursos hídricos dentro de una visión interdisciplinaria; - aspectos institucionales y de gestión de recursos hídricos y medio ambiente; - sectores usuarios del agua e impactos sobre la sociedad.



# Regga

REVISTA DE GESTÃO DE ÁGUA  
DA AMÉRICA LATINA  
REVISTA DE GESTIÓN DEL AGUA  
DE AMERICA LATINA

Vol.9 - N.2 - Jul./Dez. 2012

Influência de reservação hidráulica sobre sistemas de geração de energia eólica isolados / 5  
*Lucas Montado Pasquali, Paulo Kroeff de Souza, Alexandre Beluco*

Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água / 21  
*Margarita Pereira, Rafael Bloedow Kayser, Walter Collischonn*

Avaliação da biodegradabilidade das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação do biodiesel produzido com óleo extraído das vísceras de tilápia / 35  
*Erika de Almeida Sampaio Braga, Marisete Dantas de Aquino, Jackson de Queiroz Malveira, José Capelo Neto, Cristiane Alexandrino Duarte*

Estudos hidrológicos sobre a bacia de Entre-Ribeiros e avaliação do impacto do uso consuntivo de água para irrigação / 47  
*Vitor Vieira Vasconcelos, Renato Moreira Hadad, Paulo Pereira Martins Junior*

Valoração dos danos ambientais causados pela implantação da usina hidrelétrica de Estreito: o caso dos municípios de Carolina-MA e Filadélfia-TO / 63  
*Luiz Norberto Lacerda Magalhães Filho, Fernán Enrique Vergara, Waldecy Rodrigues*

# Influência de reservação hidráulica sobre sistemas de geração de energia eólica isolados

Lucas Montado Pasquali  
Paulo Kroeff de Souza  
Alexandre Beluco

**RESUMO.** Os aproveitamentos energéticos baseados em fontes renováveis enfrentam várias dificuldades de aceitação, principalmente devido a elevados investimentos iniciais e a baixos rendimentos finais. Um modo de melhorar o desempenho de sistemas baseados em fontes renováveis é o uso de armazenamento de energia, principalmente sob a forma hidráulica. Este trabalho avalia a influência de reservação hidráulica sobre sistemas de geração de energia eólica isolados, apresentando resultados obtidos com simulações computacionais e levantamentos de custos. Observou-se que o ganho no tempo de atendimento da demanda para sistemas eólicos isolados com armazenamento varia entre 1,87 e 2,39 vezes o atendimento para sistemas sem armazenamento, e que o ponto de máximo ganho corresponde a  $p$  (que relaciona a potência instalada e a demanda média) igual a 3,4, para os perfis de demanda e de vento considerados neste trabalho, coincidindo com o ponto de menor custo de energia obtido,

**PALAVRAS-CHAVE:** usinas hidrelétricas reversíveis, energia eólica, simulações computacionais.

**ABSTRACT.** The power plants based on renewable energy resources face various acceptance difficulties due mainly to high initial costs and low overall efficiencies. A way to improve the performance of these systems is the use of energy storage mainly in hydraulic form. This work evaluates the influence of hydraulic reservoirs on isolated wind power generating plants, with results from computer simulations and survey costs. A gain in the demand satisfaction time of storage equipped isolated wind systems varying from 1,87 to 2,39 times was obtained, as compared to pure wind systems and the point of maximum gain corresponds to  $p$  (which relates installed power to average demand) equal to 3,4 for the wind and demand profiles considered. This value coincides with the minimum of the energy cost. The second part of this paper treats the energy costs.

**KEY-WORDS:** Pump storage plants; wind power; mathematical simulation

## INTRODUÇÃO

Os sistemas energéticos baseados em fontes renováveis enfrentam várias dificuldades de aceitação, principalmente devido a elevados investimentos iniciais e a baixos rendimentos finais. Dentre as fontes renováveis disponíveis, a energia eólica apresenta atualmente razoável desempenho técnico e econômico, alcançando em vários empreendimentos custos por potência instalada um pouco superiores aos custos de usinas hidrelétricas. Um modo de melhorar o desempenho desses sistemas, principalmente quanto à adequação dos perfis de geração e de consumo, é a adoção de dispositivos para armazenamento de energia e, particularmente, de reservatórios de água.

As usinas reversíveis são utilizadas para suprir picos de demanda, bombeando água a um reservatório superior em momentos de baixa demanda, usualmente associados a menores tarifas. Quando houver demanda, a água armazenada é turbinada. Os últimos avanços tecnológicos permitem às máquinas elétricas nessas usinas operarem em modo síncrono quando estiverem gerando energia e assíncrono quando estiverem acionando as bombas.

Um conceito interessante é a possível associação de geração eólica a usinas reversíveis com capacidade razoável para armazenamento, que permite compensar as variações da potência eólica disponível. A energia eólica excedente pode ser empregada para bombear

água ao reservatório superior, gerando eletricidade através das turbinas hidrelétricas quando a demanda for maior que a disponibilidade eólica.

O artigo de BELUCO e MAESTRI, 2002, sugere essa possibilidade no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, utilizando usina reversível com reservatórios na “base” e no “topo” da Serra Geral e turbinas eólicas distribuídas ao longo do litoral aproveitando o potencial identificado no Atlas Eólico. O estudo conduzido por D’AGOSTINI NETO, 2005, seguiu essa sugestão e avaliou a possibilidade de melhorar o aproveitamento do potencial eólico no Litoral Norte do Rio Grande do Sul através do armazenamento em reservatórios situados na Serra Geral, com opções de volumes de armazenamento entre 18 e 130hm<sup>3</sup>. Nesse estudo, as potências situaram-se na faixa dos 150MW, tanto das turbinas eólicas quanto das máquinas hidráulicas. Os resultados indicaram que essa associação pode contribuir para elevar o fator de capacidade do sistema dos 30% usuais, indicados pela bibliografia, para mais de 90%. O artigo de D’AGOSTINI NETO et al., 2012, sugere três locais para implantação de usina hidrelétrica reversível no Litoral Norte do RS.

Este artigo pretende contribuir com esse panorama, sendo dedicado ao estudo da influência do armazenamento de energia, com o emprego de uma usina hidrelétrica reversível, sobre o desempenho de sistemas isolados de geração de energia a partir de turbinas eólicas.

## METODOLOGIA

O estudo é executado em duas etapas. A primeira estabelece o sistema em estudo e descreve simulações computacionais realizadas com o intuito de avaliar o impacto do armazenamento de energia sobre o desempenho de sistemas baseados em geração eólica, apresentando os resultados obtidos. A segunda parte apresenta os custos do sistema em estudo e alguns apontamentos que contribuem para a elaboração de uma metodologia de dimensionamento. Os resultados obtidos são apresentados em duas partes, uma correspondente às simulações e a outra aos custos e ao dimensionamento.

## O SISTEMA EM ESTUDO E AS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

O sistema em estudo é constituído por uma usina hidrelétrica reversível, com um reservatório superior e um inferior, por um conjunto de geradores eólicos

e por um conjunto de cargas consumidoras. O sistema hidrelétrico reversível consiste de um conjunto de máquinas hidrelétricas que podem operar tanto como turbinas quanto como bombas.

O gerador eólico consiste de um conjunto de turbinas eólicas com capacidade para suprir o pico de consumo em conjunto com o equipamento hidrelétrico. Esse parque eólico tem sua localização teórica em um local com regime de ventos semelhante ao da região de onde provêm os dados de velocidade de vento utilizados.

A Figura 1 mostra uma representação esquemática da associação entre um aproveitamento eólico e uma usina hidrelétrica reversível.

O estudo realizado consistiu na simulação de um sistema eólico utilizando séries anuais de velocidade de vento e de demanda, com e sem armazenamento de energia em reservatório de água. O sistema foi simulado com valores diferentes de potências instaladas, de desnível entre os reservatórios e de capacidade de armazenamento. O sistema hidrelétrico e o conjunto de turbinas eólicas foram simulados com potências instaladas variando entre 250kW e 16MW. Em cada simulação, as potências eólica e hidrelétrica instaladas (PEI) foram sempre consideradas idênticas, variando entre duas e quatro vezes o valor da demanda média, sendo chamado de  $p$  o fator que relaciona a potência instalada e a demanda média. Foram adotadas demandas médias (DEM) entre 125kW e 4MW. Os reservatórios arbitrados possuem desníveis topográficos entre 100m e 850m, com capacidades máximas de armazenamento de água de 25hm<sup>3</sup>.

Os dados de entrada das simulações foram os perfis de demanda e de velocidade do vento, com duração de um ano e discretização de uma hora, as curvas chave dos reservatórios superior e inferior, as potências eólica e hidráulica instaladas e as curvas de funcionamento das turbinas eólicas. Os sistemas de bombeamento e de turbinamento foram simulados fixando um rendimento médio de 81% para toda a faixa de funcionamento.

O comportamento do vento ao longo de um ano foi descrito com uma série de velocidades de vento obtida por D’AGOSTINI NETO et al., 2005, aplicada ao comportamento esperado de uma turbina eólica de um fabricante (JACOBS, 2005). Essa série, apresentada na Figura 2, foi obtida em uma estação meteorológica no litoral norte gaúcho, discretizada em intervalos de uma hora e adimensionalizada pelo seu valor médio. Essa série é multiplicada pelo valor

de potência eólica instalada adotado nas simulações, a fim de determinar a série de potências eólicas disponíveis em um ano.

O comportamento da demanda foi descrito com uma série fornecida pela CEEE (D'AGOSTINI

NETO et al., 2005) para o consumo dos municípios do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. A série original de demanda, apresentada na Figura 3, foi adimensionalizada pelo seu valor médio e a cada nova simulação multiplicada pela nova média de

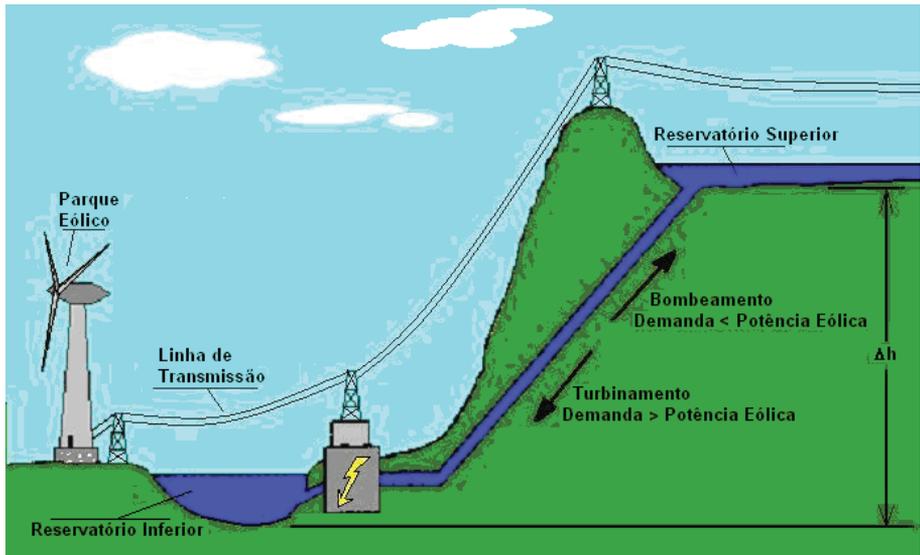


Figura 1. Representação esquemática da associação entre um aproveitamento eólico e uma usina hidrelétrica reversível com capacidade de armazenamento.

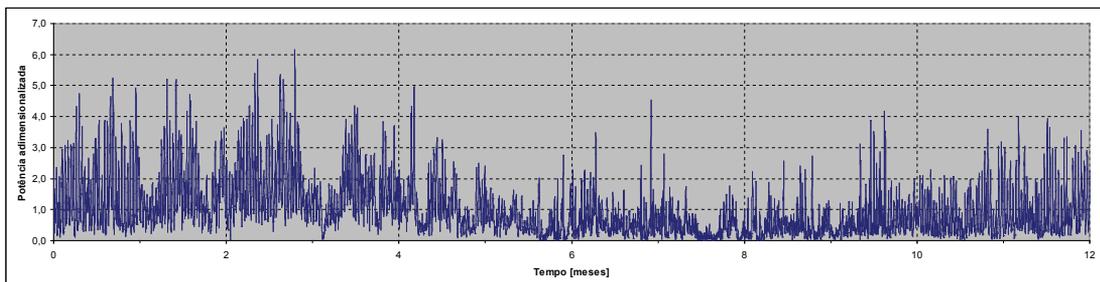
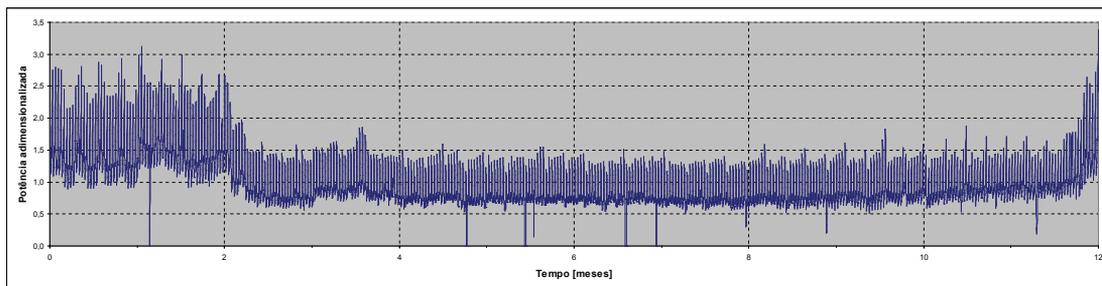


Figura 2. Comportamento da potência eólica adimensionalizada ao longo de um ano. [Fonte: D'Agostini, 2005.]

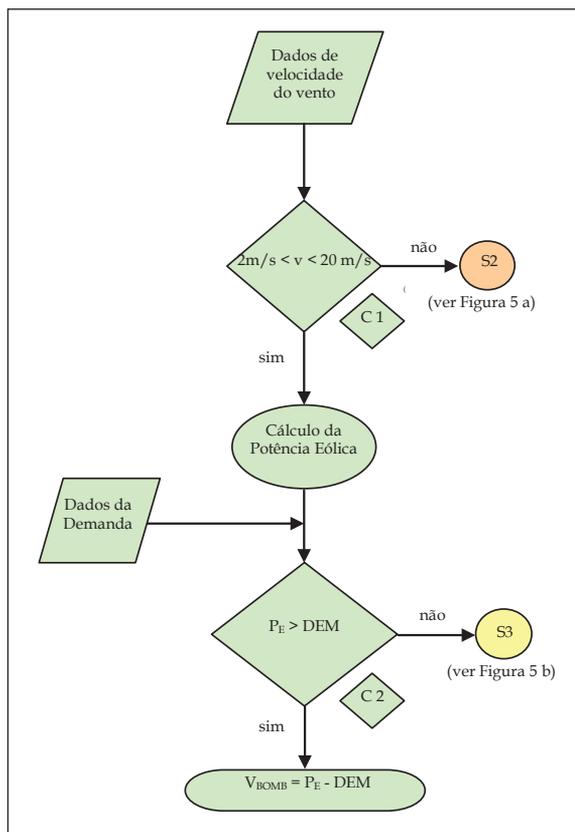
consumo adotada, mantendo sua distribuição temporal original.

Foram efetuadas então simulações computacionais descrevendo o funcionamento do sistema em estudo com e sem reservação segundo os fluxogramas mostrados na Figura 4, complementado pelos fluxogramas da Figura 5 (a) e da Figura 5 (b), e na Figura 6.

A entrada dos dados de velocidade de vento ocorre no instante  $i$ . Esse dado é verificado quanto ao seu enquadramento nos limites de velocidade estabelecidos pelo fabricante da turbina eólica, sendo essa condição denominada C1. Se C1 for negativo, ou seja, se a velocidade do vento estiver fora dos limites estabelecidos, a simulação passa à situação denominada S2, esmiuçada na Figura 5. Caso contrário, os



**Figura 3.** Comportamento da demanda adimensionalizada ao longo de um ano. [Fonte: D'Agostini, 2005.]



**Figura 4.** Fluxograma para a simulação computacional do sistema em estudo, com reservação. S2 e S3 são mostradas respectivamente na Figura 5 (a) e (b).

dados são utilizados para calcular a potência eólica correspondente, de acordo com a curva de funcionamento fornecida pelo fabricante.

Em seguida, são inseridos os dados de demanda horária e ambos são comparados em C2, que compara a potência eólica disponível e a demanda no instante *i*. Se resultar negativa, passa-se a S3 [Figura 5 (b)]. Em caso contrário, é calculado o excesso de energia eólica disponível, utilizada para bombeamento ao reservatório superior.

A situação S2 [Figura 5 (a)] ocorre quando o vento estiver fora dos padrões estabelecidos pelo fabricante e leva a C5, que analisa se há água disponível no reservatório superior. Se resultar negativa, então ocorre uma falha de atendimento equivalente à demanda instantânea. Em caso contrário, ocorre C6, que compara se a potência e a faixa de funcionamento das turbinas hidráulicas são compatíveis com a demanda instantânea. Se C6 resultar negativa, então ocorre uma falha de valor igual à demanda instantânea. Caso contrário, é turbinada a potência equivalente à demanda naquele instante.

A situação S3 [Figura 5 (b)] corresponde ao vento dentro dos padrões estabelecidos pelo fabricante e demanda maior que a potência eólica disponível, levando a C3, que analisa se há água disponível no reservatório superior. Se for negativa, então ocorre uma falha equivalente à demanda instantânea. Se C3 resultar positiva, ocorre C4, que compara se a potência e a faixa de funcionamento das turbinas são compatíveis com a diferença entre a potência eólica disponível e a demanda instantâneas. Se C4 resultar negativa ocorre uma falha, de valor igual à demanda instantânea. Caso contrário, é turbinada a potência equivalente à diferença entre a potência eólica disponível e a demanda instantâneas.

Após 8760 repetições (correspondendo às 24 horas do dia durante um ano de 365 dias), os dados de falhas e de bombeamento ou turbinamento são armazenados e os volumes deslocados são acrescidos ou decrescidos dos reservatórios. Após o término desse ciclo, os dados de volume máximo de água armazenado pelo reservatório superior, a porcentagem de atendimento da demanda e as máximas

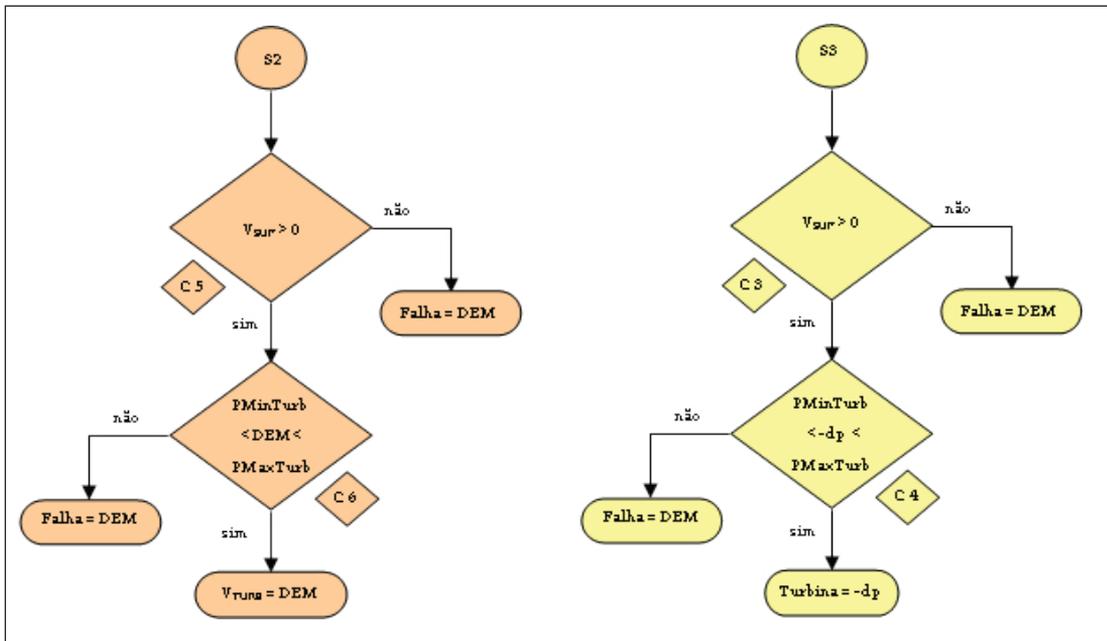


Figura 5. (a) Fluxograma para S2 na Figura 4, quando o vento não é adequado. (b) Fluxograma para S3 na Figura 4, quando o vento não é suficiente.

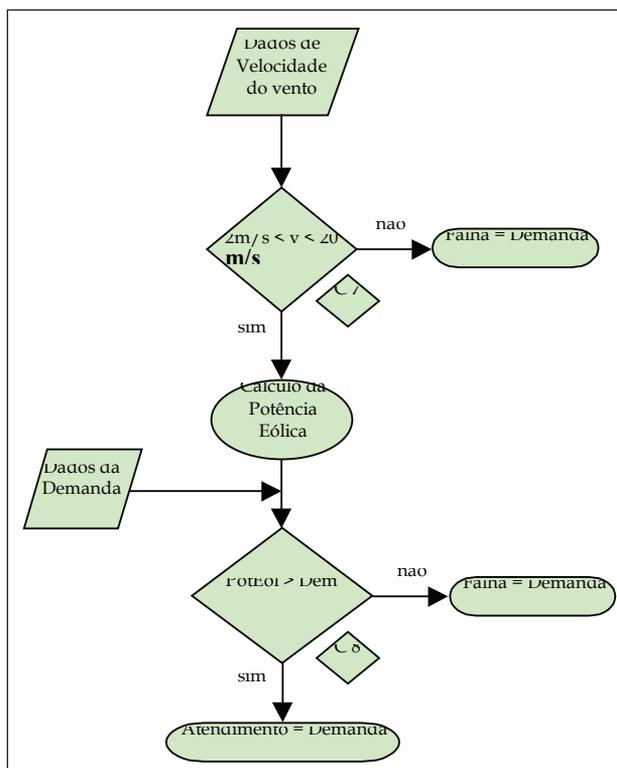
vazões do sistema são exportados para uma planilha eletrônica.

A eficiência média de um ciclo pode ser determinada pelo quociente entre a potência disponível ao turbinar determinado volume de água e a potência necessária para bombear o mesmo volume. As eficiências médias adotadas foram de 0,96 para o sistema adutor e 0,92 para as turbinas, bombas, motores e geradores. O produto desses rendimentos dá o rendimento médio de um ciclo de bombeamento ou turbinamento, 0,81, e o quadrado do mesmo dá a eficiência média de um ciclo de reservação, 0,66. Esse valor está de acordo com a faixa de eficiências de ciclos de reservação de SORENSEN, 2004, entre 0,65 e 0,80.

Buscando um parâmetro para comparação, o sistema em estudo foi simulado sem armazenamento. A simulação foi criada a partir do fluxograma da Figura 6 e utilizou os mesmos recursos apresentados anteriormente. Seguindo o fluxograma da Figura 6, a entrada dos dados de velocidade do vento ocorre no instante  $i$ . Esse dado é verificado quanto ao seu

enquadramento nos limites de velocidade estabelecidos pelo fabricante da turbina eólica, sendo essa a condição C7. Se o resultado for negativo, ocorre uma falha correspondente à demanda instantânea. Caso contrário, é calculada a potência eólica correspondente, de acordo com a curva de funcionamento fornecida pelo fabricante.

Após esse cálculo, são inseridos os dados de demanda instantânea e ambos são comparados em C8, que julga se a potência eólica disponível no instante  $i$  é maior que a demanda no mesmo instante. Se o resultado for negativo ocorre outra falha, também correspondente à demanda instantânea. Em caso contrário ocorre atendimento da demanda instantânea pelas turbinas eólicas e esse dado é também submetido aos parâmetros fornecidos pelo fabricante das bombas. Ao final, fica clara a desvantagem de um sistema puramente eólico quando comparado a um sistema com reservação por bombeamento, pois a diferença entre a potência eólica disponível e a demanda no instante  $i$  não pode ser reservada para utilização posterior.



**Figura 6.** Fluxograma para a simulação computacional do sistema sem reservação.

## RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

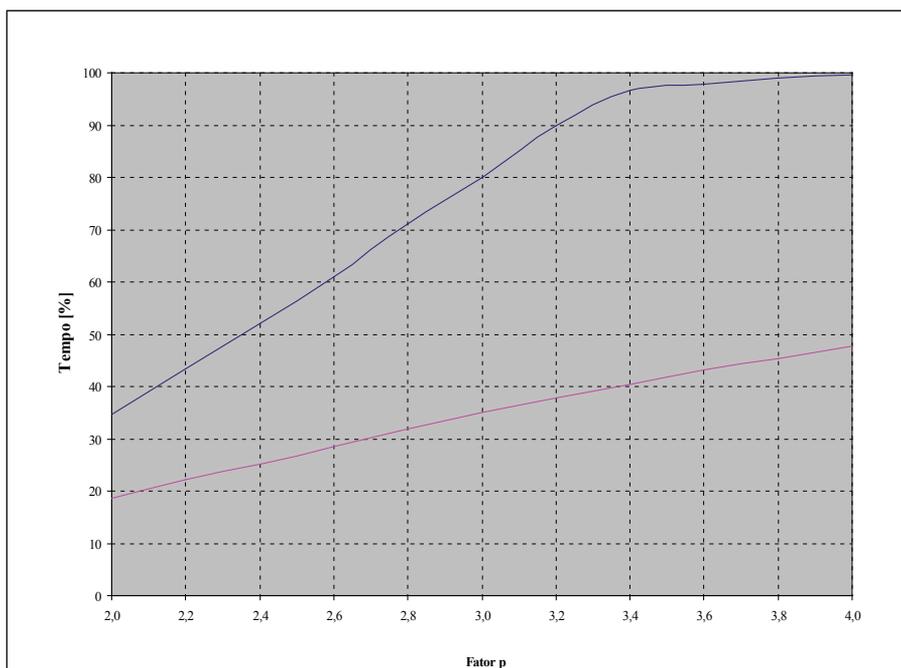
Quatro dados principais foram gerados a partir das simulações das combinações de potências instaladas, de desníveis entre os reservatórios e de capacidade de armazenamento, sendo eles a percentagem de tempo em que a demanda é atendida, o volume total utilizado, em hm<sup>3</sup>; o custo de instalação do sistema, em US\$/kW; e o custo de energia, em US\$/MWh.

O objetivo perseguido com as simulações foi conhecer o comportamento do sistema frente às variações de potências instaladas, de desníveis entre os reservatórios e de capacidade de armazenamento, identificando as combinações que viabilizam o melhor atendimento da demanda das cargas consumidoras e o melhor aproveitamento das disponibilidades energéticas. Nesse sentido, o atendimento da demanda ocorre sempre que não for configurada uma falha, ou seja, sempre que a potência demandada pelas cargas for integralmente fornecida.

A Figura 7 mostra o tempo de atendimento da demanda, em percentagem do intervalo de tempo total considerado, em função dos valores do fator  $p$ , com e sem reservação.

Os pontos da curva correspondente aos sistemas sem reservação foram obtidos considerando que a demanda ao longo de um ano apresentada na Figura 3 é atendida apenas pela disponibilidade eólica apresentada na Figura 2. Na verdade, atualmente, a demanda é atendida em parte pela energia fornecida pelas turbinas eólicas instaladas na região e em parte pelo sistema interligado. Os pontos da curva mais acima permitem avaliar o quanto o sistema interligado poderia ser desonerado do fornecimento de energia para a região se as turbinas eólicas pudessem operar em conjunto com uma usina reversível, conforme discutido neste artigo.

Os pontos dessas duas curvas foram obtidos com os vários sistemas simulados. Observa-se que para todos os valores de  $p$  simulados a curva correspon-



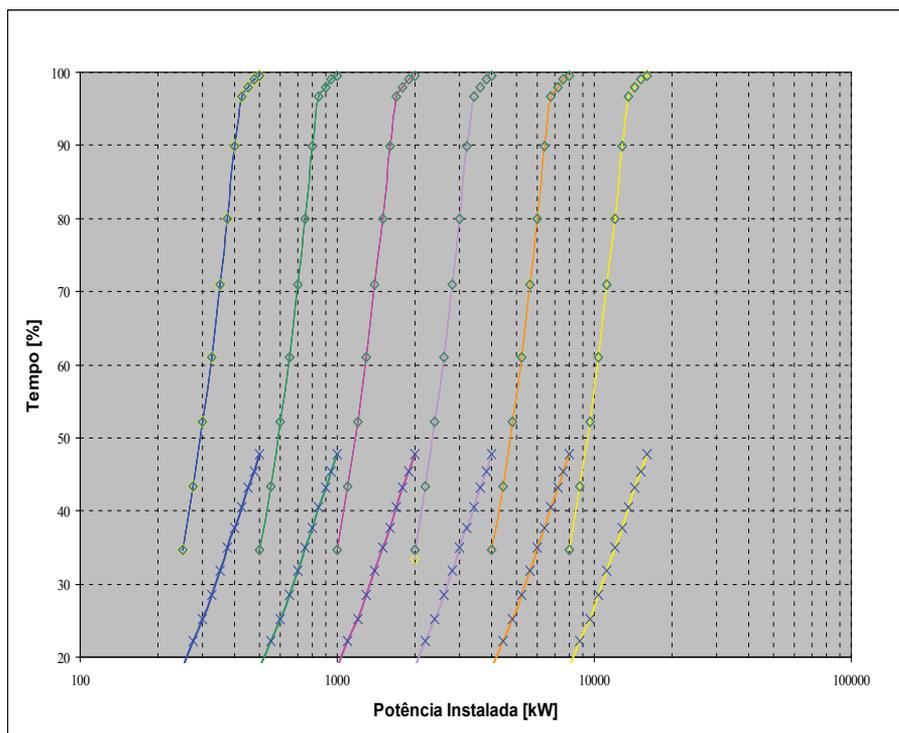
**Figura 7.** Atendimento da demanda, em percentagem do tempo total considerado, em função do fator  $p$ , que relaciona a potência instalada com a demanda média. Em azul, acima, sistema com reservação; em vermelho, abaixo, sem reservação.

dente aos sistemas com reservação situa-se acima da curva correspondente aos sistemas sem reservação. Observa-se também nessa figura que a distância entre essas curvas aumenta a uma taxa maior até que  $p$  atinja aproximadamente o valor 3,4 e que quando  $p$ , que relaciona a potência instalada com a demanda média, atinge esse valor obtém-se um atendimento da demanda em cerca de 96% do tempo total considerado. Por fim, observa-se que o tempo de atendimento da demanda para sistemas com armazenamento varia entre 1,87 e 2,39 vezes (respectivamente para os valores de  $p$  iguais a 2 e a 3,4) o atendimento para sistemas sem armazenamento.

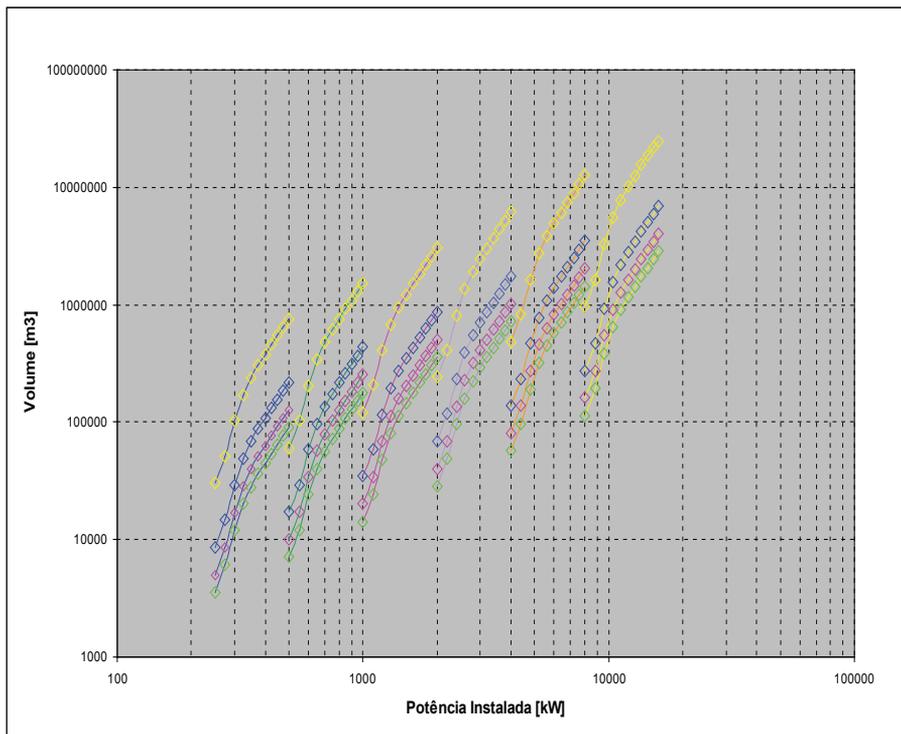
A Figura 8 mostra as percentagens do tempo total considerado em que ocorre atendimento da demanda para todas as simulações, tanto para sistemas com reservação hidráulica quanto para sistemas eólicos puros, sem reservação. Cada curva foi obtida com onze resultados de simulação, correspondendo aos onze valores do fator  $p$  entre 2 e 4 a intervalos de 0,2.

Os conjuntos de curvas correspondem, respectivamente, às demandas de 125kW, 250kW, 500kW, 1MW, 2MW e 4MW. Portanto, em cada uma das curvas, cada um dos onze pontos correspondem às potências instaladas de  $p$  vezes a demanda correspondente. As curvas mais acima correspondem aos sistemas com reservação hidráulica, enquanto as curvas mais abaixo correspondem aos sistemas puramente eólicos, ou seja, sem reservação. As curvas dos sistemas com reservação aparecem no gráfico seguinte, aonde são mostradas diferenças correspondentes aos desníveis topográficos entre os reservatórios superior e inferior.

Os conjuntos de curvas mostrados na figura correspondem, da esquerda para a direita, respectivamente, às demandas de 125kW, 250kW, 500kW, 1MW, 2MW e 4MW. Cada conjunto de curvas corresponde respectivamente, de cima para baixo, respectivamente, aos desníveis topográficos de 100m, 350m, 600m e 850m.



**Figura 8.** Atendimento da demanda, em percentagem do intervalo de tempo total considerado, em função da potência total instalada.



**Figura 9.** Volume total utilizado dos reservatórios em função da potência instalada.

É interessante observar que as curvas de mesma demanda estão sobrepostas, ou seja, o comportamento do tempo de atendimento da demanda é igual para todos os valores de desníveis topográficos entre reservatórios, e pode ser extrapolada para qualquer outra situação, em função do fator  $p$ . A curva mais acima das duas mostradas na Figura 7 mostra o tempo de atendimento da demanda em função do fator  $p$  para as seis curvas situadas na parte mais acima da Figura 8, enquanto a curva mais abaixo na Figura 7 vale para as seis curvas situadas na parte mais acima da Figura 8.

É possível determinar equações que relacionem o tempo de atendimento com o fator  $p$ . A percentagem de atendimento para sistemas puramente eólicos, dada por ASR, atendimento sem reservação, é dada por (1), que apresenta  $R^2$  igual a 0,9955 para valores de  $p$  entre 2 e 4.

$$ASR = 14,6p - 9,8 \quad (1)$$

Para sistemas com reservação hidráulica, a percentagem de atendimento, dada por ACR, com reservação, é dada por (2), que apresenta  $R^2$  igual a 0,9996 para valores de  $p$  entre 2 e 4.

$$ACR = 16,1p^5 - 239,1p^4 + 1383,4p^3 - 3918,1p^2 + 5484,7p - 302 \quad (2)$$

Esse resultado sugere a investigação da influência de séries de vento com diferentes fatores de forma  $k$ , de forma a determinar como o sistema proposto pode funcionar em outras regiões, com diferentes distribuições temporais de vento.

A Figura 9 mostra os volumes máximos atingidos nos reservatórios ao longo de um ano de simulação. Cada conjunto de curvas de uma dada demanda média corresponde a um valor diferente de desnível topográfico entre reservatórios e assume valores maiores com a diminuição da queda, estando de acordo com a equação para potência hidrelétrica, onde, para

uma dada potência, um aumento na queda resulta numa diminuição da vazão, e conseqüentemente no volume total deslocado.

Observa-se nessa figura um grande crescimento no volume máximo atingido para os conjuntos de curvas com desnível de 100m, a partir da demanda média de 500kW. Esse comportamento tem especial importância na avaliação econômica dos sistemas propostos e destaca a importância de uma correta avaliação das condições topográficas, procurando por opções que minimizem as dimensões das barragens necessárias.

Os resultados obtidos com as simulações do sistema sem reservação confirmaram os resultados já conhecidos para a percentagem de atendimento, de RETSCREEN, 2005, correspondente a 30%. Este valor situa-se dentro da faixa de valores obtidos, entre 20% e 50%, como pode ser observado com os resultados da Figura 7.

## RESULTADOS DA ANÁLISE DE CUSTOS

Os custos utilizados neste estudo foram obtidos com uma pesquisa entre os autores que disponibilizam equações de custos para sistemas de geração hidrelétrica e de geração eólica, com fabricantes de equipamentos e com contatos pessoais diretos. Os custos foram estimados utilizando o dólar americano como moeda e as equações de custos são apresentadas na Tabela 1.

Com essas equações de custos, foram determinados os custos de instalação dos sistemas propostos, para as combinações de potências demandadas, de potências instaladas e de desníveis topográficos entre os reservatórios superior e inferior consideradas nas simulações, considerando custos de infra estrutura e de equipamentos. As barragens foram consideradas como construídas em terra, com dimensões obtidas das cartas citadas por D'Agostini Neto et alli (2005). Os comprimentos dos condutos forçados, bem como das linhas de transmissão, também foram obtidos nessas cartas. Foram considerados também comportas e grades de proteção para impedir a entrada nos condutos de objetos que possam danificar as máquinas hidráulicas, válvulas e ponte rolante, quadros de comando, dispositivos de proteção típicos de sistemas de geração de energia, além de subestações e linhas de transmissão necessárias à interligação da usina hidrelétrica reversível ao sistema energético formado pelos geradores eólicos e os consumidores localizados no Litoral Norte do RS. Também foram considerados os custos para desapropriação dos terrenos que incluírem

as áreas dos reservatórios superior e inferior, da casa de máquinas e dos condutos forçados.

Os resultados foram expandidos no tempo, considerando um período de operação de trinta anos, considerando seis meses de carência para o início do pagamento do financiamento, considerando juros iguais a zero durante a fase de construção e juros nominais iguais a doze por cento (12%) ao ano para o resto do período. Os custos totais então foram obtidos pela soma dos custos de instalação, dos custos anuais de operação e manutenção (estimados em 5% do investimento inicial) e dos custos anuais de financiamento. Utilizou-se como base para a amortização o Sistema Price, com prestações constantes. O cálculo foi efetuado com base na experiência anterior dos autores.

O custo específico de instalação é igual ao quociente entre o investimento total e a potência instalada, em US\$/kW. O produto da fração do intervalo de tempo total considerado em que houve atendimento da demanda pela potência média demandada pelos consumidores resulta na energia total que foi gerada ao longo dos trinta anos considerados na análise. O quociente da energia total gerada pelo custo total fornece o custo específico de energia, em US\$/MWh.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos com a avaliação de custos de instalação e da energia gerada referentes ao presente estudo.

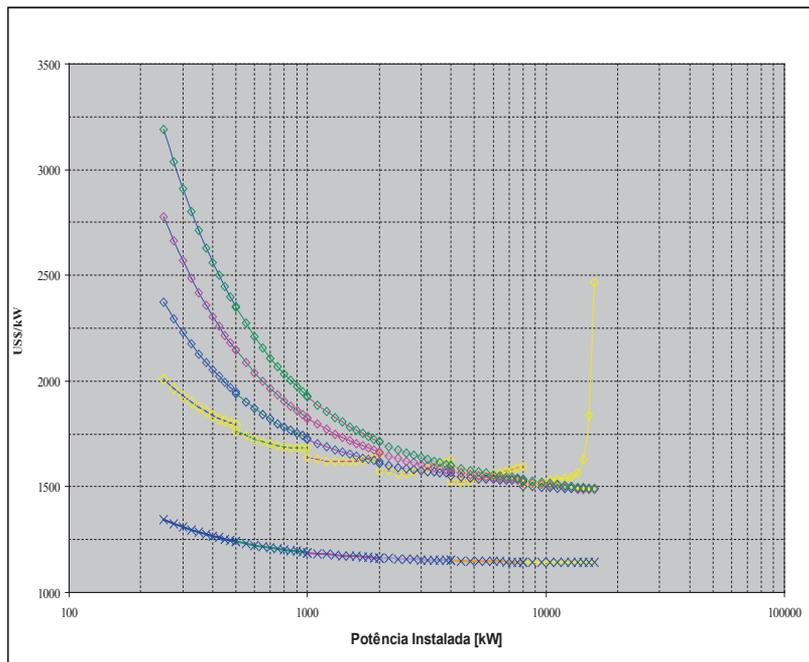
A Figura 10 apresenta o comportamento dos custos de instalação do sistema, para todas as combinações de demanda das cargas consumidoras, de potência instalada e de desnível entre os reservatórios superior e inferior da usina hidrelétrica reversível. O conjunto de curvas situado mais acima corresponde aos sistemas eólicos operando em conjunto com a usina hidrelétrica reversível, enquanto a curva mais abaixo corresponde ao sistema eólico puro, sem reservação. O conjunto de curvas situado mais acima se divide claramente em quatro curvas, que correspondem, de cima para baixo, respectivamente, aos desníveis topográficos de 850m, 600m, 350m e 100m entre os reservatórios superior e inferior.

Em cada uma das curvas que aparecem, os pontos mais à esquerda correspondem às menores potências demandadas pelas cargas. Com a potência instalada crescente, crescem também os valores de potência demandada. É possível perceber uma tendência, para o sistema de geração eólica com reservação hidrelétrica, para um valor de aproximadamente US\$1500/kW, e para os sistemas de geração eólica puro, portanto sem reservação, de US\$1150/kW.

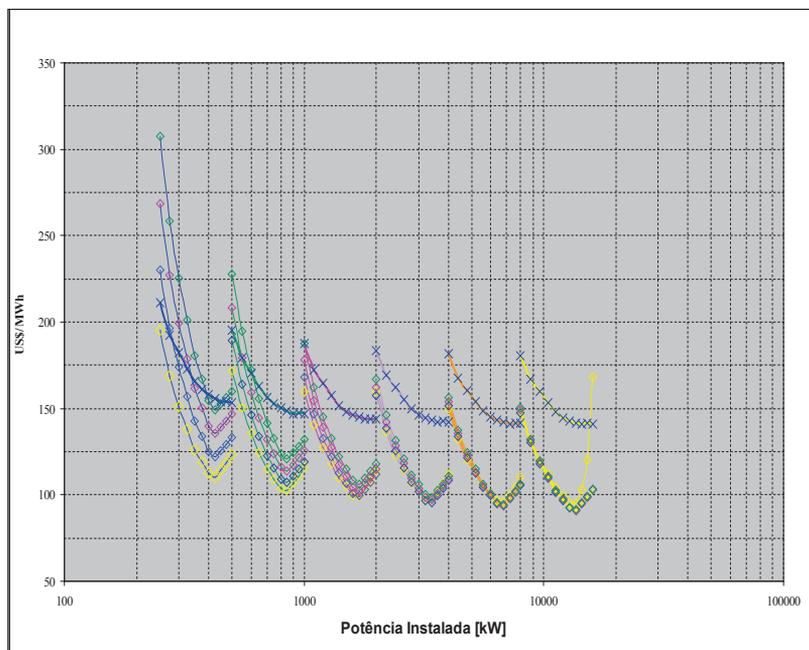
TABELA 1  
Estimativa de custos dos componentes do sistema estudado, sendo  $QM = qM.nH$ .

Item	Custo [US\$]	Fonte
Barragem de terra	$CBT = (43,88 \times h_B^2 + 82,6) \times L_B$	[1]
Bombas centrífugas	$CBC = 80 \times P_H$	[2]
Turbinas eólicas	$CTE = 995,23 \times P_E + 46273$	[3]
Turbinas hidráulicas	$CTH = (200,3 - 0,003 \times P_H) \times P_H$	[4]
Conduto forçado	$CCF = (5260,2 \times Q_M^2 + 51,8 \times Q_M + 221650) \times L_C$	[5]
Apoios dos condutos	$CAC = (1821,6 \times q_M^2 + 8847,3 \times q_M + 105244,8) \times (1 + V_{INCC}) \times L_C$	[6]
Casa de máquinas	$CCM = 35,13 \times P_H \times (1 + V_{INCC})$	[6]
Comportas e grades	$CCG = 4,2 \times Q_M^2 + 73 \times Q_M + 304,3$	[6]
Válvulas	$CV = 7,62 \times P_H$	[6]
Ponte rolante	$CPR = 4,49 \times P_H$	[6]
Gerador	$CG = 1149,72 \times (P_H)^{0,74} \times (n_H \times 15,5)^{1,35}$	[4]
Quadros de comando	$CQC = 15,95 \times P_H$	[6]
Dispositivos de proteção	$CDP = 5,5 \times P_H$	[6]
Subestação	$CSE = 31,12 \times P_H$	[6]
Linhas de transmissão	$CLT = (3842,9 + 3,3 \times P_H - 0,0001 \times P_H^2) \times L_T$	[6]
Terrenos	$CTR = CUT \times A_D$	[6]

**Legenda:** CBT: custo da barragem de terra;  $h_B$ : altura da barragem de terra;  $L_B$ : comprimento da barragem de terra; CBC: custo das bombas centrífugas;  $P_H$ : potência hidráulica instalada; CTE: custo das turbinas eólicas;  $P_E$ : potência eólica instalada; CTH: custo das turbinas hidráulicas; CCF: custo dos condutos forçados;  $Q_M$ : vazão turbinada ou bombeada;  $L_C$ : comprimento dos condutos forçados; CAC: custo dos apoios dos condutos forçados;  $q_M$ : vazão específica turbinada ou bombeada;  $V_{INCC}$ : variação do Índice Nacional de Custo de Construção; CCM: custo da casa de máquinas; CCG: custo de comportas e grades de proteção; CV: custo das válvulas; CPR: custo da ponte rolante; CG: custo dos geradores elétricos;  $n_H$ : rotação das máquinas elétricas; CQC: custo do quadro de comando; CDP: custo dos dispositivos de proteção; CSE: custo da subestação; CLT: custo das linhas de transmissão;  $L_T$ : comprimento estimado das linhas de transmissão; CTR: custo para aquisição dos terrenos que incluam as áreas dos reservatórios superior e inferior, da casa de máquinas e dos condutos forçados; CUT: custo unitário do terreno;  $A_D$ : áreas dos terrenos a serem desapropriados. [Fontes: (1) BALARIM, 2000; (2) BELUCO, 1994; (3) WTIC, 2009; (4) ELETROBRÁS, 2000; (5) SAINT GOBAIN, 2011, e (6) SOUZA, 1992.]



**Figura 10.** Custos de instalação para sistemas eólicos isolados em operação conjunta com uma usina hidrelétrica reversível e em operação sem reservação, para potências demandadas de 125kW, 250kW, 500kW, 1MW, 2MW e 4MW, para as alturas simuladas. A primeira curva, de baixo para cima, corresponde ao sistema sem reservação. As curvas situadas mais acima correspondem, de cima para baixo, aos desníveis de 100m, 350m, 600m e 850m.



**Figura 11.** Custos de energia para sistemas eólicos isolados em operação conjunta com um usina hidrelétrica reversível e em operação sem reservação, para potências demandadas de 125kW, 250kW, 500kW, 1MW, 2MW e 4MW, para as alturas simuladas. O conjunto de curvas mais alto, corresponde ao sistema sem reservação. As outras curvas correspondem, de cima para baixo, aos desníveis de 100m, 350m, 600m e 850m.

Observa-se que a parte final da curva mais baixa entre as curvas correspondentes aos sistemas com reservação apresentou um comportamento diferente, com custos bastante mais elevados que a tendência identificada. O último ponto, correspondente à potência demandada de 4MW e desnível topográfico de 100m, com potência instalada de 16MW, situação em que o reservatório se mostrou exagerado, apresentou um custo de cerca de US\$ 2.500/kW.

Os valores correspondentes às maiores demandas médias e quedas de 100m tornam essas opções relativamente mais caras, situando as mesmas fora do “envelope” de custos de instalação esperado. Esse “envelope” é demarcado pela envoltória das curvas de custos de instalação e aparece ilustrado na Figura 12 (a). É visível o comportamento ordenado dos valores assumidos pelos custos de instalação, o que sugere que se pode aprofundar seu estudo, de forma a generalizar seu cálculo a outras combinações de potências instaladas e demandas.

A Figura 11 ilustra os custos de energia obtidos através da aplicação dos resultados da simulação para sistemas com e sem reservação. Aparecem claramente seis conjuntos de curvas, correspondendo cada conjunto, da esquerda para a direita, respectivamente, às potências demandadas de 125kW, 250kW, 500kW, 1MW, 2MW e 4MW. Cada um desses seis conjuntos de curvas é constituído por quatro curvas que correspondem, de cima para baixo, respectivamente, aos desníveis topográficos de 850m, 600m, 350m e 100m entre os reservatórios superior e inferior da usina hidrelétrica reversível. Sobrepostas a essas curvas, aparecem curvas que se mantêm sempre aproximadamente entre os valores de US\$ 175/MWh e de US\$ 150/MWh, que correspondem aos sistemas puramente eólicos.

Observa-se que os custos se situam entre US\$ 94,30/MWh e US\$ 321,40/MWh e para todas combinações de potência demandada, de potência instalada e de desnível topográfico entre os reservatórios há um ponto de mínimo, fortemente relacionado ao atendimento da demanda, ao volume máximo armazenado e ao comprimento da tubulação que, por sua vez, variam com a queda. Para todos os pontos de menor custo de energia, o valor de  $p$ , que é a relação entre a potência instalada e a demanda média, é igual a 3,4. Este resultado obviamente corresponde a uma potência instalada 340% maior do que a demanda média.

Nota-se também um deslocamento da posição relativa das curvas de diferentes quedas para uma

mesma demanda média. Para demandas médias baixas, de 125kW e 250kW, o menor custo de energia é obtido com a queda de 100m. Já para uma demanda média de 500kW, o menor custo é obtido para a queda de 350m, e para as maiores demandas médias, de 1000kW, 2000kW e 4000kW, o menor custo é obtido com a queda de 600m. Estes resultados estão fortemente ligados aos resultados mostrados na Figura 12 da primeira parte deste artigo, onde é possível observar o grande crescimento do volume armazenado para a queda de 100m, que é, para todos os casos, oitenta e sete vezes maior que o volume correspondente para a queda de 850m. Como o atendimento da demanda é igual para todas combinações de demandas, potências instaladas e quedas, e o valor de menor custo de energia é atingido sempre para  $p$  igual a 3,4, com um atendimento da demanda de 96,6%, para todos os casos.

Na Figura 11 é possível também analisar o comportamento do custo de energia eólica sem reservação, que não atingiu nenhum ponto de mínimo para a faixa de potências estudada. Para a demanda de 125kW, o custo da energia puramente eólica está inserida entre os valores de energia de sistema com reservação. Percebe-se, no entanto, que este sistema se torna imediatamente mais caro para sistemas de maiores proporções, sendo menor apenas no caso da combinação de demanda igual a 4000kW, queda de 850m e potência instalada de 16MW, mas mesmo assim, atendendo a apenas 47,7% da demanda, contra 99,6% com reservação.

Da mesma forma que os volumes máximos utilizados e o custo de instalação, o custo de energia possui um comportamento coerente, que pode ser futuramente estudado, de forma a criar uma metodologia de dimensionamento de sistemas de reservação hidráulica em funcionamento conjunto com geradores eólicos.

Assim como nas análises anteriores, a combinação de desnível topográfico de 100m entre os reservatórios, de demanda média de 4MW e  $p$  maior que 3,4 leva a um custo de energia fora da envoltória de custos de energia ilustrada na Figura 12 (b), devido às grandes dimensões atingidas pelo reservatório hidráulico, elevando exageradamente seu custo.

Assim como em outros sistemas energéticos que considerem a utilização de mais de um recursos energético, observa-se nos resultados apresentados o sistema com reservação apresentando um custo de instalação maior mas um custo específico por energia gerada inferior.

A Figura 12 (a) e a Figura 12 (b) apresentam respectivamente as envoltórias dos custos de instalação, apresentados na Figura 10, e de energia, apresentados na Figura 11. Na Figura 12 (a), a linha superior marca os valores máximos, correspondentes aos sistemas com reservação, com 850m de desnível topográfico, enquanto a linha inferior marca os mínimos, dos sistemas sem reservação. Observam-se claramente as tendências já identificadas anteriormente, de US\$1500/kW na linha superior, para os sistemas com reservação, e de US\$1150/kW na linha inferior, para os sistemas sem reservação.

**Figura 12.** (a) Envoltória dos custos de instalação apresentados na Figura 10. (b) Envoltória dos custos de energia apresentados Figura 11. Em azul aparecem os valores mínimos e em vermelho aparecem os valores máximos.

## CONTRIBUIÇÕES PARA UMA METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO

Os gráficos gerados neste artigo podem contribuir na tomada de decisões visando dimensionamento, indicando os custos de instalação do sistema, os custos de energia e as dimensões do reservatório associado a um determinado desempenho. Este capítulo contribui, à guisa de conclusão, sugerindo etapas de uma metodologia de dimensionamento.

Se o sistema e os comportamentos da demanda e do vento são similares aos considerados neste trabalho, um critério para determinação destas variáveis pode ser a escolha de um nível de atendimento da demanda e a obtenção de determinada proporção entre a demanda média a ser atendida e as potências eólica e hidrelétrica a serem instaladas.

Com esses valores e tendo escolhido um local para a construção do reservatório, determina-se o desnível topográfico entre os reservatórios e obtém-se da Figura 12 da primeira parte deste artigo a capacidade necessária de reservatório. Da mesma forma, obtém-se da Figura 10 e da Figura 11 respectivamente os custos de instalação e de energia.

Essa metodologia é válida para as séries de ventos e demanda aqui estudadas, sendo ainda necessário, como citado na primeira parte deste artigo, estudar a influência de diferentes séries de ventos visando a proposição de uma metodologia de dimensionamento que sirva a qualquer situação. Como alternativa, para estudos de casos práticos em zonas de diferentes regimes de vento e demanda, é necessário realizar novas simulações com um conjunto de dados de vento e de demanda, de modo a recriar a simulação desenvolvida

neste trabalho e a partir dos novos gráficos gerados determinar a configuração mais adequada.

Outra variável a ser levada em consideração é a limitação da capacidade dos reservatórios. Neste estudo, foi determinado o volume máximo utilizado, sem aplicar restrições. No entanto, em situações reais, é usualmente difícil senão impossível dispor de uma topografia sem limitações físicas ou de uma região sem impedimentos de cunho ambiental.

Por fim, na medida em que sejam realizadas novas simulações para outras condições de vento e para outros perfis de demanda, uma metodologia genérica de dimensionamento deve levar em consideração técnica de otimização que permitam determinar a melhor combinação de potências instaladas e de volumes acumulados.

## CONCLUSÕES

A metodologia aqui aplicada mostrou-se eficiente no entendimento da influência da reservação hidráulica sobre sistemas de geração eólica isolados, apontando tendências de custos de instalação, pontos de custo mínimo de energia, e ganhos na garantia de atendimento da demanda com a adoção da reservação de energia.

O ganho no tempo de atendimento da demanda para sistemas com armazenamento varia entre 1,87 e 2,39 vezes o atendimento para sistemas sem armazenamento, e o ponto de máximo ganho corresponde a  $p$  (que relaciona a potência instalada e a demanda média) igual a 3,4, para os perfis de demanda e de vento considerados neste trabalho, coincidindo com o ponto de menor custo de energia obtido. Deve-se ter em mente que as limitações impostas pela topografia do local em estudo podem levar a situações como a que ocorreu para uma demanda de 4GW,  $p=4$  e  $\Delta h=100m$ , em que o reservatório se tornou demasiadamente grande. As curvas de atendimento da demanda mostraram um comportamento que depende somente do fator  $p$ . Outros estudos podem se valer deste comportamento, simulando o sistema proposto para um número menor de situações, e ampliando a curva obtida para outras demandas médias.

Apesar dos custos maiores associados a sistemas de geração eólica com armazenamento de energia, como o que foi estudado neste trabalho, em relação a sistemas sem armazenamento, o custo de energia é menor em praticamente todas situações e a confiabilidade do sistema é aumentada. Esta confiabilidade é aqui entendida como uma maior garantia de atendimento da demanda, reduzindo períodos de falta de energia

elétrica e seus inconvenientes. O custo de instalação para sistemas com armazenamento tende para um valor aproximado de US\$1500/kW, que está de acordo com a faixa superior de custos de instalação citado por NREL, 2005, e um estudo de potências maiores pode apontar para custos menores, como os indicados, de

até US\$500/kW. Apesar do maior custo de instalação para sistema de geração eólica com armazenamento em relação a sistemas sem armazenamento, o custo de energia é menor em praticamente todas as situações e o ganho em atendimento dos consumidores pode ser interpretado como de maior importância.

## Referências

- BALARIM, C. R. Uma Contribuição ao Estudo de Custo de Micro Centrais Hidrelétricas Brasileiras, 2000.
- BELUCO, A. Viabilidade de Microcentrais Hidrelétricas Baseadas no Emprego de Equipamentos de Mercado. Porto Alegre, 1994. 170p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC), UFRGS
- BELUCO, A.; MAESTRI, R. D. Uma sugestão para aproveitamento da energia eólica, no Litoral Norte do RS, por meio de um sistema híbrido eólico hidrelétrico. ABRH Notícias, n. 8, p.16, jun. 2002.
- D'AGOSTINI NETO, J.; PASQUALI, L. M.; BELUCO, A. Estudo de caso para implantação de reservatórios hidráulicos acoplados com aproveitamentos eólicos no Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. Relatório interno. IPH, UFRGS
- D'AGOSTINI NETO, J.; PASQUALI, L. M.; MAESTRI, R. D.; BELUCO, A. Três locais para implantação de usina hidrelétrica reversível ao sul dos Aparados da Serra, no Litoral Norte do RS. PCH Notícias, v.52, p.32-37, 2012.
- ELETOBRÁS. Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Brasília: 2000, Disponível em: <www.eletobras.gov.br> Acesso em 02 abr. 2005.
- JACOBS. Fabricante de Turbinas Eólicas.EUA. Disponível em: www.windturbine.net Acesso em 10 abr. 2005.
- NREL. EUA, Laboratório Nacional de Energias Renováveis. Disponível em: www.nrel.gov. Acesso em: 30 mar. 2005.
- RETSSCREEN. Canadá, Clean Energy Decision Support Centre, 1996-2000. Disponível em: www.retscreen.net. Acesso em: 18 jan. 2005.
- SAINT GOBAIN. Brasil. Fabricante de Tubos, válvulas e conexões de ferro fundido. Disponível em: www.saint-gobain.com.br. Acesso em: 16 abr. 2011.
- SORENSEN, B. Renewable Energy - Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects. Rio de Janeiro: Elsevier Science, 2004. 945p.
- SOUZA, Zulcy de. Centrais Hidrelétricas - Dimensionamento de Componentes. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1992. 197 pg.
- WTIC. USA, Wind Turbine Industries Corporation. Fabricante de turbinas eólicas e acessórios. Disponível em: www.windturbine.net. Acesso em: 16 abr. 2009.

**Lucas Montado Pasquali** Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. Email: lucasp@bertolini.com.br

**Paulo Kroeff de Souza** Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

**Alexandre Beluco** Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. Email: albeluco@iph.ufrgs.br



# Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água

Margarita Pereira  
Rafael Bloedow Kayser  
Walter Collischonn

**RESUMO:** Os procedimentos para decidir tecnicamente sobre pedidos de outorga de direito de uso da água envolvem etapas de comparação entre a demanda e a disponibilidade de água, as quais têm forte relação com os atributos espaciais da rede de drenagem e da localização dos diferentes usuários de água em uma bacia hidrográfica. Idealmente, portanto, modelos hidrológicos utilizados para analisar a disponibilidade de água nos locais onde a outorga é solicitada deveriam ser integrados a um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Neste trabalho apresentamos uma metodologia de integração de modelos hidrológicos e SIG para auxílio à tomada de decisão em pedidos de outorga de direito de uso da água. A metodologia envolve: 1) a utilização de SIG para pré-processamento de dados visando a aplicação de um modelo hidrológico chuva-vazão; 2) a aplicação do modelo chuva-vazão para gerar estimativas da vazão de referência adotada como disponibilidade hídrica em cada trecho de rio em que é dividida a bacia; 3) a transferência dos resultados do modelo hidrológico de volta ao SIG; e 4) a aplicação de um Sistema de Suporte à Decisão no qual cálculos simples de balanço hídrico são realizados internamente em um SIG. É apresentado um teste da metodologia na bacia do rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul-Brasil, região em que as demandas ultrapassam a disponibilidade de água. Os resultados no estudo de caso demonstraram que é possível aprimorar a metodologia de análise de outorga ao integrar SIG e modelagem hidrológica para auxílio à tomada de decisão, facilitando assim o aproveitamento sustentável dos recursos hídricos numa bacia baseados no conhecimento da variabilidade sazonal e espacial da sua disponibilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** outorga; modelos hidrológicos; SIG; modelos de suporte à decisão.

**ABSTRACT:** The procedures for technical deciding about water use permits, involve steps of comparison between demand and availability of water which has a strong relationship between the spatial attributes of the drainage network and the location of different water users in a watershed. Therefore, ideally, the models used to make these analyses should be integrated into a Geographic Information System - GIS. We propose a methodology for integrating GIS and hydrological models to support decision making in analysis of water use permits requests. The methodology involves 1) the use of GIS for pre-processing of data for the application of a rainfall runoff hydrologic model; 2) the application of rainfall-runoff model to generate estimates of the flow of reference adopted as water availability in every stretch of river; 3) transfer the results of the hydrological model back to the GIS; and 4) the application of a Decision Support System in which simple calculations of water balance are done entirely in GIS environment. The presented methodology was tested at the Dos Sinos River basin, at Rio Grande do Sul, Brazil, region where the demands exceed the water availability. The results of this case study showed that it is possible to improve the methodology used to analyze the granting of water rights for use permits when GIS and hydrological models are integrated.

**KEYWORDS:** water use permits; Geographic Information System; geoprocessing; hydrological models; decision support models.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a Lei 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, elenca entre os seus instrumentos a outorga de direito de uso de recursos hídricos. A outorga de recursos hídricos é uma autorização de uso de caráter administrativo que depende de uma série de análises técnicas de parte dos órgãos gestores outorgantes de recursos hídricos. De forma sucinta, estas análises dizem respeito, por um lado, à eficiência na utilização de água por cada setor usuário e, por outro, à capacidade do corpo hídrico de atender à demanda solicitada (captação ou lançamento), considerando os demais usos já existentes e a hidrologia local (Silva & Pruski, 2000; Collischonn & Lopes, 2008).

A decisão sobre a outorga cabe a um órgão do governo federal ou estadual. No caso de rios de dominialidade federal (i.e. rios que passam por mais de um estado ou de um país), a decisão cabe à Agência Nacional de Águas (ANA). No caso de um rio de dominialidade estadual a decisão cabe a órgão do governo estadual, como a Secretaria Estadual de Recursos Hídricos, ou o Departamento de Recursos Hídricos, subordinado a alguma outra secretaria.

Em geral, a metodologia de verificação de disponibilidade ocorre em três etapas (Collischonn & Lopes, 2008):

1. Determinação da disponibilidade hídrica, através de extrapolação de dados de uma estação fluviométrica próxima, regionalização de vazões, vazão regularizada por reservatório ou outro método adequado;
2. Identificação de todas as demandas existentes na bacia a montante do ponto de demanda, podendo ser os usuários outorgados (federais e estaduais) e os usos identificados através de planos e estudos;
3. Cálculo de indicadores, determinando qual a porcentagem da disponibilidade hídrica local é comprometida individualmente pelo usuário e qual é o grau de comprometimento total, considerando todos os usuários.

Em muitos casos as análises de disponibilidade hídrica ainda exigem que os técnicos analisem mapas em papel, relatórios e utilizem planilhas de cálculo de uma forma não integrada, e com muitos procedimentos manuais. Em outras palavras, não existe uma integração adequada entre a base de dados geográficos e a metodologia de análise dos pedidos de outorga.

Em consequência disso, a análise é mais demorada, mais sujeita a erros e mais dependente de quem é o técnico que está realizando a análise.

Uma alternativa interessante para agilizar o processo de análise de pedidos de outorga é o desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão (SSD). Segundo Porto et al. (1997), os SSD são sistemas computacionais constituídos por bases de dados e modelos matemáticos, que, interagindo entre si, através de uma interface gráfica, têm por objetivo auxiliar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados). Problemas não estruturados são aqueles para os quais não existem soluções através de algoritmos bem definidos e, por isso não são facilmente tratáveis por computador. Em consequência, a solução destes problemas exige uma estreita interação entre homem e máquina, fato que constitui uma das principais características dos SSD.

Um exemplo de SSD para outorga que vem sendo desenvolvido dentro da ANA é o Sistema de Controle de Balanço Hídrico para a bacia do rio São Francisco (Collischonn & Lopes, 2008). Este mesmo sistema vem sendo aplicado com sucesso em outras bacias como a do rio Paraná e rio Grande (Collischonn & Lopes, 2009).

Outro exemplo é o Sistema de Suporte à Decisão para a Gestão Quali-Quantitativa dos Processos de Outorga e Cobrança pelo uso da Água, proposto por Rodrigues (2005), com aplicações na bacia do rio Jundiá e na bacia do rio Paraíba do Sul.

Entretanto, uma carência de alguns destes sistemas é que normalmente não são integrados a um Sistema de Informação Geográfica.

Considerando que as decisões sobre outorga têm forte relação com dados de disponibilidade hídrica que poderiam ser produtos da modelagem hidrológica, com os atributos espaciais da rede de drenagem e com a localização dos diferentes usuários de água; os sistemas utilizados para analisar estes pedidos deveriam, idealmente, integrar modelos hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica num esquema de integração flexível, com uma interfase de articulação comum para descrever processos complexos de forma abrangente. Nesse sentido Sui & Maggio (1999) descreveram amplamente as práticas, problemas, perspectivas e importância dessa integração assim como os diferentes tipos de acoplamentos possíveis entre modelos hidrológicos e SIG.

Neste trabalho apresentamos uma metodologia de integração de modelos hidrológicos e SIG para auxílio

à tomada de decisão em pedidos de outorga de uso da água. A metodologia envolve: 1) a utilização de SIG para pré-processamento de dados visando a aplicação de um modelo hidrológico chuva-vazão; 2) a aplicação do modelo chuva-vazão para gerar estimativas da vazão de referência adotada como disponibilidade hídrica em cada trecho de rio da bacia; 3) a transferência dos resultados do modelo hidrológico de volta ao SIG; e 4) a aplicação de um Sistema de Suporte à Decisão no qual cálculos simples de balanço hídrico são realizados internamente no próprio SIG. Também é apresentado um teste da metodologia na bacia do rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul, região em que as demandas ultrapassam a disponibilidade de água.

## METODOLOGIA

Propõe-se integrar uma metodologia de cálculo de disponibilidade hídrica e ferramentas de suporte à tomada de decisão num ambiente de banco de dados georeferenciados, mais especificamente em ambiente SIG, onde, através desta integração, seja possível facilitar as análises técnicas prévias necessárias para tomada de decisões, com ênfase na avaliação de pedidos de outorga quantitativa.

Para atender a este objetivo foi desenvolvida uma metodologia que inclui um SIG, um modelo hidrológico chuva-vazão distribuído e um sistema de apoio à decisão integrado ao SIG.

A função do SIG é, primeiramente, realizar as etapas de pré-processamento necessárias para o cálculo das disponibilidades hídricas na bacia. Para isto foi utilizado o conjunto de ferramentas e funções relacionadas a cursos hídricos denominado ArcHydro (Maidment, 2002). Os conceitos e ferramentas do ArcHydro que permitem a análise da rede de drenagem, com base em representações vetoriais de elementos da rede (por. exemplo, rios como linhas e bacias como polígonos) e suas correspondentes tabelas de atributos, permitem a organização e pré-processamento geoespacial e temporal de dados em um sistema de informação geográfica para uso em modelos de simulação hidrológica e hidráulica (Whiteaker et al., 2006). O ArcHydro analisa os Modelos Digitais de Elevação (MDE) e estima as variáveis hidrológicas de forma automática aumentando a efetividade e precisão na obtenção dessas variáveis que posteriormente podem ser utilizadas como dados de entrada em simulações hidrológicas. No caso do presente estudo uma das funções principais do ArcHydro consiste na discretização da bacia

de uma forma coerente em pequenas sub-bacias, denominadas aqui mini-bacias.

O cálculo das disponibilidades de água é realizado utilizando um modelo chuva-vazão distribuído que no caso do presente estudo é o Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH (Collischonn, 2001; Collischonn et al., 2007).

Por fim, foi aplicado um Sistema de Suporte à Decisão para outorga integrado ao SIG. Neste passo a bacia foi dividida aplicando exatamente a mesma discretização utilizada na aplicação do modelo MGB-IPH. Os resultados do modelo hidrológico em cada uma das mini-bacias foram transferidos ao SIG, e o Sistema de Suporte à Decisão foi testado considerando o caso da bacia do rio dos Sinos, uma das mais críticas em termos de poluição e extração de água para usos múltiplos do Rio Grande do Sul.

## Discretização da bacia usando ArcHydro

Uma etapa fundamental na metodologia é a discretização da bacia hidrográfica. A discretização consiste na divisão da bacia em unidades menores e a organização destas unidades menores segundo um ordenamento topológico.

Existem vários métodos de discretização de bacias, que podem subdividir a área em unidades regulares, como quadrados e retângulos; ou em unidades irregulares, sendo usadas neste caso tipicamente as sub-bacias. O modelo Açumod (Silans et al., 2000) e as primeiras versões do modelo MGB-IPH (Collischonn, 2001), por exemplo, adotam uma estrutura de unidades regulares (células quadradas). Algumas versões mais recentes do modelo MGB-IPH, adotam uma subdivisão da bacia em sub-bacias, ou mini-bacias (Getirana, 2009; Collischonn, 2009; Paiva, 2009).

Entre os métodos de divisão da bacia em sub-bacias, destacam-se os de Otto Pfaffstetter (Verdin & Verdin, 1999), adotado na ANA, e o método adotado no conjunto de ferramentas e conceitos denominado ArcHydro (Maidment, 2002). O método de Pfaffstetter é interessante porque além da divisão da bacia, define um método de codificação inteligente de cada sub-bacia, em que através do código da sub-bacia é possível fazer inferências sobre sua posição na bacia. Em outras palavras, a estrutura topológica da bacia, dividida em pequenas sub-bacias, está definida pela codificação.

O método do ArcHydro, por outro lado, define a topologia da bacia através de uma tabela de atri-

butos, em que cada sub-bacia apresenta um código identificador próprio e um código identificador da sub-bacia localizada imediatamente a jusante. Assim, a partir da tabela de atributos das sub-bacias, é possível identificar facilmente a topologia das bacias e da rede de drenagem.

Os conceitos e métodos do ArcHydro também vêm sendo utilizados nas etapas de pré-processamento de diversos modelos hidrológicos, como o HEC-HMS (Peters et al., 1995) e SWAT (Arnold et al., 1998) e também é adotado no presente estudo.

A discretização é realizada em várias etapas, todas elas dentro do software de SIG, especificamente o ArcGIS, e através do conjunto de ferramentas ArcHydro, com base no Modelo Digital de Elevação (MDE). As etapas são brevemente apresentadas nos parágrafos que seguem e são mais detalhadamente explicadas em Mainardi et al. (2009).

A primeira etapa é a determinação de direções de fluxo e consiste em analisar o MDE para definir, para cada pixel, uma única direção de fluxo da água. O resultado é uma imagem raster onde a cada pixel é atribuído um valor ou código que denota para qual dos vizinhos ele drena. Quase sempre esta etapa inclui alguma metodologia para remoção de depressões espúrias no MDE, conforme discutido em Buarque et al. (2009).

A segunda etapa é a determinação de área de drenagem acumulada. Nesta etapa é gerada uma nova imagem raster onde cada pixel tem como atributo o valor correspondente ao somatório das áreas superficiais de todos os pixels cujo escoamento contribui para o pixel em questão (Burrough & McDonnel, 1998).

A terceira etapa é a definição da rede de drenagem em formato raster. Nesta etapa é gerado um plano de informações (PI) raster em que são marcados apenas os pixels que fazem parte da rede de drenagem. Este PI é obtido através de uma operação de reclassificação sobre o PI resultante da etapa anterior. Neste caso, é necessário definir qual é o limite de área de drenagem a partir do qual um pixel pertence à rede de drenagem (Burrough & McDonnel, 1998). Esta escolha vai depender da qualidade do MDE disponível, das características físicas da bacia e da escala em que se pretende representar os mapas resultantes. Quanto menor o valor limite adotado, maior é a densidade da rede de drenagem e maior o número de trechos de rio resultante.

A quarta etapa da discretização do ArcHydro é a identificação de trechos individuais da rede de dre-

nagem. Nesta etapa são encontrados todos os pontos de início da rede de drenagem e todas as confluências presentes na rede. Os trechos individuais da rede de drenagem são aqueles que unem duas confluências ou um trecho que parte do início da drenagem e chega até a primeira confluência subsequente. Todos os pixels de um mesmo trecho recebem o mesmo código identificador.

A quinta etapa é a definição das mini-bacias (*catchments*), que é realizada através da identificação de todas as células que drenam para cada um dos trechos definidos na etapa anterior. Nesta etapa é criado um PI raster em que cada pixel tem o mesmo código do trecho de rio para o qual drena. No ArcHydro existem três níveis de divisão de uma bacia hidrográfica, para os quais são utilizadas as palavras em inglês *Basin*, *Watershed* e *Catchment*. Aqui se propõe a utilização das palavras Bacia, Sub-Bacia e Mini-bacia, respectivamente, como substitutas ou como tradução das palavras utilizadas no contexto do ArcHydro.

A sexta etapa é a transformação do PI raster de mini-bacias em um PI vetorial, contendo os polígonos do contorno das mini-bacias.

A sétima etapa é a criação do PI vetorial de linhas da rede de drenagem, com os trechos individualizados, que corresponde ao PI raster resultante da quarta etapa. Na sétima etapa também é atribuído um código identificador (HydroID) para cada trecho de rio. Além disso, para cada trecho de rio é identificado o código do trecho localizado a jusante (NextDownID), que é um dos atributos mais importantes para o sistema de suporte à decisão, porque permite identificar a influência que a extração de água num trecho determinado tem a jusante dele como também permite propagar ao longo da rede a quantidade de vazão subtraída nesse e em outros trechos localizados a montante dele.

### O sistema de suporte à decisão de outorga

O sistema de suporte à decisão para outorga descrito aqui foi desenvolvido com base no trabalho original de Collischonn & Lopes (2008), entretanto adaptado a um ambiente SIG gerado a partir do ArcHydro, conforme descrito em Kayser (2009) e Pereira et al. (2009).

Denominado SAD-IPH, o sistema foi desenvolvido dentro do próprio SIG, mais precisamente dentro do software ArcGIS, através das opções de customização disponíveis no software em linguagem *Visual Basic for Applications (VBA)*. O software ArcGIS foi escolhido devido a sua estreita relação com as ferr-

mentas ArcHydro e por ser um programa que inclui diversas opções de personalização ou customização de aplicações através de uma linguagem de programação relativamente simples como é a do VBA.

Basicamente, as rotinas do SAD-IPH estão baseadas na leitura e inserção de dados correspondentes aos atributos do arquivo vetorial de rede de drenagem obtida na discretização da bacia usando ArcHydro. Além disso, também são utilizados arquivos vetoriais no formato de pontos, representando os usuários de água da bacia.

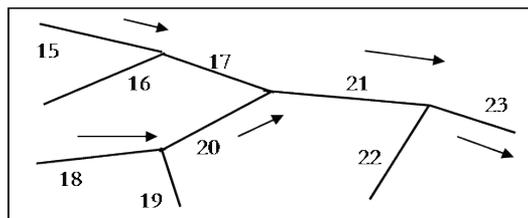
O SAD-IPH está constituído, até o momento, de ferramentas de configuração de layers ou planos de informação, inserção dos dados de disponibilidade hídrica, inserção e edição de usuários e visualização dos resultados. Os dados da disponibilidade são obtidos da aplicação do modelo chuva-vazão MGB-IPH, que será descrito posteriormente.

Ao selecionar um determinado trecho da rede de drenagem de onde se deseja realizar alguma extração de água, o sistema fará a busca da disponibilidade hídrica no trecho, de modo que o usuário possa ter esta informação no momento do pedido de outorga. Através de uma interface, são solicitadas algumas informações cadastrais que são posteriormente armazenadas nos atributos do arquivo vetorial de pontos. Também é solicitada a demanda requerida naquele local, que é armazenada no arquivo da rede de drenagem. Este valor de demanda é armazenado no próprio trecho onde o usuário se localiza e também nos demais trechos a jusante dele.

Para cada trecho de rio e para cada mês do ano é realizada uma comparação entre a vazão disponível e a vazão total de demanda dos usos locais e de montante. Os usos locais são usuários que retiram água diretamente do trecho de rio considerado. Os usos de montante são todos os usuários que retiram água de trechos de rio localizados a montante do trecho considerado.

Em termos de banco de dados, isto significa que cada trecho de rio tem campos de registro que contêm o valor da disponibilidade de água local mês a mês no trecho e outros campos que contêm o registro da vazão total demandada também mês a mês no próprio trecho e a montante dele. Um determinado uso pode receber outorga ou não dependendo da relação entre disponibilidade e demanda em todos os trechos de rio em que foi discretizada a rede hidrográfica da bacia.

Nas Figuras 1 e 2 e Tabelas 1 e 2 se exemplifica em forma esquemática a base do funcionamento do SAD-IPH melhormente descrito nos parágrafos seguintes.



**FIGURA 1.** Representação de uma rede de drenagem fictícia com trechos codificados de 15 a 23 sem usuários inseridos.

A Figura 1 representa esquematicamente uma rede de drenagem fictícia simples, mostrando os respectivos códigos associados a cada trecho e também o sentido do escoamento na bacia.

Na Tabela 1 se tem uma representação do que seria a tabela de atributos desta rede fictícia. Observar o código identificador de cada trecho (HydroID) e o código identificador do trecho de jusante (NextDownID), originados na etapa de discretização com o ArcHydro. As outras colunas armazenam os valores de demanda local do trecho, demanda acumulada nos trechos localizados a montante dele mais as demandas dele inclusive e o fator de comprometimento de cada trecho, todos eles explicados seguidamente no exemplo.

**TABELA 1**  
Representação da tabela de atributos da rede de drenagem fictícia sem usuários inseridos

HydroID	Next Down ID	Disponibilidade	Demanda Local	Demanda Acum.	Fator Comp.
15	17	disp <sub>15</sub>	0	0	0
16	17	disp <sub>16</sub>	0	0	0
17	21	disp <sub>17</sub>	0	0	0
18	20	disp <sub>18</sub>	0	0	0
19	20	disp <sub>19</sub>	0	0	0
20	21	disp <sub>20</sub>	0	0	0
21	23	disp <sub>21</sub>	0	0	0
22	23	disp <sub>22</sub>	0	0	0
23	-1	disp <sub>23</sub>	0	0	0

Observe-se que o trecho 23 não possui trechos a jusante dele, motivo pelo qual a coluna de NextDownID tem valor -1. Os dados de disponibilidade na

tabela representados pelos valores  $disp_i$ , são obtidos através da integração com o modelo MGB-IPH e, como é possível notar, os campos de demanda local, demanda acumulada e fator de comprometimento estão zerados antes de serem inseridos os usuários. Estes campos serão preenchidos na medida em que os usuários vão sendo inseridos na rede. O fator de comprometimento ( $F_c$ ) é uma relação entre demanda e disponibilidade que será explicitada em seguida.

A Figura 2 mostra uma modificação na rede de drenagem, na qual a mesma recebe a inserção de dois usuários de água representados por bolas pretas nos trechos de códigos 16 e 20.

Observando a Tabela 2, podem-se notar as modificações ocorridas como consequência da inserção dos usuários. Na coluna demanda local encontram-se os valores de demanda dos usuários localizados no trecho 16 e no trecho 20.

A coluna de demanda acumulada representa o somatório da vazão demandada no trecho e em todos os trechos localizados a montante dele.

A seguir, encontra-se o cálculo das demandas acumuladas  $demc_i$  para um mês específico qualquer nos trechos 16, 17 e 20. Aqui é importante apontar que os valores que representam a disponibilidade hídrica em cada trecho são os valores de vazão com 90% de permanência no tempo para cada um dos trechos e para cada mês do ano calculados através do modelo MGB-IPH.

As demandas acumuladas nos trechos 16 e 20 são iguais às demandas locais, pois estes trechos não possuem nenhuma outra demanda a montante.

$$demc_{16} = deml_{16}$$

$$demc_{17} = deml_{16}$$

$$demc_{20} = deml_{20}$$

Já as demandas acumuladas nos trechos 21 e 23 representam a soma das demandas locais, pois os usuários estão localizados a montante destes trechos.

$$demc_{21} = deml_{16} + deml_{20}$$

$$demc_{23} = deml_{16} + deml_{20}$$

A coluna do fator de comprometimento ( $F_c$ ) é uma relação entre as demandas acumuladas e a disponibilidade de cada trecho. Para um dado trecho  $i$ , ela é dada segundo a seguinte equação:

$$F_{c_i} = \frac{demc_i}{disp_i}$$

De acordo com o valor do fator de comprometimento, cada trecho da rede recebe uma classificação quanto ao grau de demanda de água. Determinado trecho pode ter um comprometimento nulo, baixo,

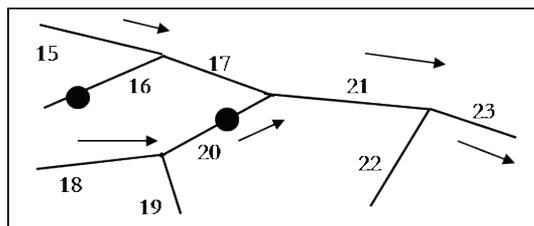


Figura 2 – Representação de uma rede de drenagem fictícia com trechos codificados de 15 a 23 com a inserção de dois usuários (bolas pretas) nos trechos 16 e 20.

TABELA 2  
Representação da tabela de atributos da rede de drenagem fictícia após a inserção dos usuários.

Hydro ID	Next Down ID	Disponibilidade	Demanda Local	Demanda Acum.	Fator Comp.
15	17	disp15	0	0	0
16	17	disp16	deml16	demc16	Fc16
17	21	disp17	0	demc17	Fc17
18	20	disp18	0	0	0
19	20	disp19	0	0	0
20	21	disp20	deml20	demc20	Fc20
21	23	disp21	0	demc21	Fc21
22	23	disp22	0	0	0
23	-1	disp23	0	demc23	Fc23

médio, alto ou crítico, de acordo com o valor de  $F_c$ . Comprometimentos críticos representam trechos com valor de  $F_c$  maior a 1, ou seja, quando a demanda é maior que a disponibilidade. Pode-se então atribuir uma escala de cores correspondente a cada uma destas classificações, fazendo com que seja possível visualizar o comprometimento de cada trecho de acordo com a cor associada ao seu  $F_c$ . Neste caso as classes de comprometimento foram fixadas segundo os intervalos de valores seguintes:

$F_c < 22,5\%$	Comprometimento muito baixo
$22,5\% < F_c < 45\%$	Comprometimento baixo
$45\% < F_c < 67,5\%$	Comprometimento medio
$67,5\% < F_c < 90\%$	Comprometimento elevado
$F_c > 90\%$	Comprometimento crítico.

### Estimativa de disponibilidade hídrica usando modelagem hidrológica

Neste trabalho, os dados de disponibilidade hídrica foram obtidos por meio de modelagem hidrológica, especificamente com o uso do MGB-IPH, amplamente descrito em Collischonn (2001) e Collischonn et al. (2007).

Este modelo já foi aplicado com sucesso em varias regiões do Brasil. No estado de Rio Grande do Sul, aplicações foram feitas nas bacias do rio Uruguai e do rio Taquari-Antas (Collischonn, 2001), rio Quarai (Collischonn et al., 2010) e rio Caí (Estado de Rio Grande do Sul, 2007).

Como já foi comentado, uma boa integração entre a fonte de dados de disponibilidade hídrica, no caso, o modelo MGB-IPH e o sistema de apoio à decisão, o SAD-IPH, dentro do SIG, depende da codificação resultante da discretização da bacia em mini-bacias ou a rede de drenagem da bacia discretizada em trechos de número igual ao de mini-bacias. Isto significa que os trechos de rio associados a cada mini-bacia dentro da modelagem no MGB-IPH assim como os trechos da rede de drenagem no SAD-IPH devem coincidir exatamente em número, posicionamento e obviamente em codificação. Para atingir este objetivo, é preciso utilizar como base da calibração do modelo a mesma discretização em mini-bacias produto das etapas resumidas em parágrafos anteriores e detalhadas em Mainardi et al. (2009).

Além do pré-processamento feito a partir de MDE da região de estudo, para a aplicação do MGB-IPH, são necessários dados que representem suficien-

temente a bacia, temporal e espacialmente. Estes dados são: séries temporais de chuva e vazão, séries de temperatura, pressão, insolação, umidade relativa do ar e velocidade do vento, mapas de uso da terra e cobertura vegetal, tipos de solo, modelo digital de elevação e cartas topográficas.

A calibração pode ser feita através das considerações físicas ou através da otimização matemática, em ambos os casos os parâmetros são estimados buscando a melhor concordância possível entre os dados observados e os resultados do modelo.

O modelo, que calcula balanço de água no solo pelo método simplificado, evapotranspiração por Penman–Monteith e propagação da vazão ao longo dos trechos de rio pelo método de Muskingun Cunge, tem como parâmetros:

- $W_m$ : capacidade de armazenamento do solo [mm]
- $b$ : parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação [ - ]
- $K_{INT}$ : parâmetro de drenagem sub-superficial. [mm.dia<sup>-1</sup>]
- $K_{BAS}$ : parâmetro de escoamento subterrâneo. [mm.dia<sup>-1</sup>]
- $C_S$ : parâmetro para calibração da propagação superficial nas células [-]
- $C_I$ : parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas células [-]
- $C_{BAS}$ : parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo. [dias]

Os parâmetros fixos que têm valores mensuráveis, que podem ser relacionados à vegetação, ou que não interferem profundamente nos resultados são: IAF índice de área foliar,  $r_s$  resistência superficial [s.m<sup>-1</sup>],  $\alpha$  albedo [-],  $e$ ,  $W_z$  limite inferior de armazenamento no solo para haver escoamento sub-superficial.

Os valores de todos estes parâmetros variam espacialmente dentro da bacia de acordo com cada unidade de resposta hidrológica, chamados no MGB-IPH de blocos, que são produto da combinação de informações do tipo e uso do solo em cada unidade espacial.

Como o presente trabalho pretende demonstrar a praticidade da integração de modelagem e SIG para suporte à tomada de decisão relacionada à outorga entende-se que um dos objetivos da aplicação do MGB-IPH aqui é representar o melhor possível as vazões mínimas que por sua vez serão utilizadas para avaliar situações críticas em locais onde a oferta de

água é mínima ou nula em determinadas épocas do ano. Logo, as funções objetivo consideradas apropriadas neste estudo foram o erro dos valores das vazões com 90% de permanência no tempo (Q90) observadas e calculadas, a diferença de volumes totais calculados e observados das vazões e o valor 1 menos o coeficiente de Nash Sutcliffe.

Finalmente os resultados ou saídas do modelo MGB-IPH utilizadas na metodologia descrita são:

- A série de vazões em todos os trechos de rio para um intervalo de tempo predeterminado; e,
- Os valores das vazões com 90% de permanência no tempo para cada um dos trechos e para cada mês do ano o que descreve a variabilidade sazonal das mesmas.

### ESTUDO DE CASO

Um teste de aplicação da metodologia de integração de modelos hidrológicos e SIG foi realizado na bacia do rio dos Sinos, localizada no Rio Grande do Sul, e utilizando dados reais de usuários de captação direta de água dentro da bacia.

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos, Figura 3, situa-se ao nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de 29°20' a 30°10' de latitude sul e 50°15' a 51°20' de longitude oeste.

Abrange as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e da Depressão Central. A área de drenagem total da bacia é de 3.747 km<sup>2</sup>, envolvendo municípios como Campo Bom, Canoas, Gramado, Igrejinha, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Carará, Taquara e Três Coroas. A população da bacia é estimada em 1.249.100 hab (Rio Grande do Sul, 2010).

Trata-se de uma bacia de importância relevante na região porque além do intenso uso de água para abastecimento, uso industrial e irrigação, outro grande problema encontrado é o despejo de efluentes industriais e principalmente domésticos sem tratamento nos cursos de água nos trechos médios e baixos. A qualidade da água do rio dos Sinos chegou a atingir níveis muito baixos provocando em alguns eventos grande mortandade de peixes (CONSEMA, 2006).

Como foi explicado na metodologia, partindo do uso do MDE e com ajuda do conjunto de ferramentas ArcHydro é possível chegar à discretização conveniente da bacia, que será útil não só no cálculo da disponibilidade hídrica por modelagem, mas também no sistema de apoio à decisão testado. Na Figura 4 se apresenta o resultado da discretização da bacia do rio dos Sinos em mini-bacias e trechos de rio, totalizando 1036 mini-bacias, considerando uma área mínima de 2,5 km<sup>2</sup> para a geração das mesmas.

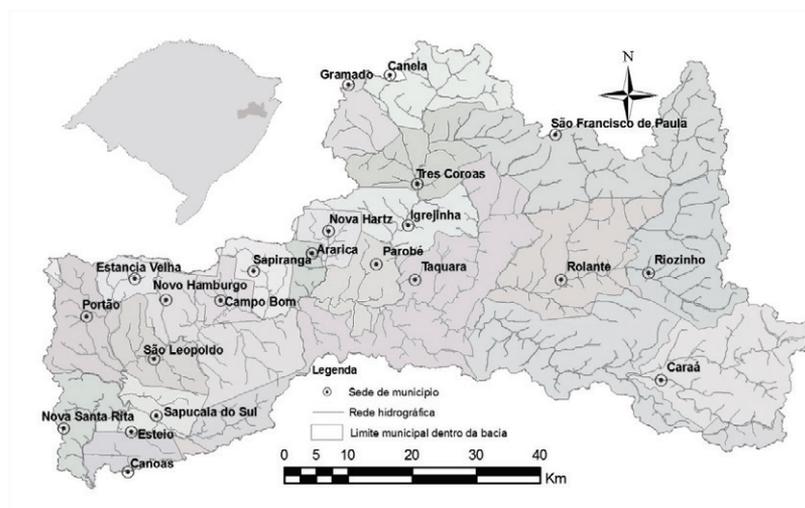
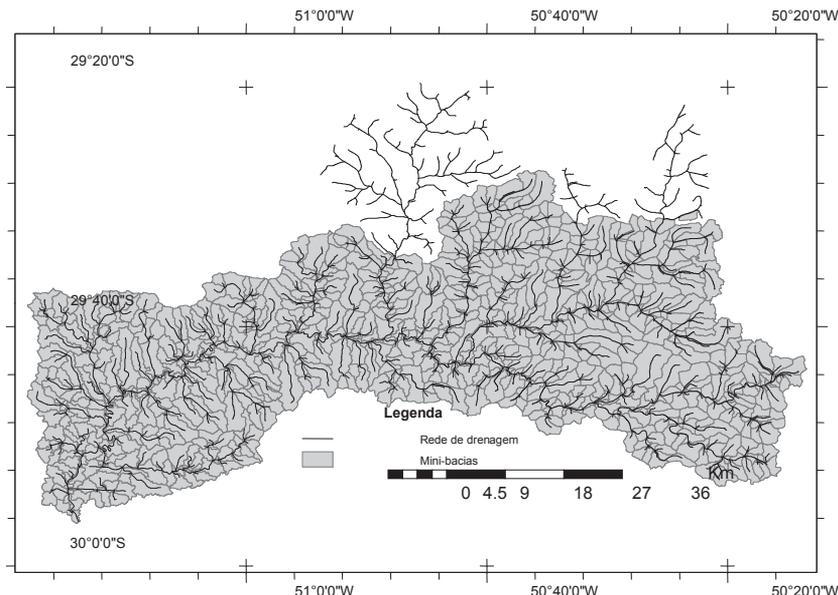


Figura 3. Localização da bacia do rio dos Sinos e suas principais sedes municipais.



**Figura 4 – Discretização da bacia do rio dos Sinos.**

Dentro da etapa de cálculo da disponibilidade hídrica através do modelo MGB-IPH, foram utilizados dados de precipitação diária em 83 estações pluviométricas distribuídas dentro e ao redor da bacia, dados diários de vazão de 5 estações fluviométricas localizadas dentro da bacia, dados das médias mensais de temperatura, pressão, insolação, umidade relativa do ar e velocidade do vento em 2 estações climáticas da bacia. Todos estes dados se encontram disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da ANA. Também foi feita uma classificação de uso do solo a partir de imagens LANDSAT TM5 disponíveis na página da Divisão de geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), tendo como resultado 4 classes de uso do solo predominantes como mostra a Tabela 3.

4 são apresentados os 6 tipos de unidade de resposta hidrológica ou blocos resultantes da combinação dos 4 usos de solo predominantes e 2 tipos de solo característicos na bacia. É importante explicar que para efeitos de simplificação e porque existem solos de características similares neste caso específico, a classificação em tipos de solo dentro da bacia do rio dos Sinos foi reduzida para duas classes da forma seguinte: os tipos Planossolos, Podzolicos e Terras Roxas Estruturadas foram reclassificados como Solos Profundos e os tipos Cambissolo e Litólicos reclassificados como Solos Rasos. São apresentados nas Tabelas 5 e 6 os valores atribuídos para cada um dos parâmetros calibráveis associados e de propagação nas células respectivamente.

**TABELA 3**  
**Classes de uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio dos Sinos**

Classe	Frequência
Água	0,10%
Zona Urbana	6,28%
Floresta	45,77%
Agricultura/Pastagem	47,85%

**TABELA 4**  
**Caracterização dos blocos do modelo na bacia do rio dos Sinos**

Bloco	Uso/Tipo de Solo
1	Área urbana
2	Floresta/Solo Raso
3	Floresta/Solo Profundo
4	Agric.-Pastagem/S. Profundo
5	Agric.-Pastagem/S. Raso
6	Água

Seguindo o processo de cálculo da disponibilidade hídrica dentro da bacia do rio dos Sinos, na Tabela

**TABELA 5**  
Valores calibrados dos parâmetros associados aos blocos

Parâmetros	Blocos					
	1	2	3	4	5	6
Wm(mm)	96,4	158,8	343,5	216,8	236,1	0,0
b(-)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,1
$K_{INT}$ (mm.dia <sup>-1</sup> )	26,82	26,82	26,82	26,82	26,82	10
$K_{BAS}$ (mm.dia <sup>-1</sup> )	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,2
XL(-)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

**TABELA 6**  
Valores calibrados dos parâmetros de propagação nas células

Sub-bacias	$C_S$ (-)	$C_I$ (-)	$C_B$ (dias)
Todas	18,6	380,9	48

Na Tabela 7 são apresentados os valores das funções objetivo para a estação localizada na cidade de Campo Bom.

**TABELA 7**

Valores das funções objetivo no posto de Campo Bom no período de calibração (1979 a 2006).

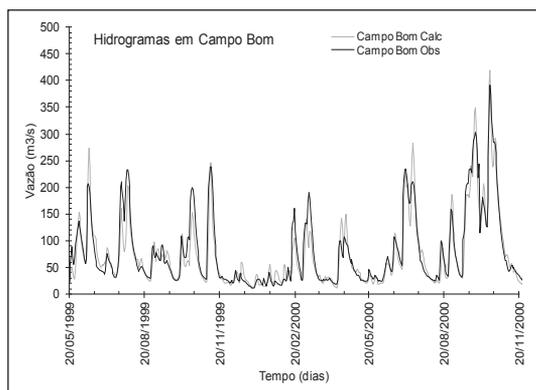
Local	$\Delta Q_{90}$ m <sup>3</sup> /s	1-Nash Sutcliffe	$\Delta V$ (%)
Rio dos Sinos/ Campo Bom	0,029	0,286	3,812

Nas Figuras 5 e 6 são mostrados os hidrogramas calculado e observado e a curva de permanência para a estação em Campo Bom.

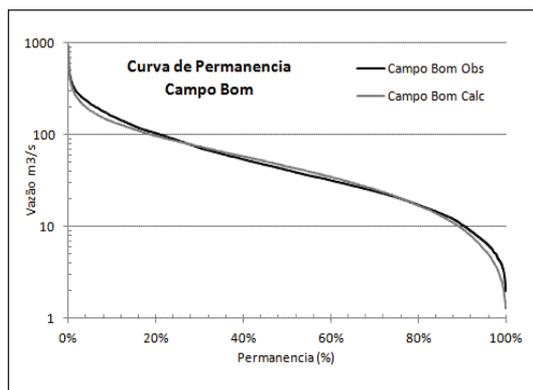
Foram computados os valores de demanda hídrica por captação direta de água dentro da bacia através da inserção de dados de usuários reais de abastecimento público, setor industrial, usuários de irrigação e de piscicultura.

A lista de usuários e os dados de captação foram fornecidos pelo Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Secretaria do Meio Ambiente (SEMA) do estado de Rio Grande do Sul e contem usuários até o ano 2008. Estes são dados de captação direta do rio em m<sup>3</sup>/s com os seus respectivos regimes de captação (Rio Grande do Sul, 2008).

Na Figura 7 é apresentada a variabilidade espacial do fator de comprometimento e da disponibilidade



**Figura 5 – Hidrogramas observado e calculado em Campo Bom.**



**Figura 6 – Curva de permanência observada e calculada em Campo Bom.**

hídrica na bacia do rio dos Sinos para o mês de janeiro. Observa-se que os trechos mais comprometidos da região leste da bacia, são os localizados entre os municípios de Carará e Taquara, e os trechos mais comprometidos na porção final da bacia se localizam entre os municípios de Sapucaia do Sul e Canoas. Ambas as regiões verificam uso extensivo do recurso para irrigação do cultivo de arroz.

Nas Figuras 8 e 9 se mostram em detalhe esses trechos críticos. É importante mencionar que nos trechos finais do rio, os localizados mais a jusante da bacia, existe o efeito de remanso provocado pelo rio Jacuí, simulado em Rosauro (1979) e em Garcia (1997), portanto a situação real nos trechos próximos ao exutório poderia ter certa discrepância com relação ao que é aqui mostrado.

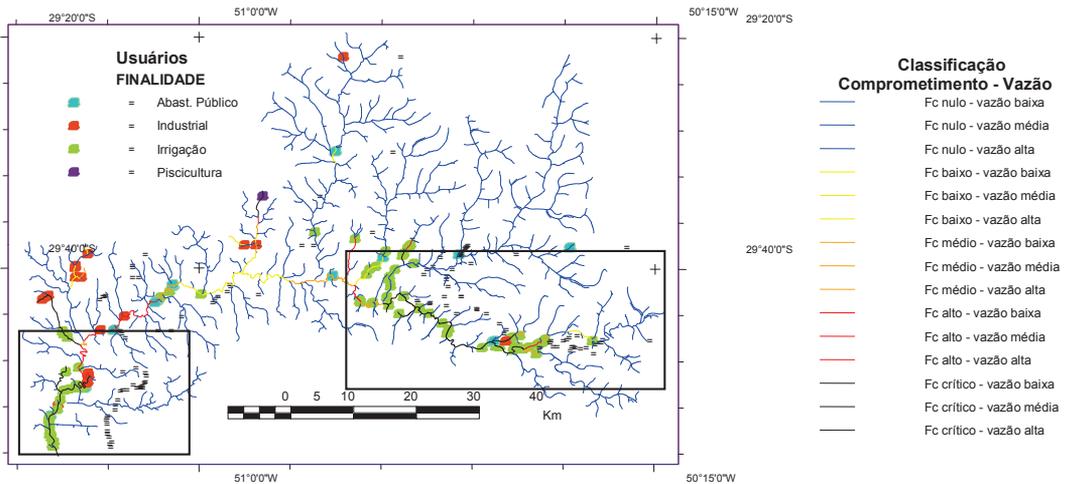


Figura 7 - Variabilidade espacial do fator de comprometimento e da disponibilidade hídrica na Bacia do Rio dos Sinos para o mês de janeiro, com destaque para as áreas mais comprometidas.

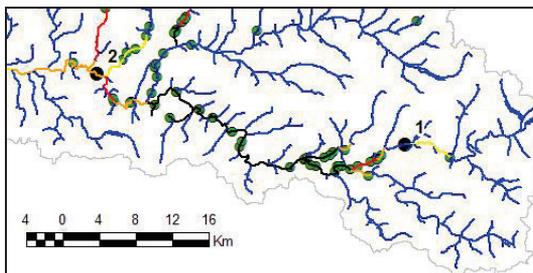


Figura 8 - Detalhamento da área comprometida na região leste da bacia.

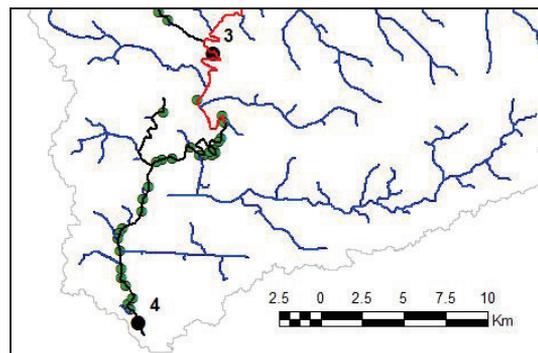


Figura 9 - Detalhamento da área comprometida na porção final da bacia.

## CONCLUSÕES

A análise de disponibilidade de água para outorga de direito de uso é, em geral, um procedimento relativamente repetitivo, e, por este motivo, deveria permitir a aplicação de métodos automáticos. Modelos hidrológicos podem-se constituir em uma boa alternativa para o cálculo da disponibilidade hídrica desde que se disponham dos dados necessários e técnicos capacitados para a aplicação e interpretação dos mesmos.

Entretanto, ainda as análises de disponibilidade hídrica são realizadas através de procedimentos manuais como utilização de mapas impressos, planilhas de cálculo e outros dados em forma isolada e não integrada tornando essas análises demoradas e mais expostas a erros.

Neste trabalho foi apresentada uma forma de facilitar a análise de pedidos de outorga de direito de uso da água através de uma metodologia que integra SIG e modelagem hidrológica.

Os resultados no estudo de caso da bacia do rio dos Sinos mostraram que é possível aprimorar a metodologia de análise de outorga ao integrar SIG

e modelagem hidrológica e mostraram também que é possível identificar facilmente a relação entre as demandas e disponibilidades nos diferentes trechos do curso d'água, avaliando espacialmente o fator de comprometimento de cada trecho e facilitando ao agente outorgante a tomada de decisão quanto às solicitações de outorga na bacia.

Pretende-se estender a metodologia descrita neste artigo para contemplar também a tomada de decisão relativa ao lançamento de efluentes, como proposto em outros sistemas de suporte à decisão (Nahon et al., 2009).

Seria possível ainda integrar as retiradas de água subterrânea na metodologia apresentada. Uma possibilidade neste sentido foi sugerida por Silva (2007), que analisou o impacto das retiradas de água subterrânea sobre a disponibilidade de água superficial em escala regional.

## AGRADECIMENTOS

Os dois primeiros autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelas bolsas de pesquisa concedidas.

## Referências

- ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.R.; WILLIAMS, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34 (1), 73–89.
- BUARQUE, D. C.; FAN, F.M.; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. 2009. Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação. *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Volume 14 n.2 Abr/Jun 2009, 91-103.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNEL, R. A. 1998 *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford.
- COLLISCHONN, B; LOPES, A. V. Sistema de Controle de Balanço Hídrico para apoio à outorga na bacia do São Francisco. *Anais do I Encontro Nacional de Hidroinformática*. Fortaleza – CE. 2008.
- COLLISCHONN, B; LOPES, A. V. Sistema de Apoio à Decisão para análise de outorga na bacia do rio Paraná. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Campo Grande : ABRH, 2009.
- COLLISCHONN, B.; CAUDURO R.; COLLISCHONN, W.; MEIRELLES, F.; SCHETINI, E.; MAINARDI, F. 2010. Modelagem hidrológica de uma bacia com uso intensivo de água: caso do rio Quaraí-RS. Submetido à *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*.
- COLLISCHONN, W. 2001. Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. Tese de doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 182p.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.G.; SILVA, B.C.; TUCCI, C.E.M. 2007. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. *Hydrological Sciences Journal*, 52, 878-895 pp.
- COLLISCHONN, W. Manual de Discretização de Bacias para aplicação do modelo MGB-IPH. Versão 1.2. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. 2009.
- CONSEMA. 2006. Ata da Nonagésima Reunião Ordinária Do Conselho Estadual Do Meio Ambiente – CONSEMA. Disponível em: [www.sema.rs.gov.br/sema/dados/1071210138.doc](http://www.sema.rs.gov.br/sema/dados/1071210138.doc). Acesso em: maio 2010.
- GARCIA, R.L. 1997. Simulação da Qualidade da Água em Regime não-Permanente no Rio dos Sinos, RS. *Disertação de Mestrado*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 124p.
- GETIRANA, A. C. V. 2009. Contribuições da altimetria espacial à modelagem hidrológica de grandes bacias na Amazônia. Tese de Doutorado. UFRJ, COPPE.





# Avaliação da biodegradabilidade das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação do biodiesel produzido com óleo extraído das vísceras de tilápia

Erika de Almeida Sampaio Braga, Marisete Dantas de Aquino,  
Jackson de Queiroz Malveira, José Capelo Neto, Cristiane Alexandrino Duarte

**RESUMO:** Para evitar o descarte de vísceras de tilápia no solo e nas águas do açude Castanhão, localizado no nordeste do Brasil, estado do Ceará, evitando possíveis impactos ambientais, vem sendo estudado a viabilidade de produção de biodiesel, gerado a partir de fontes de energia renováveis, cuja matéria-prima pode ser derivada de vegetais ou animais. Baseado neste contexto, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar a biodegradabilidade das águas de lavagem, um efluente com alta carga de matéria orgânica, que são geradas na etapa de purificação do biodiesel. Diante dos resultados obtidos, pode-se verificar que, apesar das águas de lavagem apresentarem presença de compostos de difícil degradação, tais como óleos e outros compostos provenientes dos produtos e reagentes utilizados, existem meios executáveis de se tratar estes efluentes. Os parâmetros selecionados para quantificar o teor de matéria orgânica foram a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a relação entre eles para avaliar a biodegradabilidade. As análises físico-químicas para caracterização seguiram os procedimentos descritos em (APHA, 2005).

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Referências em Biocombustíveis (LARBIO) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas de lavagem, biodegradabilidade e impactos ambientais.

**ABSTRACT:** In order to prevent the discharge of tilapia offal into the soil and waters of the Castanhão Weir, in northeastern Brazil, Ceará State, and avoiding possible environmental impacts, it has been examined the feasibility of biodiesel production, generated from renewable energy sources, whose raw material can come from animal or plants. Based on this, the goal of this study was to evaluate the biodegradability of washing waters, an effluent with high load of organic matter, generated in the step of biodiesel purification. The results evidenced that despite washing waters have had compounds with difficult degradation, such as oils and other compounds derived from the products and reagents used, there are executable means to treat these effluents. The parameters selected to quantify the organic matter content were the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) and the ratio between them to assess the biodegradability. Physical and chemical analyses employed for characterization have followed the procedures as described in (APHA, 2005).

This research was developed at the Laboratory of References in Biofuels (LARBIO) of the Foundation Center for Industrial Technology of the Ceará State (NUTEC).

**KEY WORDS:** Washing waters, biodegradability and environmental impacts.

## INTRODUÇÃO

Com o aumento da poluição e diminuição dos recursos não renováveis, vem-se buscando a utilização de novas fontes de energia oriundas de fontes renováveis. Segundo (HOLANDA, 2006), o biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis e aditivos derivados de fontes renováveis e, comparado ao óleo diesel derivado do petróleo, pode reduzir em 78% as emissões líquidas de gás carbônico, considerando-se a reabsorção pelas plantas. Além disso, reduz em

90% as emissões de fumaça e praticamente elimina as emissões de óxido de enxofre. No nordeste do Brasil, estado do Ceará, o açude Castanhão, em virtude da criação de grande quantidade de tilápias (*Oreochromis niloticus*), para fins de consumo humano, está sendo estudada a viabilidade de se produzir biodiesel, uma fonte de energia renovável, usando como matéria-prima o óleo extraído das vísceras das tilápias. Como vantagem, também se evita o descarte destas vísceras nas águas do açude solo adjacente, evitando-se a poluição destes ambientes, pois sabe-se

que as vísceras são materiais com elevados teores de compostos orgânicos de difícil degradação. Quando lançadas no solo, estas vísceras podem alcançar mananciais de água, por carreamento superficial ou infiltração. Elas não se dissolvem e nem se misturam na água, formando uma camada densa na superfície que impede as trocas gasosas e a oxigenação, causando a mortandade de espécies aquíferas, tornando-se um problema para os rios e lagoas e podendo ainda impermeabilizar os solos (figura 1).



**FIGURA 1. Exemplo de degradação dos recursos hídricos provocada pela disposição inadequada das vísceras.**

O biodiesel é derivado de muitas matérias-primas, tais como, óleos vegetais e gorduras animais, mas o aproveitamento do óleo extraído das vísceras das tilápias para a produção de biodiesel, surge como uma excelente matéria-prima alternativa, pois além da contribuição para minimizar os problemas de poluição ambiental que estão sendo gerados por falta de destino adequado, as vísceras representam um subproduto da agroindústria animal, não sendo empregados para o consumo direto na alimentação humana (NUTEK, 2008).

O biodiesel pode ser obtido por diferentes processos, mas, a transesterificação é o processo mais utilizado e mais viável economicamente. Consiste de uma reação química, chamada de transesterificação, onde um óleo ou gordura (triglicerídeo) reage com um álcool (etanol ou metanol) na presença de um catalisador (hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio). A reação de transesterificação tem como produto o biodiesel (éster) e como sub-produto a

glicerina bruta que são separados por decantação. Quando se trabalha com metanol, recomenda-se uma razão molar de metanol/óleo 6:1 para assegurar uma máxima conversão de triglicerídeos a ésteres. Segundo a literatura, para a transesterificação proporcionar rendimentos máximos, o álcool deve ser livre de umidade e o conteúdo de ácidos graxos livres (AGL) do óleo deve ser inferior a 0,5% (KNOTHE et al, 2006).

Como a reação de transesterificação é uma reação reversível, é preciso um excesso de álcool para formação dos produtos (biodiesel e glicerina). Desta forma, os excessos constituem sobras que estão presentes nas fases resultantes da reação. Durante a transesterificação alcalina também, são formados sabões, que são sais de sódio de ácidos graxos livres (AGL). Os ácidos graxos livres são componentes naturais de óleos e gorduras que são substâncias insolúveis em água (hidrofóbicas), de origem animal, vegetal ou mesmo microbiana, formadas predominantemente de produtos de condensação entre glicerina e ácidos graxos chamados triglicerídeos e pertencem à classe dos lipídeos (MORETTO e FETT, 1989). Caso a quantidade de álcool não seja suficiente, o biodiesel terá monoglicerídeos e diglicerídeos, produtos intermediários da reação (DIAS, 2009). Por isso torna-se necessário a etapa de purificação, a lavagem com água, para que estas impurezas sejam removidas. Segundo o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SRBT, 2006), no processo de produção de biodiesel que geram efluentes na lavagem, a DBO do efluente é em torno de 3.000 a 4.000 mgO<sub>2</sub>/L, enquanto que a DQO é de 60.000 a 80.000 mgO<sub>2</sub>/L. Desta maneira, a água de lavagem do biodiesel é rica em metanol, além de outros subprodutos, que acabem sendo descartados sem nenhum tipo de tratamento. O impacto ambiental causado por este tipo de efluente é de difícil avaliação, em função da variedade de compostos oriundos da matéria-prima, reagentes, produtos e subprodutos do processo (GRANGEIRO, 2009).

Sendo assim, o processo de produção de biodiesel, apesar de suas vantagens ambientais, tanto na redução de gases, como no lançamento no solo e na água dos resíduos, apresenta sérios inconvenientes como a elevada produção de efluentes, provenientes das etapas de purificação que envolvem a lavagem, filtração e secagem do produto final, sendo a etapa de lavagem é uma das mais importantes e cruciais pois tem como objetivo a retirada destes resíduos de distintas naturezas (ALVES, 2007).

Em paralelo, é fundamental a realização de estudos para a caracterização destas águas de lavagem a fim

de enquadrá-las dentro dos parâmetros ambientais estabelecidos pela Legislação Ambiental Federal a Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores tendo como prioridade a preservação dos corpos hídricos e, a Legislação Ambiental Estadual a Portaria nº 154 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), de 22 de julho de 2002, que dispõe sobre condições e padrões para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Para a avaliação do impacto e eficácia das medidas de controle, é necessário a quantificação das cargas poluidoras afluentes ao corpo d'água. Em geral, utilizando métodos tradicionais de lavagem, para cada litro de biodiesel produzido, são necessários, no mínimo, 3 litros de água de lavagem. As águas de lavagem resultantes do processo de lavagem do biodiesel, apresentam-se quimicamente inadequadas para serem lançadas a qualquer corpo hídrico (DE BONI, 2008).

A introdução da carga orgânica em um corpo d'água causa o decréscimo de oxigênio dissolvido que é o principal efeito ecológico da poluição orgânica. Entretanto, é de grande importância o fornecimento adequado de oxigênio no tratamento de esgotos por processo aeróbio para que os microrganismos possam realizar os processos metabólicos conduzindo a degradação da matéria orgânica.

Devido à grande variedade de compostos orgânicos nas águas residuárias (esgotos e efluentes industriais) é impraticável uma identificação individual de todos eles. Assim, a determinação quantitativa dos diversos compostos da matéria orgânica nas águas residuárias seria extremamente difícil ou mesmo impossível. Por outro lado, para que se descrevam os processos metabólicos, faz-se necessário que se caracterize quantitativamente o material orgânico, o qual pode se basear em duas propriedades, o material orgânico pode ser oxidado e, o material orgânico que contém carbono orgânico. O material orgânico pode ser quantificado por métodos indiretos empregados que consistem na medição do consumo de oxigênio na oxidação da matéria orgânica, ou seja, pela determinação do consumo de oxigênio na degradação da amostra, calcula-se o conteúdo equivalente de matéria orgânica presente originalmente. Para tanto, são normalmente empregadas duas análises padronizadas, que se baseiam na oxidação do material orgânico, DBO e DQO. Em ambas, as análises, a concentração do material orgânico é determinada a

partir do consumo de oxigênio, isto é, de oxidante para a oxidação. As diferenças essenciais entre as análises estão no oxidante utilizado e nas condições operacionais de cada análise. É fundamental salientar que os compostos orgânicos avaliados nos testes podem ser divididos em dois grupos, os biodegradáveis que são os compostos que podem ser oxidados pelo oxigênio e os não biodegradáveis como, por exemplo, determinados tipos de detergentes e derivados do petróleo (DOS SANTOS, 2007).

A DBO representa de forma indireta a quantidade de matéria orgânica biodegradável que foi consumida pelos microrganismos aeróbios presentes no sistema aquático e constitui um importante parâmetro na caracterização de seu grau de poluição (BAIRD, 2002). Porém é uma medida imprecisa, pois não considera a atividade de microrganismos anaeróbios. Em tratamento de efluentes a DBO é um parâmetro importante para o controle da eficiência das estações, tanto de tratamento por processos biológicos aeróbios e anaeróbios, bem como processos físico-químicos.

A DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica e inorgânica de um efluente, nas condições específicas da análise, utilizando um oxidante forte, tal como o dicromato de potássio em meio ácido e com um catalisador a base de prata. A análise dos valores de DQO em efluentes e em águas de superficiais é uma das mais expressivas análises para determinação do seu grau de poluição.

Os valores de DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo a análise realizada em um prazo menor e em primeiro lugar, orientando a análise de DBO. A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica. O aumento da concentração da DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial. Assim, pode-se considerar que a DQO é a demanda total de O<sub>2</sub>, devido à substâncias recalitrantes (não biodegradáveis) somada à demanda de O<sub>2</sub> devido à substâncias biodegradáveis (ROCHA et al, 2009).

## AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE

Através da relação entre a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO), é possível estimar a biodegradabilidade desses compostos e seu impacto ambiental em um corpo receptor. A biodegradabilidade de um determinado efluente líquido tem sido, muitas vezes, expressa pela









Pelos resultados obtidos, percebe-se que estas águas de lavagem, são efluentes com elevadas cargas orgânicas, e, sendo assim, a etapa de lavagem para purificação do biodiesel por meio da lavagem aquosa, merece especial atenção por parte dos pesquisadores quanto as quantidades de reagentes utilizados, bem como os meios de tratamento e reaproveitamento dos efluentes gerados no processo (GOLDANI E DE BONI, 2008).

(GOLDANI E DE BONI, 2008) realizou diferentes tipos de tratamentos testes em águas de lavagem na tentativa de atingir índices não somente para descartar em algum corpo d'água, mas também para reaproveitamento no próprio processo. Para isso, o pesquisador adotou os seguintes procedimentos: adição de ácido acético (solução 0,01% v/v), lavagem com água quente, utilização de filtros constituídos de areia grossa, areia fina e britas de diferentes tamanhos, além da utilização de papel-filtro entre as camadas formadas por esses materiais. Outro procedimento adotado na realização do tratamento da água de lavagem foi a utilização de um Jar test, para definir qual a dosagem ótima/econômica quando usado os agentes floculantes, sulfato de alumínio e sulfato ferroso.

Através dos testes realizados, (GOLDANI E DE BONI, 2008) percebeu-se que existem meios executáveis de se tratar um resíduo com alta carga poluidora como esse. Além disso, o tratamento químico com agentes floculantes mostrou-se economicamente viável, tendo em vista que, para uma indústria de porte médio com produção diária de biodiesel de 100.000 litros (L), o custo de tratamento da água de lavagem

não chega a 0,7% do faturamento anual da empresa além da possibilidade de reuso da água tratada no próprio processo.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi feito em todos os parâmetros analisados uma estatística descritiva através do programa The R Project for Statistical Computing. Também foram providenciados os gráficos de caixa tipo boxplot, para auxiliar na avaliação da eficiência das lavagens para os valores de DBO e DQO. No boxplot, dentro da caixa, as linhas horizontais expressam os valores de 25 (primeiro quartil), 50 (mediana) e 75% (terceiro quartil) e o quadrado expressa a média aritmética. Quando o quadrado coincide com a linha horizontal, significa que a média é igual a mediana.

As hastes inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do quartil inferior até o menor valor não inferior ao limite inferior e do quartil superior até o maior valor não superior ao limite superior; os pontos fora destes limites são considerados valores discrepantes (outliers). A diferença entre os quartis, é uma medida da variabilidade dos dados.

As tabelas 3 e 4 são um complemento do boxplot com os valores pontuais mostrados nos gráficos e as figuras 4 e 5 são os boxplot mostrando a variabilidade dos resultados da DBO e da DQO entre cada água de lavagem, respectivamente. Teoricamente, a última água de lavagem (3ª) é para apresentar as menores concentrações dos parâmetros analisados, o que foi comprovado neste estudo.

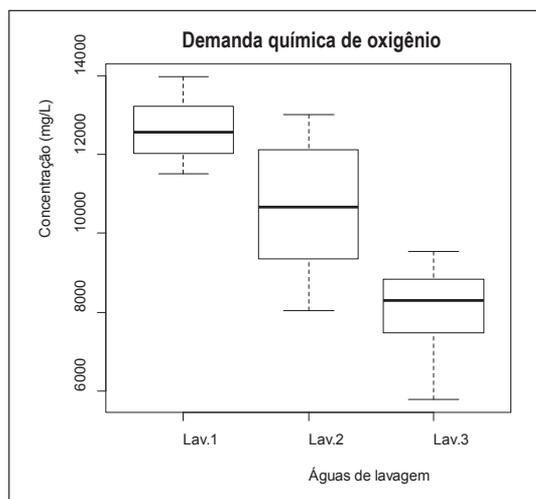


FIGURA 4. Variabilidade dos resultados de DBO entre as águas de lavagens.

TABELA 3  
Valores do menor elemento (mín), primeiro quartil (1st Qu), mediana, média e terceiro quartil (3rd Qu) para os resultados de DBO

	Min.	1st Qu.	Mediana	Média	3rd Qu.	Max.
Lavagem 1	11.512,0	12.085,0	12.578,0	12.654,0	13.212	13.973,0
Lavagem 2	8.045,0	9.373,0	10.679,0	10.688,0	11.902,0	13.023,0
Lavagem 3	5.796,0	7.619,0	8.291,0	8.138,0	8.784,0	9.546,0

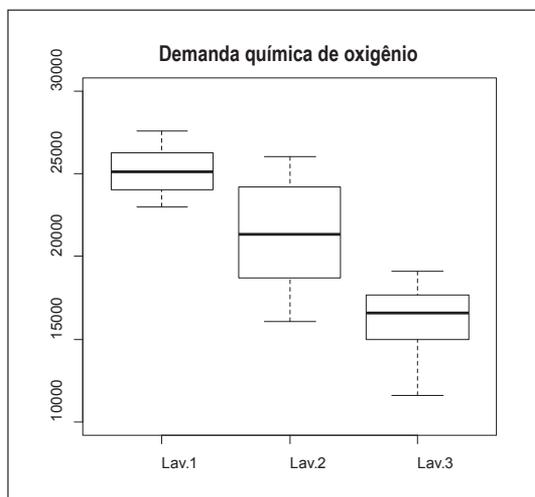


FIGURA 5. Variabilidade dos resultados de DCO entre as três águas de lavagens.

TABELA 4  
Valores do menor elemento (mín), primeiro quartil (1st Qu), mediana, média e terceiro quartil (3rd Qu) para os resultados de DQO

	Min.	1st Qu.	Mediana	Média	3rd Qu.	Max.
Lavagem 1	23.023,0	24.170,0	25.156,0	25.141,0	26.195,0	27.612,0
Lavagem 2	16.090,0	18.746,0	21.358,0	21.377,0	23.804,0	26.047,0
Lavagem 3	11.592,0	15.239,0	16.582,0	16.276,0	17.569,0	19.092,0



GRANGEIRO, R. V. T. 2009. Caracterização da água de lavagem proveniente da purificação do biodiesel. 40 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de ciências exatas e da natureza, Universidade Federal da Paraíba – Paraíba.

HOLANDA, A. 2006. Biodiesel e Inclusão Social. Brasília. Câmara dos Deputados, (Série Cadernos de Altos Estudos, 01). P. 13-60.

JARDIM, WILSON F.; CANELA, MARIA CRISTINA. 2004. Fundamentos da Oxidação Química No Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos. UNICAMP. Campinas.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. 2006. Manual do Biodiesel. Traduzido do original “The Biodiesel Handbook” por Luiz Pereira Ramos. Editora Edgard Blücher, São Paulo – SP.

MORETTO, ELIANE; FETT ROSEANE. 1989. Óleos e gorduras vegetais: processamento e análises. 2. Ed. Ver. Florianópolis: UFSC.

ROCHA, J. C., ROSA, A.H.; CARDOSO, A. A. 2009. Introdução a química ambiental. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. 2006. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 22 de set. 2011.

Erika de Almeida Sampaio Braga. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Email: andreierika@yahoo.com.br

Marisete Dantas de Aquino Doutora. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Email: marisete@ufc.br

Jackson de Queiroz Malveira. Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará. Email: jacksonmalveira@hotmail.com

José Capelo Neto. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Email: capelo@ufc.br

Cristiane Alexandrino Duarte. Universidade Estadual do Ceará. Email: Cris\_ufc@yahoo.com.br

**Erika de Almeida Sampaio Braga** Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Email: andreierika@yahoo.com.br

**Marisete Dantas de Aquino** Doutora Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Email: marisete@ufc.br

**Jackson de Queiroz Malveira** Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará. Email: jacksonmalveira@hotmail.com

**José Capelo Neto** Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Email: capelo@ufc.br

**Cristiane Alexandrino Duarte** Universidade Estadual do Ceará. Email: Cris\_ufc@yahoo.com.br



# Estudos hidrológicos sobre a bacia de Entre-Ribeiros e avaliação do impacto do uso consuntivo de água para irrigação

Vitor Vieira Vasconcelos, Renato Moreira Hadad,  
Paulo Pereira Martins Junior

**Resumo:** O objetivo deste artigo é integrar os estudos de uso do solo e da água na sub-bacia de Entre-Ribeiros, na Bacia do Rio São Francisco, em Minas Gerais, de forma a compreender os impactos ambientais das frentes agrícolas de irrigação. Inicia-se por avaliar os estudos existentes que abarcam a caracterização do sistema hidrológico da Bacia de Entre-Ribeiros. Parte-se dos estudos não regionalizados, ou seja, que utilizaram dos dados das estações fluviométricas, mas se ativeram à caracterização das respectivas bacias de captação dessas estações. Em seguida, são sopesados os estudos que envolveram a regionalização das vazões, da dinâmica hidrológica e dos impactos de uso da água para Bacia de Entre-Ribeiros. Conseqüente, lançando mão tanto das estimativas de especialistas quanto de dados primários locais, é discutida a eficiência dos sistemas agrícolas de irrigação de Entre-Ribeiros: quanto de água é requerido, quanto é efetivamente utilizado e quanto é evadido do sistema. Subsecutivamente, a análise dos dados de irrigação de Entre-Ribeiros, associados aos parâmetros hidrológicos e ao zoneamento agro-econômico por sensoriamento remoto, permite estimar qualitativamente e quantitativamente os impactos da frente agrícola irrigada sobre o sistema hídrico.

**Palavras chave:** sensoriamento remoto, uso da água, uso do solo.

**Abstract:** A water and land use research is realized on Entre-Ribeiros sub-basin, in São Francisco Basin, Minas Gerais, Brazil. The research is to investigate the agriculture irrigation environmental impacts. Regionalized and non-regionalized hydrological studies are revised on water courses dynamic and water use. Using expert estimations based on local data, the Entre-Ribeiros irrigation efficiency is evaluated: how much of water is demanded, how much is used in fact and how much is lost from the system. Following that, Entre-Ribeiros irrigation data is associated with hydrological parameters and remote sensing agro-economic zoning; this approach permitted to estimate qualitatively and quantitatively the irrigation front impacts on the water cycle and on the environment.

**Keywords:** remote sensing, water use, land use.

## INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica de Entre-Ribeiros situa-se na Bacia do Rio Paracatu, no Noroeste de Minas Gerais (Figuras 1a e 1b), entre os municípios de Paracatu e Unaí. Trata-se de um cenário marcante para analisar o efeito potencial das novas frentes agrícolas. Desde o ano de 1970, observa-se nessa bacia hidrográfica o estabelecimento progressivo de um grande sistema de irrigação (RODRIGUEZ *et al.*, 2007), envolvendo diversos agricultores de forma associada. Trata-se de uma agricultura que se utiliza de tecnologia de ponta, incluindo o uso frequente de pivôs circulares de irrigação. Com a expansão dessa frente agrícola irrigada,

a utilização dos recursos hídricos de Entre-Ribeiros chegou a um nível crítico, muito abaixo da vazão ecológica necessária para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e terrestres associados. Em períodos de maior estiagem, chegou-se inclusive a conflitos entre os agricultores pelos recursos hídricos escassos (PRUSKI *et al.*, 2007).

Ademais, o uso intensivo dos recursos naturais compromete outras oportunidades de uso múltiplo. O limite de uso, proporcionado pela escassez de água em Entre-Ribeiros é um obstáculo para a expansão de novas frentes irrigadas na região. Além disso, a diminuição da vazão crítica dessa bacia influenciará nos rios a jusante, a saber, o Rio Paracatu, o qual é

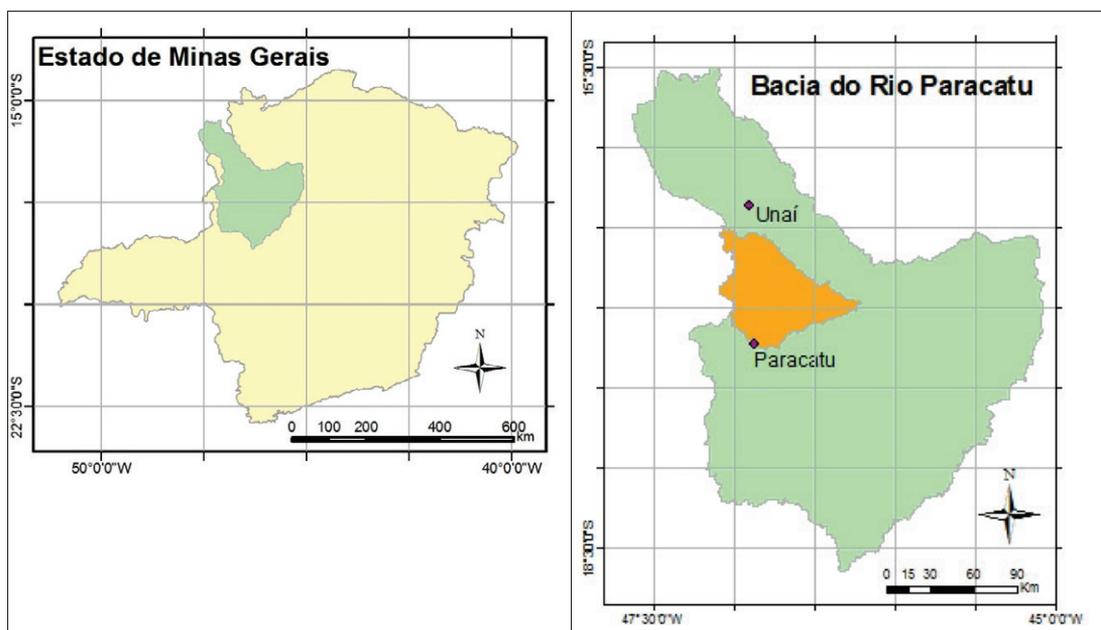
o principal afluente do Rio São Francisco (DINO, 2001). Com um cenário futuro de transposição do Rio São Francisco, bem como com o aumento da demanda por hidroeletricidade provenientes das usinas presentes e em planejamento, torna-se basilar um planejamento racional sobre como serão utilizados os recursos hídricos que contribuem para o Rio da Unidade Nacional (RODRIGUEZ, 2004).

### Objetivos

O objetivo deste artigo é integrar estudos de hidrologia e sensoriamento remoto, de modo a investigar os impactos de uma frente agrícola irrigada de Entre-Ribeiros sobre os sistemas hídricos.

A avaliação do uso consuntivo da água de Entre-Ribeiros e de sua relação com a disponibili-

dade hídrica superficial tem como base os estudos de BRITO *et al.* (2003); RODRIGUEZ (2004); MOREIRA (2006); LATUF (2007); PRUSKY *et al.* (2007), RODRIGUEZ *et al.* (2007) e RODRIGUEZ (2008). Esses estudos foram avaliados a partir dos dados e estudos sobre o processo de ocupação de uso do solo, de modo a abordar o relacionamento entre a agricultura (viés econômico) e os recursos hídricos (viés ecológico). O mapeamento da evolução da ocupação por pivôs centrais de irrigação da bacia hidrográfica permitiram aplicar os dados de demanda de água e eficiência de irrigação à vazão da bacia hidrográfica. Pretende-se, com essa metodologia, estabelecer relações entre os sistemas agroeconômicos existentes na bacia e o ciclo hidrológico. O Quadro 1 apresenta o objetivo, as metas e os produtos empreendidos neste artigo.



FIGURAS 1A E 1B. Localização da Sub-Bacia de Entre-Ribeiros na Bacia do Rio Paracatu e, por sua vez, no Estado de Minas Gerais. – Location of Entre Ribeiros Sub-basin in Paracatu River Basin, in Minas Gerais State.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Mapeamento da Evolução da Frente Agrícola de Irrigação

O mapa da Figura 2 mostra a localização dos pivôs na Bacia de Entre-Ribeiros, sob uma perspectiva temporal. Desde 1989, alguns dos pivôs de irrigação situados próximos ao norte da foz de Entre-Ribeiros utilizam-se da água canalizada proveniente do ribeirão, embora se situem para além das margens dos divisores de águas da bacia – um caso especial de transposição de águas de bacia. Para o ano de

2008, atenta-se para o fato de que um número razoável de pivôs de irrigação utilizam-se de água canalizada vinda de fora da Bacia de Entre-Ribeiros – ou seja, o inverso dessa mesma modalidade de transposição. A canalização de águas provenientes do leito do Rio Paracatu para os Projetos de Irrigação Entre-Ribeiros II e III foi descrita por ASSAD *et al.* (1991; 1992) e por BRITO *et al.* (2003). Nos demais casos, as imagens de satélite possibilitaram acompanhar os canais de irrigação que ligam as áreas irrigadas às barragens localizadas para além da bacia hidrográfica.

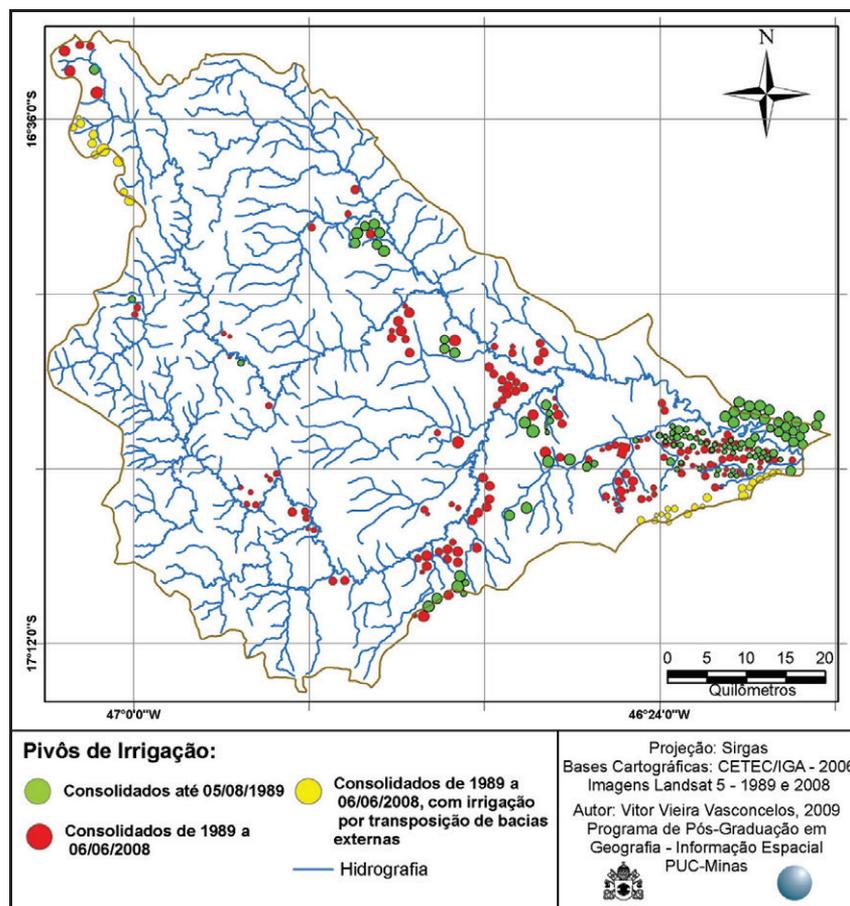


Figura 2: Mapa da evolução da ocupação por pivôs centrais de aspersão na bacia de Entre-Ribeiros, entre os anos de 1989 e 2008. Map showing the land use evolution of central pivots sprinkling in Entre-Ribeiros Basin, between the years 1989 and 2008.

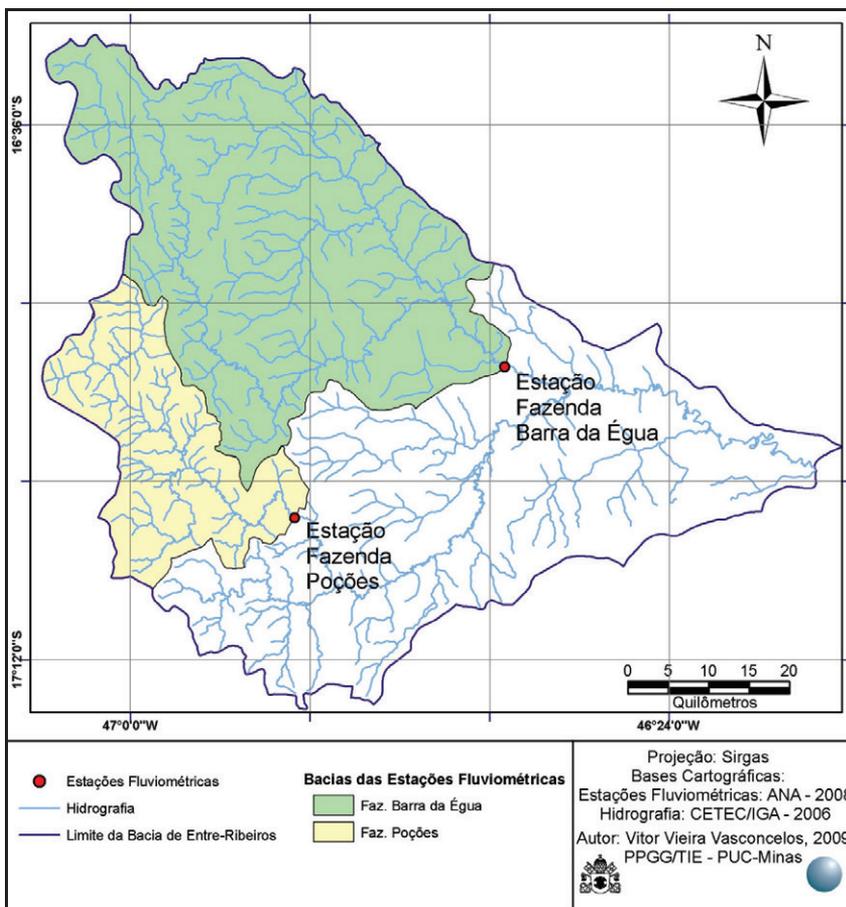
### Estudos de Vazão Não Regionalizada

LATUF (2007) conduziu um estudo com o intuito de demonstrar como as mudanças de uso do solo em Entre-Ribeiros impactaram seu ciclo hidrológico. O autor avaliou as mudanças de uso do solo de 1985 a 2000, nas bacias de captação das duas estações fluviométricas de Entre-Ribeiros. O pressuposto de Latuf foi de que as florestas (principalmente) e os cerrados (em menor proporção) proporcionassem maior regularização da vazão para os rios do que os usos do solo de pastagem e cultivo.

Uma primeira crítica que pode ser feita ao trabalho de LATUF (2007) é de que não se considerou a feição geomorfológica associada à vegetação. Em Entre-Ribeiros, a maioria das florestas situa-se em áreas bastante declivosas, onde predomina o escoamento

superficial da água. O cerrado, em contraposição, ocupa as áreas planas e, portanto, mais propensas à infiltração das águas.

Os cálculos de LATUF (2007) sobre os impactos hidrológicos não incorporam nenhum uso da água para atividades agropecuárias, como dessedentação de animais e cultivo – razão pela qual a consistência de seus resultados pode ser questionada. Aliás, a não diferenciação entre os usos de solo de agricultura tradicional e irrigada apresenta outra deficiência crucial, pois esses dois sistemas agro-econômicos refletem relações bastante diferenciadas quanto ao uso e conservação dos recursos hídricos. Ademais, o estudo de LATUF (2007) é cingido por abranger apenas a cabeceira da bacia de Entre-Ribeiros (Figura 3), não abarcando as principais áreas irrigadas onde ocorrem os conflitos de uso da água, que estão mais a jusante (Figura 2).





















RODRIGUEZ, R.D.G. 2008. Proposta Conceitual para a Regionalização de Vazões. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.  
RURALMINAS. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu – PLANPAR.

**Vitor Vieira Vasconcelos** Assembleia Legislativa de Minas Gerais (Consultor Legislativo de Meio Ambiente e Recursos Naturais). Universidade Federal de Ouro Preto (Doutorando). Doutorando em Geologia, Mestre em Geografia, Especialista em Solos e Meio Ambiente, Bacharel em Filosofia, Técnico em Meio Ambiente, Técnico em Informática. Financiador: Capes-Prosop. E-mail: vitor.vasconcelos@almg.gov.br. Endereço: Rua Goitacazes, 201/1402, Centro, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 30.190-050.

**Renato Moreira Hadad** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (Pró-Reitor) – Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial (Professor). Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC-MG (Pesquisador Pleno). Doutor em Ciência da Computação, Mestre em Engenharia Eletrônica e Computação, Bacharel em Engenharia Mecânica. rhadad@pucminas.br

**Paulo Pereira Martins Junior** Universidade Federal de Ouro Preto (Professor). Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC-MG (Pesquisador Pleno). Geólogo. Doutor em Ciências da Terra. paulo.martins@cetec.br



# Valoração dos danos ambientais causados pela implantação da usina hidrelétrica de Estreito: o caso dos municípios de Carolina-MA e Filadélfia-TO

**Luiz Norberto Lacerda Magalhães Filho,  
Fernán Enrique Vergara , Waldecy Rodrigues**

**RESUMO:** O presente trabalho mostra a utilização de um método de valoração econômica como ferramenta para a análise da compensação de danos advindos da construção de hidrelétricas. O objetivo principal é estimar o valor monetário dos danos causados pela implantação da UHE de Estreito pela perda da praia natural localizada entre os municípios de Carolina-MA e Filadélfia-TO, que foi alagada com a implantação do lago da Usina Hidrelétrica que esta sendo implantada em Estreito – MA. Para tanto, adotou-se a forma de eliciação do tipo “jogos de leilão”. O procedimento consistiu na coleta, elaboração e análise de dados, de uma amostra aleatória de indivíduos que revelaram suas Disposições a Receber (DAR), valor esse que compensaria as perdas em seu bem-estar em razão do processo de alagamento. Com o método obteve-se uma DAR média de R\$ 213,80 por habitante, alcançando um valor total de R\$ 83,33 milhões/ano que poderia ser usado como referência para estimativas de compensação financeira para a população da área de estudo. O valor encontrado serve como base para discutir a eficácia do método de cálculo e distribuição das Compensações Financeiras pelo Uso dos Recursos Hídricos, que para este trabalho foi de R\$ 12,39 milhões, o que demonstra que a atual política de compensação financeira não capta os reais valores das áreas impactadas pela construção de hidrelétricas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compensação financeira, Valoração contingente, Disposição a receber.

**ABSTRACT:** This paper presents the use of an economic valuation method as a tool for analyze compensation of damages arising from construction of hydroelectric plants. The main purpose is estimating the monetary value of damage caused by the implementation of UHE Strait for loss of natural beach located in the municipalities of Carolina-Ma e Filadélfia-TO, that will be waterlogged with the establishment of the Hydroelectric Plant Lake. For this purpose we adopted the form of elicitation of the “Bidding Games”. The procedure consisted of the collection, compilation and analysis of a random sample of individuals who revealed their provisions Receivable (DAR), an amount that would offset the loss in welfare due to the flooding process. With the method we obtained an average of DAR R\$ 213.80 per capita, reaching a total value of R\$ 83.33 million / year to compensate the cities under study. The obtained value works as basis for discussing the effectiveness of the calculation method and distribution of financial compensation for the Water Resources.

**KEYWORDS:** Financial compensation, Contingent valuation, Receivable Provisions.

## INTRODUÇÃO

O Brasil possui um dos maiores potenciais energéticos do mundo, embora as reservas de combustíveis fósseis são relativamente reduzidas, os potenciais hidráulicos, da irradiação solar, da biomassa e eólico são, de fato, abundantes e contribuem para garantir a auto-suficiência energética do país. Contudo, apenas duas fontes energéticas – hidráulica e petróleo – têm sido extensivamente aproveitadas, sendo cerca de

90% do suprimento de energia elétrica do país provém de geração hidráulica. (ANEEL, 2002).

Cachapuz (2003) destaca que as escolhas pelo uso das hidrelétricas no Brasil é resultado da tradição brasileira de investir nesse tipo de empreendimento, que por sua vez é fruto da opção que o país fez, no início do século passado, de usar essa fonte para gerar eletricidade, devido à escassez de reservas carboníferas de boa qualidade. Além da carência dos combustí-







Os municípios com direito a compensação financeira são aqueles em cujos territórios se localizam instalações destinadas à produção de energia elétrica, ou que tenham áreas invadidas por águas dos respectivos reservatórios (RIVA et. al. 2007). Para o cálculo das Compensações Financeiras, remete-se a medida em Megawatt/hora (MWh), em que sua produção é multiplicada pela Tarifa Atualizada de Referência (TAR), fixada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

### Comparação entre os valores danos encontrados pelo MVC e pela CFURH

Por fim, são comparados os valores encontrados pelas perdas de atributos ambientais encontrados pelo MVC com aqueles estimados pela legislação brasileira por meio da CFURH. O propósito dessa comparação é avaliar se os valores atualmente indicados para compensação financeira pela legislação brasileira são ou não proporcionais aos danos que as comunidades locais são obrigadas a internalizar.

Também se pretende testar a hipótese lançada por Marques e Comune (2001), que em regra o valor dado pelas compensações se constitui na maioria dos casos inferior ao real valor das perdas, pois o valor econômico do meio ambiente é algo complexo, uma vez que os bens e serviços ambientais, bem como suas funções providas ao homem, não são apropriáveis pelas transações de mercado.

### ÁREA DO ESTUDO

Na bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, a área prioritária para esses investimentos, atualmente se encontra entre o norte do estado do Tocantins, sudoeste do Maranhão e sudeste do Pará, devido à quantidade de indústrias de grande importância que contribuem de forma relevante para o desenvolvimento do país. Logo, foi proposta a implantação na região de três hidrelétricas, especificamente: A Usina Hidrelétrica de Santa Isabel (TO/PA), Usina Hidrelétrica de Serra Quebrada (TO/MA) e a Usina Hidrelétrica de Estreito (TO/MA) única já em processo de implantação (figura 1.a).

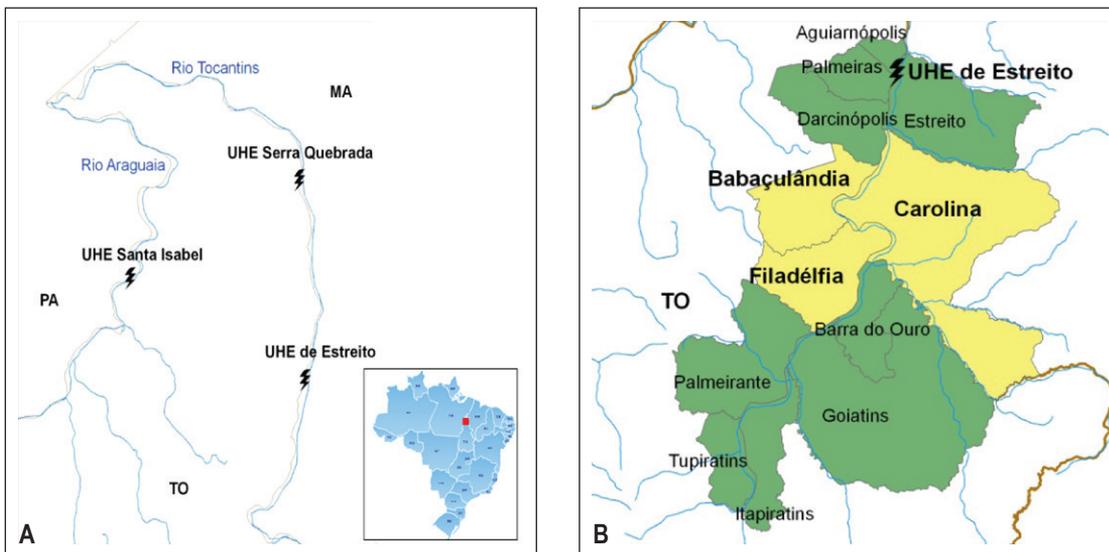


FIGURA 1 – a) Usinas planejadas ao norte do estado do Tocantins; b) Cidades diretamente impactadas pela criação da UHE de Estreito.



A Praia é estruturada pela prefeitura de Filadélfia – TO, em conjunto com associações locais (como barqueiros e comerciantes), com instalações de água, energia, sanitários, equipamentos de som, posto médico, posto policial e barracas de aluguel; os bares e restaurantes são de responsabilidade da iniciativa privada.

A cidade de Filadélfia localiza-se na Amazônia Tocantinense, fundada em 1919. Possui área total de 1.988 km<sup>2</sup> com população estimada de 8.505 habitantes (fonte IBGE/2010), integrando a 4ª Região administrativa do estado do Tocantins. Sua origem vem do intenso tráfego de mercadorias entre o Maranhão e Goiás, o governo do Maranhão, instalou um Posto Fiscal em Carolina. Concomitante em oposição ao posto fiscal de Carolina que controlava a circulação de mercadorias no Maranhão nasceu em Goiás o Posto Fiscal de Filadélfia, denominado Posto dos Paula, chefiado por Otaviano Pereira de Brito, que fez uma campanha de ocupação daquele território, convidando famílias de fora para se estabelecerem no local (CHAVES e LIRA, 2008).

A cidade de Filadélfia, por muito tempo vem mantendo fortes ligações sociais, econômicas e culturais com Carolina, seja pela proximidade, seja pelas atividades complementares relacionadas ao uso do Rio Tocantins. Chaves e Lira (2008) destacam que a questão econômica foi apenas o pontapé inicial da intensificação de outras relações entre as duas cidades, sobressaindo-se entre elas, o lazer, a educação, a religião e tudo que vem a constituir uma cidade de sociedade ribeirinha. A praia de Filadélfia, por exemplo, que hoje recebe turistas de uma série de lugares do

país, já era frequentada pelo povo carolinense desde o início do século XX.

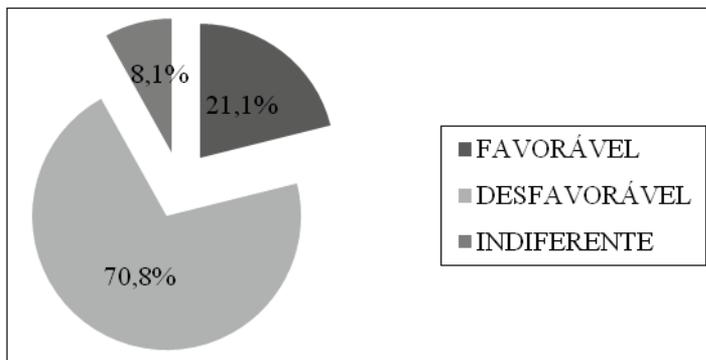
Dessa forma, Carolina poderia até mesmo possuir uma melhor estrutura e proporcionar aos moradores uma série de vantagens que Filadélfia não possuiria, mas a praia tornava Filadélfia, uma cidade extremamente atrativa, para todos que habitavam aquela região. Porém, com a instalação da UHE de Estreito e a conseqüente perda de sua praia, o que ocorrerá com o município de Filadélfia? Quais serão suas perdas turísticas, econômicas e sociais?

### AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA CRIAÇÃO DO LAGO DA UHE DE ESTREITO (ALAGAMENTO)

Realizaram-se questionamentos à população local, a despeito da sua opinião sobre a implantação da hidrelétrica, e observou-se que 70,8% da população local é desfavorável à implantação da usina na localidade (Figura 3).

É um ponto destacável, já que outrora a população associava a chegada dessas obras com o progresso. Porém, na pesquisa de campo se verificou que muitos não acreditam em uma compensação “justa” pela perda de seus imóveis, bem como na possibilidade do aparecimento de impactos negativos.

Esses impactos ultrapassam o simples deslocamento populacional, como os problemas relativos às mudanças sociais e ambientais que afetarão os seus meios produtivos, elaborados durante mais de um século de apropriação da natureza e de sobrevivência na região e que com o enchimento do lago se tornarão inviáveis.

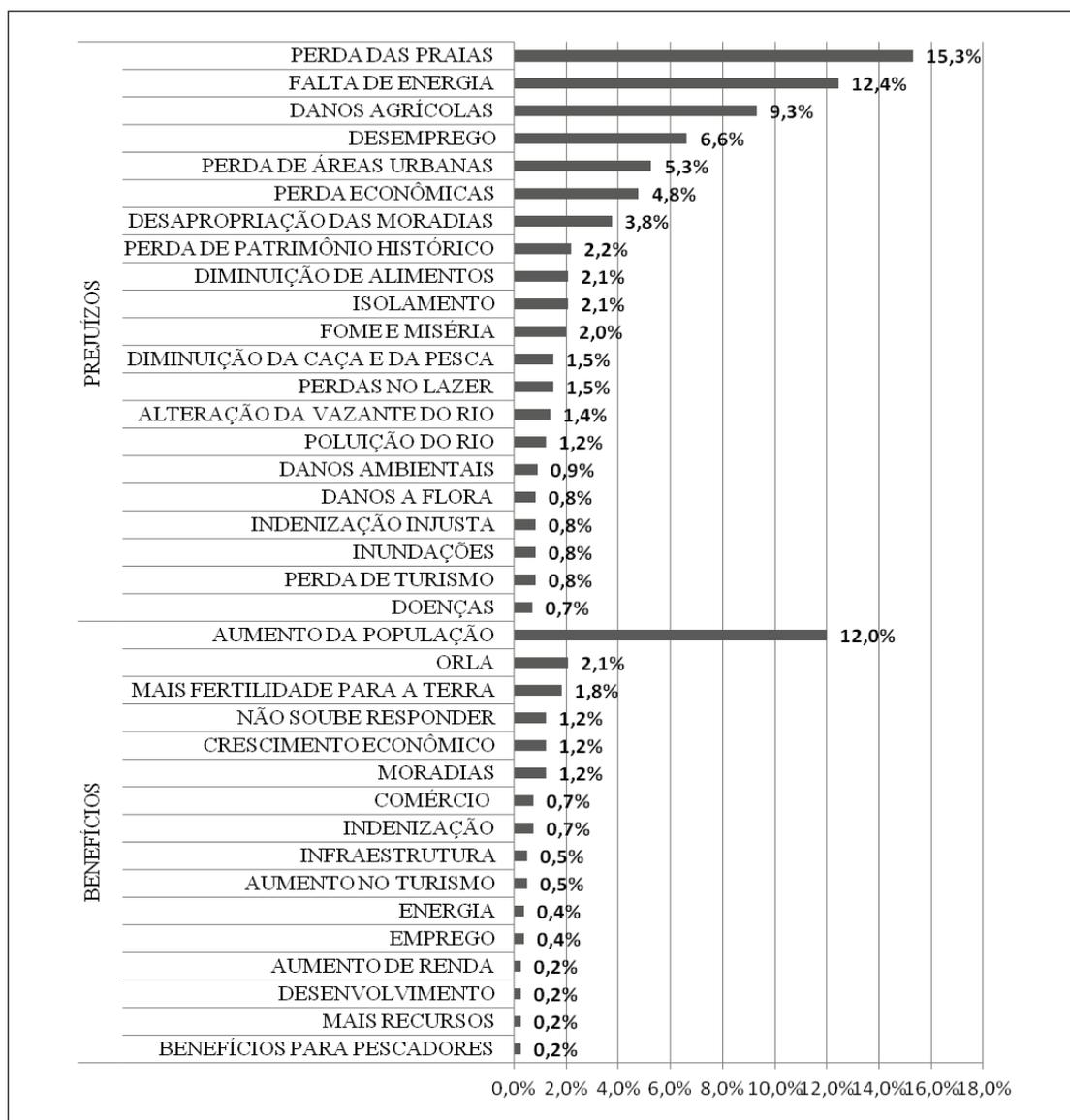


**Figura 3.** Opinião da população residente sobre a implantação da UHE de Estreito – 2008.

**Fonte:** Pesquisa de campo.

As causas mais importantes de insatisfação por parte da população local, causadas pelo alagamento foram respectivamente: a perda das praias (15,3%), a possível falta de energia (12,4%) pela grande quantidade de máquinas necessárias durante a implantação, danos agrícolas (9,3%) pela perda de terras produtivas próximas ao leito do Rio Tocantins que as propiciava maior fertilidade, e o

desemprego (6,6%), com a perda da praia e áreas rurais, geradoras de renda de considerável parcela da comunidade. Entre os benefícios apontados o de maior relevância foi o aumento da população (12%), que embora dinamize o comércio local, com mais compradores, poderá gerar um inchaço na área urbana criando uma classe de população marginalizada (Figura 4).



**Figura 4.** Prejuízos e benefícios apontados com a construção da UHE de Estreito – 2008.

Fonte: Pesquisa de campo.

Os empregos gerados com a implantação da hidrelétrica ocorrem em sua grande maioria no canteiro de obras da usina. Cidades mais distantes, como é o caso de Carolina, Filadélfia e Babaçulândia, não se beneficiam dessa geração de empregos, além disso, o desenvolvimento gerado com as indenizações destinadas aos municípios pode ser neutralizado, uma vez que é acompanhado com graves problemas sociais tais como a desocupação, surgimento de doenças por vetores e perda de atividades econômicas, como a pesca e comércio nas altas temporadas das praias.

### ESTIMATIVAS DA FUNÇÃO DE DISPOSIÇÃO A RECEBER PELOS DANOS PROVOCADOS PELO ALAGAMENTO

Seguindo recomendações de estudos de valoração com o método de valoração contingente, já realizados para compensações financeiras optou-se por realizar testes de modelos econométricos para se obter os melhores ajustes. Por isso foram avaliadas as seguintes formas funcionais: linear, logarítmica na variável dependente, logarítmica nas variáveis independentes, e logarítmicas nas variáveis exógenas e endógenas. Em seguida, os métodos foram analisados para que fosse escolhida a forma que melhor se adequasse aos objetivos propostos.

A forma funcional escolhida foi da variável dependente (DAR) na forma logarítmica, e as variáveis explicativas na forma linear. Foi aplicado sobre o modelo, o teste de *variance inflation factors* (VIF), confirmando que não havia multicolinearidade no modelo escolhido. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 1.

Com isso, a função disposição a receber pelos danos gerados pela perda da praia entre os municípios de Carolina-MA e Filadélfia-TO é expressa da seguinte forma (Equação 4):

#### Modelo log-lin

$$\ln DAR = 2,1280 + 2,9 \times 10^{-5} Ri + 0,0484 Si + 0,0157 Ei - 0,0712 Ui \quad (4)$$

Onde:  $\ln DAR$  = logaritmo da disposição a receber pela perda das praias;  $Ri$  = Nível de renda familiar dos indivíduos;  $Si$  = Sexo do entrevistado;  $Ei$  = Anos de estudos;  $Ui$  = Variável binária correspondente ao uso do Rio Tocantins;

Analisando o comportamento das variáveis explicativas no modelo encontrado, confirmou-se a

expectativa teórica de que a “Renda familiar” ( $Ri$ ) é diretamente proporcional à disposição a receber pela perda da praia, ou seja, quanto maior a renda, maior é a disposição a receber dos indivíduos.

A variável “Anos de estudo” ( $Ei$ ), apresentou coeficiente e significância de acordo com a teoria, isto é, quando maior o grau de instrução do entrevistado maior valor associado à perda de um ativo ambiental.

As variáveis referentes ao “Uso do Rio Tocantins” ( $Ui$ ) e “Sexo” ( $Si$ ) dos entrevistados, foram significativas há 15%. Ambas se tratam de variáveis binárias, sendo a primeira de coeficiente negativo, indicando a premissa de que a pessoas que utilizam o rio no estado natural tendem a estimar maior valor pela perda dos atrativos.

O poder explicativo do modelo ajustado resultou em um baixo coeficiente de determinação  $R^2 = 0,2409$ , com nível de significância do modelo = 0,0001, de acordo com o teste F (DAR), embora o coeficiente de determinação seja baixo as variáveis inseridas no modelo o explicam de forma coerente, sendo comum em outros estudos o baixo valor observado, como em Rodrigues *et. al.* (2006) que mensurou os impactos ambientais de empreendimentos hidroelétricos, por meio do método de valoração contingente obtendo  $R^2$  de 0,052, Finco *et. al.* (2005) em sua valoração de serviços proporcionados pelas praias em Palmas-TO encontrou  $R^2$  de 0,094 e PAK & TURKER (2006)

TABELA 1

Estimativa dos parâmetros da função de disposição a receber pelos danos gerados pelo alagamento da praia

Variáveis explicativas	Coefficientes de regressão	Teste “t” de Student
Constante	2,1280*	48,715
Renda familiar	$2,9 \times 10^{-5}$ ***	2,791
Sexo	0,0484***	1,287
Anos de estudo	0,0157*	3,358
Uso do Rio Tocantins	-0,0712***	-1,473
Coefficiente ( $R^2$ )	0,2409	
Valor F	8,480	
Significância do Modelo	0,000	

Nível de significância: \* significativo até 1% \*\* significativo até 5% \*\*\* significativo até 15%.

TABELA 2

Estimativa do valor das perdas causadas pelo alagamento da praia entre Carolina - MA e Filadélfia – TO

Nº de habitantes	Nº de entrevistados	DAR Média mensal (R\$)	Valor mensal do dano ambiental (R\$)	Valor anual do dano ambiental (R\$)
32.481	557	213,80	6.944.437,80	83.333.253,60

Fonte: Resultados da pesquisa.

72

em seu trabalho que estimou o valor de uso recreativo dos recursos florestais (na região da Turquia) e obteve  $R^2$  de 0,160.

Propondo estimar o valor das perdas causadas pelo alagamento da praia em estudo, tornou-se necessário calcular a disposição a receber (DART) total pela média das disposições a receber individuais (DAR). Assim, conforme a equação (01) utilizada para o cálculo da estimativa do valor das perdas tem-se que:

De acordo com os dados da tabela 2, o valor das perdas causadas pelo alagamento da praia entre os municípios foi estimado em R\$ 6.944.437,80/mês, sendo esse o valor econômico total das perdas geradas pelo alagamento das praias, ou seja, a somatória dos valores de uso, opção e existência do ativo ambiental.

### VALORES DOS DANOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO ALAGAMENTO E AS COMPENSAÇÕES FINANCEIRAS AOS MUNICÍPIOS

A estimativa da Compensação Financeira pelo Uso dos Recursos Hídricos (CFURH), é função da área alagada pela criação do lago e pela produção gerada pela usina (equação 3).

O que se verifica na CFURH é que varias outras características dessas áreas não são levadas em consideração quanto à compensação. O grau de fertilidade do solo, seu potencial agricultável, a biodiversidade da região e a importância histórico cultural não inseridos no cálculo desse tipo de compensação.

De acordo com CNEC (2002), o total estimado da área alagada pela implantação da UHE Estreito será de aproximadamente 400 km<sup>2</sup>, sendo que somente os municípios de Carolina e Filadélfia, terão mais de 204 km<sup>2</sup> alagados, isto é, 51% da área total inundada pelo lago da usina, mais da metade. Tendo a produção estimada para a UHE, que será de 1.087 MWh e também a sua área alagada, torna-se possível calcular as compensações financeiras gerada pela implantação da usina de acordo com a equação 3, que foi de R\$

38,06 milhões/ano (divido pelas cidades, estados e união), pode-se então saber o valor que deverá ser revertido aos municípios em estudo, que será de aproximadamente R\$ 12,29 milhões/ano.

Pode o valor destinado realmente mitigar os danos gerados pela criação do lago? A quantia paga hoje à população impactada realmente cobre todos os impactos, sejam eles ambientais, sociais, econômicos? São questões de grande repercussão quando se trata de empreendimentos hidrelétricos. Em termos de comparação, levando em conta a CFURH destinada às cidades e o valor aplicado no estudo com o uso do método de valoração contingente (Figura 5), observa-se grande diferença, já que o valor encontrado pelo MVC chega a ser quase de sete vezes superior a compensação destinada as cidades.

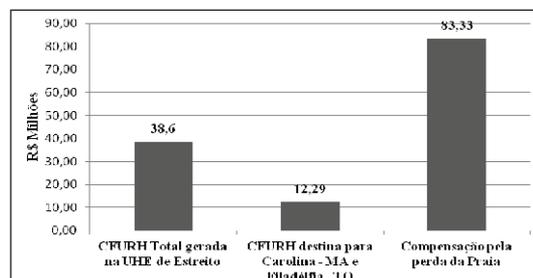


FIGURA 5. Valor dos danos causados pelo alagamento Versus Compensações Financeiras pelo Uso dos Recursos Hídricos (CFURH).

Rodrigues et. al. (2006), destacam que o valor pelo MVC, não representa todas as perdas, mas sim, a agregação dos valores das perdas de bem-estar individuais, tendo ainda outras perdas econômicas, sociais e ambientais não mensuradas. Dessa forma, o método utilizado ainda não é totalmente eficaz, porém remunera melhor as externalidades ambientais negativas que o método de compensação atualmente

TABELA 3  
Estudos envolvendo o Método de Valoração Contingente – MVC realizados no estado do Tocantins

Autores	Local	Método	Valor Encontrado (R\$)
Rodrigues et. al. (2006)	Porto Nacional – TO (Praia de Porto Real)	M.V.C (uso da DAR)	16.246.035,00/ano
Finco et. al. (2005)	Palmas – TO (Praia da Graciosa) e (Praia do Prata)	M.V.C (uso da DAP)	5.688.000,00/ano
			8.295.996,00/ano
Salustiano (2008)	Araguacema – TO (Praia da Gaivotas)	M.V.C (uso da DAP)	421.750,00/ano

adotado, em se tratando de bem-estar econômico e social de populações atingidas por processos de alagamento. Vergara (1996) aponta que a valoração de bens ambientais leva a um valor subestimado mas na maioria das vezes é um valor relevante que deve ser considerado no processo decisório de implantação de grandes empreendimentos com impactos ambientais.

Com isso, torna-se possível afirmar que o MVC possui maior abrangência em termos de determinação do valor econômico que a compensação atualmente utilizada para empreendimentos hidrelétricos, que é fundamentalmente baseado na área alagada dos municípios impactados bem como a produção gerada pela Usina Hidrelétrica, enquanto o MVC capta os danos no bem-estar da população atingida, em termos de valores de uso, opção e existência do meio ambiente.

Tanto o valor da CFURH destinada aos Municípios, como o valor total da CFURH devida à totalidade dos municípios afetados pela UHE de Estreito são inferiores ao valor encontrado utilizando o MVC. Seria discutível uma possível “super” estimativa pelos bens ambientais em estudo, no entanto ao observarem-se os valores encontrados em estudos de valoração já realizados no Tocantins (Tabela 3), se verifica que o presente estudo segue a tendência dos grandes valores encontrados.

Destaca-se ainda que os estudos envolvendo a DAR (Disposição a Receber) possuem maior valor que a DAP (Disposição a pagar), isso ocorre pela superestimação e pelos valores de protesto. Além disso, os estudos que envolvem a DAP trabalham ainda com questões de preservação/conservação, aonde a população acaba por manifestar seu grau de conscientização com os problemas ambientais, como ocorreu nos estudos realizados por Finco et. al. (2005) e Salustiano (2008). Enquanto que os estudos que utilizam a DAR se referem às possíveis compensações envolvendo perdas ou danos a bens ou serviços ambientais.

No presente estudo o alto valor justifica-se também pelo fato da pesquisa ter ocorrido anterior ao processo de enchimento do lago da usina, quando ainda permaneciam incertezas da população sobre as reais perdas, configurando assim um momento de muitas especulações, diferente do estudo realizado por Rodrigues et. al. (2006), que trabalharam com a compensação pela perda da praia posterior ao processo de enchimento do lago da Usina, em que o município havia sido indenizado e contava com uma nova praia artificial.

## CONCLUSÕES

Os municípios de Carolina – MA e Filadélfia – TO estão entre os mais impactados pela construção da UHE de Estreito. Juntamente com prejuízos, como o alagamento de áreas rurais, deslocamento involuntário da população residente nas áreas direta e indiretamente afetadas ou ainda o dano de equipamentos públicos como pontes e estradas, poderá ocorrer grande diminuição de sua vocação turística, com as variações na paisagem, e perdas de riquezas naturais como as praias, que durante o período de seca dos rios atraem turistas de varias regiões do Brasil.

Os valores encontrados de acordo com o Método de Valoração Contingente (MVC) pelos danos gerados com a implantação da Usina Hidrelétrica de Estreito ao município em estudo foram de R\$ 83,33 milhões/ano, sendo o valor encontrado pelo MVC superior ao valor da CFURH destinada as cidades em estudo (R\$ 12,29 milhões).

Conclui-se que a atual política de compensação financeira não capta os reais valores das áreas impactadas pela construção de hidrelétricas por relevar as particularidades da região impactada, seria necessário inserir mais indicadores para captar essas particularidades e com isso alcançar um valor próximo ao ideal.

Encontram-se inseridos no valor das perdas geradas pelo alagamento, o valor de uso, o valor de opção e

o valor de existência do Rio Tocantins para a região analisada. No entanto, o valor econômico encontrado não representa o valor total das perdas no município, mas sim, o valor agregado das perdas de bem-estar individuais dos entrevistados, tendo ainda outras perdas econômicas, sociais e ambientais não mensuradas.

O Brasil se destaca ambientalmente por sua grande disponibilidade hídrica, que facilitou a adoção na matriz energética brasileira das fontes hidráulicas.

Atualmente a busca pelo crescimento econômico vem contemplando a construção de várias hidrelétricas por todo o país, são grandes projetos com massivos investimentos e impactos sócio-ambientais consideráveis, no entanto, a compensação dos impactos gerados por essa atividade não são devidamente compensados, sendo necessário rever os “parâmetros” atuais da política de Compensação Financeira pelo Uso dos Recursos Hídricos.

## Referências

- ADTUR. **Agência de Desenvolvimento Turístico do Tocantins**. Disponível em: <http://turismo.to.gov.br/> Acesso em 03 jan. de 2011.
- AGUIRRE, A. FARIA D. M. C. P. (1996). “**Avaliação contingente**” de investimentos ambientais: Um estudo de caso. *Estudos Econômicos*, 1(26): 85–109, 1996.
- AIACHE, R. R. **Parques nacionais: uma avaliação de métodos de valoração através dos casos do Parque Nacional de Brasília e do Parque Nacional do Iguaçu**. 2002. 139 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Curso de Pós-Graduação em Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: 2002: ANEEL, 2002.
- BERMAN, C. **Energia no Brasil, para quê? Para quem? Projeto Brasil Sustentável**. São Paulo: 2002.
- BISHOP, R.C.; HERBERLEIN, T.A. **Measuring values of extra market goods: are indirect measured biased?** *American Journal of Agricultural Economics*, New York, v.61, n.5, p.926-930, 1979.
- BRAGA, P. L. S. **Aplicação do Método de Valoração Contingente No Parque Nacional da Lagoa do Peixe, RS, Brasil**. Projeto aprovado pelo Programa de Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/FURG), 2003.
- CHAVES, P. R., LIRA, E. R. **As relações sócio-territoriais na construção da usina hidrelétrica de Estreito-MA e sua (Re) produção no espaço urbano das cidades de Carolina-MA e Filadélfia-TO**. *Cadernos de Pesquisa do CDHIS*, n. 39, ano 21, p. 45-54, 2008.
- CACHAPUZ, P. B. de B. (Org). **História e operação do Sistema Interligado Internacional**. Rio de Janeiro: Centro de Memória da Eletricidade do Brasil, 2003. 416p.
- CNEC Engenharia S.A. **Estudo de Impacto Ambiental-EIA/RIMA da Usina Hidrelétrica de Estreito**. São Paulo: 2002.
- DAVIS, R. K. **The value of outdoor recreation: an economic study of the Maine woods**. Ph. D. thesis, Harvard University, 1963.
- FIELD, B. and FIELD, M. **Environmental Economics: an Introduction**. 3rd edition. New York: McGraw Hill, 1997.
- FINCO, M. V. A., RODRIGUES, W. RODRIGUES, S. C. S., BARBOSA, G. F., SOUZA, E. C. **Valoração Ambiental: Uma aplicação do Método de Valoração Contingente nas praias da cidade de Palmas/TO**. SOBER 2002, Disponível em <http://www.sober.org.br/palestra/2/393.pdf>. Acessado em: 19 fevereiro 2011.
- HASHIMURA, L. M. M. **Usos e abusos do método de valoração contingente no Brasil: vieses na aplicação da valoração contingente em estudos brasileiros**. 60 f. Monografia - Curso de Graduação em Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. [homepage na Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2010. [acessado em 5 janeiro 2011]. Anuário estatístico do Brasil; [1 tela]. Disponível em: <http://www.ibge.org.br>
- MARQUES, J. F., COMUNE, A. E. **Economia do Meio Ambiente: Teoria, Políticas e a Gestão de espaços Regionais**. 3ª Edição 2001, Unicamp.
- MCFADDEN, D. **Contingent valuation and social choice**. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 76, p. 689-708, nov. 1994.
- MEDEIROS, N. H., FERRARIO, M. N., TEIXEIRA, A. T. **Programa de Aceleração do Crescimento: Uma análise sobre a construção de Hidrelétricas na Região da Amazônia Legal**. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER. Jul. 2008. Rio Branco – AC.
- PAK, M.; TURKER, M. F. **Estimation of recreational use value of forest resources by using individual travel cost and contingent valuation methods (Kayabasi Forest Recreation Site Sample)**. *Journal of Applied Sciences*, v. 6, p.1-5, 2006.
- RIO GRANDE ENERGIA (RGE). **Impactos ambientais de hidroelétricas** (2006). Acessado em 02/01/07: [http://www.rge-rs.com.br/gestao\\_ambiental/impactos\\_ambientais.asp](http://www.rge-rs.com.br/gestao_ambiental/impactos_ambientais.asp)
- RANDALL, A., IVES, B. & EASTMAN, C. **Bidding Games for Valuation of Aesthetic Environmental Improvements**. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1: 132-49, 1974.

RIVA, A. L. M. da; FONSECA, L. F. L. da; HASENCLEVER, L. **Instrumentos Econômicos Financeiros para a Conservação Ambiental no Brasil**. Instituto Socioambiental. 2007. Cuiabá – MT.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, S. M.; CARVALHO, E. de; **Valoração dos danos ambientais da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. n.12, jul.-dez. 2006. Porto Alegre – RS.

SALUSTIANO, S. F. M., **Valoração Econômica do Meio Ambiente: o caso da Praia da Gaivota no Rio Araguaia – TO**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente – UFT. Palmas, 2008. 91 f.

VERGARA, F.E. (1996). **Avaliação econômica de ambientes naturais. O caso das áreas alagadas. Uma proposta para a represa do Lobo (Broa). Itirapina - SP**. São Carlos. 143p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado).

**Luiz Norberto Lacerda Magalhães Filho** Mestrando em Engenharia Ambiental – UFT, Av. N.S.15, s/n – Centro, Palmas – TO. E-mail: luizlmf@uft.edu.br.

**Fernán Enrique Vergara** Professor Adjunto da UFT, Engenharia Ambiental, Av. N.S.15, s/n – Centro, Palmas – TO. E-mail: vergara@mail.uft.edu.br.

**Waldecy Rodrigues** Professor Adjunto da UFT, Economia, Av. N.S.15, s/n – Centro, Palmas – TO. E-mail: waldecy@terra.com.br.



## Presentación de artículos

Los artículos pueden ser presentados en español, portugués o inglés. El resumen deberá ser enviado obligatoriamente en lo mismo idioma y abstract en inglés (para trabajos en español y portugués) y, en español (para trabajos en inglés).

### FORMATO

El archivo debe ser enviado en medio magnético, acompañado de dos copias impresas. Los archivos deben estar en Word, versión reciente.

Configuración de la página: tamaño: A4 (210 x 297mm); márgenes: 2,5 cm en todas las direcciones;

Espacio doble, letra Times New Roman 12;

Número máximo de páginas igual a 25, incluyendo tablas, figuras, ecuaciones y referencias. Estas deben estar numeradas de 1 a n. Las tablas y figuras deben tener título. Las figuras deben ser enviadas también en archivo separado en formato TIF, 300dpi.;

Todas las referencias citadas en el texto deben estar listadas en la bibliografía. En el texto del artículo la referencia debe ser escrita, en minúsculas y entre paréntesis, como apellido y año e. g. (Araujo, 2001). Referencias con dos autores serán citadas como: (Araujo y Campos, 2001). Para el caso de más de dos autores será: (Araujo et al., 2001). En la bibliografía las referencias serán listadas en orden alfabético del apellido del primer autor, el que debe ser escrito en mayúsculas, e. g. :

ARAUJO, J., Campos, E. y Silva, C., 2001. Política de Recursos Hídricos em Pernambuco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol. 7, nro 1, p. 232-253. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. www.abrh.org.br

Cuando sea posible, deberá ser indicada una página de Internet relacionada a la publicación citada, como indicado en el ejemplo.

La numeración de las ecuaciones debe estar a la derecha y todos sus términos deben estar definidos en el texto.

Todas las tablas y figuras deben estar citadas en el texto.

Los interesados en publicar artículos en la revista deben preparar el mismo de acuerdo con el formato indicado y enviarlo a:

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – IPH/UFRGS  
Caixa Postal 15029 -  
CEP 91501-970 – Porto Alegre, RS, Brasil  
E-mail: [rega@abrh.org.br](mailto:rega@abrh.org.br)

## Chamada de artigos

Os artigos devem ser submetidos em espanhol, português ou inglês. Deverá ser enviado, obrigatoriamente, resumo no mesmo idioma e em inglês (para trabalhos em português e espanhol) e, em espanhol (para trabalhos em inglês).

### FORMATO

O arquivo deve ser enviado por meio magnético, acompanhado de duas cópias impresas. Os arquivos devem estar em Word, versão recente.

Configurações da página: tamanho A4 (210 x 297mm); margens 2,5 cm em todas as direções;

Espaçamento duplo, tipografia Times New Roman, corpo 12;

Número máximo de páginas igual a 25, incluindo tabelas, figuras, equações e referências. Estas devem estar numeradas de 1 a n. As tabelas e figuras necessitam ter título. As figuras devem ser enviadas também em arquivo separado, em formato TIF, resolução 300 dpi.

Todas as referências citadas no texto devem estar listadas na bibliografia. No texto do artigo a referência deve ser escrita em minúsculas e entre parênteses, como sobrenome e ano (Araujo, 2001). Referências com dois autores serão citadas como: (Araujo e Campos, 2001). Na bibliografia as referências serão listadas em ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor, que deve ser em maiúsculas:

ARAUJO, J., Campos, E. e Silva, C., 2001. Política de Recursos Hídricos em Pernambuco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol.7, n.1, p.232-253. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. www.abrh.org.br.

Sempre que possível, deverá ser indicada uma página de Internet, relacionada à publicação citada, como no exemplo acima.

A numeração das equações deve estar à direita e todos os seus termos devem ser descritos no texto.

Todas as tabelas e figuras devem ser mencionada no texto.

Os interessados em publicar artigos na revista devem preparar o mesmo de acordo com o formato citado e submetê-lo a:

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – IPH/UFRGS  
Caixa Postal 15029 -  
CEP 91501-970 – Porto Alegre, RS, Brasil  
E-mail: [rega@abrh.org.br](mailto:rega@abrh.org.br)

