

Análise Multicriterial de Alternativas Tecnológicas para Redução do Consumo de Água

Tatiana Máximo Almeida Albuquerque

Instituto de Pesquisas Hidráulicas –IPH/UFRGS

tatiana.maximo@uol.com.br

Márcia Maria Rios Ribeiro, Zédna Mara de Castro Lucena Vieira

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

mm-ribeiro@uol.com.br; zedvieira@globo.com

Recebido: 06/11/07 – revisado: 22/09/08 – aceito: 10/10/08

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise multicriterial de alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda de água, considerando a sua implantação hipotética em um bairro da cidade de Campina Grande – Paraíba. Com base em entrevistas domiciliares e projetos de engenharia, o estudo avalia a aceitabilidade das medidas, os custos de implantação, o retorno dos investimentos e a economia de água, objetivando a seleção da(s) melhor(es) alternativa(s) para a redução do consumo de água do setor, de acordo com critérios sociais, econômicos, ambientais, e técnicos. Os resultados indicam a possibilidade de reduzir, em até 78,49%, o consumo anual de água do setor, com a adoção das alternativas selecionadas pelo modelo multicriterial.

Palavras-Chave: *gerenciamento da demanda urbana de água, uso racional de água, semi-árido.*

INTRODUÇÃO

A rápida urbanização, que se processa em nível mundial, tem exercido crescentes pressões sobre os recursos hídricos. Para as cidades de médio e grande porte, além dos desequilíbrios entre demanda e oferta de água, verifica-se (Brasil, 2006a):

- a reduzida disponibilidade das bacias hidrográficas para atendimento das demandas crescentes, bem como a redução da capacidade de investimento em sistemas de abastecimento de água; e
- o alto nível de perdas dos sistemas de abastecimento aliado ao alto grau de desperdício de água pelo usuário final.

Tal situação torna menos viável a ótica tradicional de expansão da oferta de água, e implica na necessidade de ser adotado o moderno modelo de gestão dos recursos hídricos, de caráter multidisciplinar e participativo, e que agrega, à gestão da oferta, a gestão da demanda de água.

A gestão da demanda urbana de água (GDA), objetivando o uso eficiente e sustentável dos recursos hídricos, é realizada através de estratégias que influenciam a demanda e que podem ser (Save-nije e Van der Zaag, 2002):

- não estruturais – consistindo em *incentivos econômicos e legais* à mudança de comportamento dos usuários da água, com base em uma realidade institucional e política que permita tal abordagem; e
- estruturais – compreendendo a utilização de *alternativas tecnológicas* que propiciem a redução do consumo de água.

Segundo a ótica da GDA, grande parte da demanda futura de água deverá ser atendida pela redução dos desperdícios e pela maior eficiência dos usos atuais. Acredita-se que a melhor alternativa para aumentar a disponibilidade de água não é mais expandir a sua oferta, mas gerenciar a sua demanda eficientemente (Baroudy, 2005). Em alguns países, isto só será conseguido através de uma completa reforma nas políticas atuais de uso da água (Brasil, 2006a).

No caso brasileiro deve ser ressaltada a atual tentativa de implementação, pela União e Estados, do novo modelo de gestão de recursos hídricos preconizado pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A Lei estabelece que as águas no Brasil são de domínio público, que a gestão deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, usuários de água e sociedade civil organizada e que novos instrumentos devem ser utilizados para gerenciar os recursos hídricos no país, entre os quais, os planos de recursos hídricos, a outorga dos direitos de uso da água e a cobrança pelo seu uso.

Ressalta-se, também, a estrutura programática do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que é composta por treze programas os quais são divididos em subprogramas. O programa VI do PNRH é intitulado "Usos múltiplos e gestão integrada de recursos hídricos" e contempla o subprograma "Gestão de demandas, resolução de conflitos, uso múltiplo e integrado de recursos hídricos" (Brasil, 2006b).

Esta pesquisa avalia através de múltiplos critérios, quatro alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda urbana de água (aparelhos poupadores, captação de água de chuva, reúso de água e medição individualizada em edifícios), considerando a sua implantação hipotética no Bairro Universitário da cidade de Campina Grande, no Estado da Paraíba.

Com base em entrevistas domiciliares e projetos de engenharia, o estudo avalia a aceitabilidade das medidas, os custos de implantação, o retorno dos investimentos e a economia de água, objetivando a seleção da(s) melhor(es) alternativa(s) tecnológicas(s) para a redução do consumo de água do bairro de acordo com critérios sociais, econômicos, ambientais e técnicos. Verifica-se, como importante resultado da pesquisa, que o gerenciamento da demanda de água pode se constituir em importantíssima alternativa para os problemas de abastecimento de água da cidade.

A ANÁLISE MULTICRITERIAL

O desenvolvimento da análise multicriterial (MCDA – Multiple Criteria Decision Analysis) tem parte da sua fundamentação teórica advinda da área da Economia podendo ser citadas, nesse sentido, as contribuições da Economia do Bem-Estar, da Teoria da Utilidade, da Teoria da Escolha Social e da Teo-

ria dos Jogos. A análise multicriterial permite que, além dos tradicionais aspectos econômicos, sejam considerados aspectos como os sociais, os ambientais, os políticos, entre outros –, através de escalas e medidas adequadas (Roy e Vanderpooten, 1996).

Em uma das mais recentes publicações sobre o estado da arte em análise multicriterial, Figueira et al. (2005) categorizam os métodos de análise multicriterial da seguinte forma: i) os métodos de ordenamento, entre os quais os já conhecidos métodos das famílias ELECTRE e PROMETHEE; ii) aqueles derivados das Teorias da Utilidade e do Valor Multiatributo, entre os quais o método da função utilidade multiatributo e o método de análise hierárquica; iii) os procedimentos não clássicos, entre os quais a tomada de decisão multicritério fuzzy e iv) a programação matemática multiobjetivo, entre os quais a programação de compromisso e a programação multiobjetivo linear.

A literatura é vasta na exposição de aplicações da análise multicriterial ao setor de recursos hídricos. Uma pequena amostra são os trabalhos de: Simonovic (2004) que aplica a Programação de Compromisso Fuzzy ao planejamento participativo da bacia do Rio Vermelho no Canadá; Baú e Mayer (2006) que se utilizam da otimização estocástica multiobjetivo para simular estratégias de bombeamento de poços; Hyde e Maier (2006) que se utilizam do método PROMETHEE em um problema de tomada de decisão no gerenciamento de recursos hídricos na Austrália; Vieira e Ribeiro (2007) que analisam, considerando múltiplos critérios, os conflitos que podem ocorrer na implementação dos instrumentos de gestão dispostos na Política Nacional de Recursos Hídricos.

No caso da seleção de alternativas de gerenciamento da demanda, problema enfocado nesta pesquisa, as implicações técnicas, socioeconômicas, ambientais e políticas nem sempre podem ser quantificadas completamente. A seleção exige a consideração de critérios quantificáveis e não quantificáveis em um único arcabouço de avaliação, com seus vários níveis de satisfação. Neste contexto, a análise através de múltiplos critérios apresenta-se como ferramenta adequada para este tipo de problema.

CASO DE ESTUDO

Campina Grande está localizada na mesorregião do Agreste paraibano, no trecho mais alto das escarpas orientais do Planalto da Borborema, com altitude variando entre 500 e 600 m. Distante 120

km da capital do Estado, João Pessoa, possui uma população de 355.331 habitantes e constitui-se em um dos centros urbanos de maior desenvolvimento tecnológico, industrial e educacional do Nordeste brasileiro.

Com clima equatorial semi-árido, temperatura média de 22,9°C, precipitação média anual de 600 mm, e situada nas proximidades do divisor da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba a cerca de 40 km do rio principal, Campina Grande tem enfrentado, ao longo da sua história, graves problemas de abastecimento de água.

A mais recente – e grave – dessas crises ocorreu no período de 1998 a 2000, em função da seca prolongada que atingiu a região Nordeste do Brasil, entre 1997 e 1999, agravada pela construção indiscriminada de pequenos açudes a montante do reservatório Eptácio Pessoa (Boqueirão), único manancial que abastece a cidade, bem como pela irrigação de áreas no seu entorno e pela ausência de gestão hídrica (Rêgo et al., 2000).

Em junho de 1998, verificando que o reservatório não havia recebido nenhuma vazão afluente, o Ministério Público da Paraíba, através da Coordenação das Curadorias em Campina Grande (Rêgo et al., 2001) – considerando que o reservatório alcançaria o seu volume intangível no prazo máximo de dez meses, se não fossem tomadas medidas para a redução das vazões retiradas – apresentou várias recomendações, entre as quais: destinação da reserva disponível no reservatório para uso exclusivo no abastecimento humano e dessedentação de animais; fechamento imediato da comporta de alimentação da calha do rio Paraíba; e proibição da prática da irrigação nas margens do reservatório. De imediato, a única medida adotada foi o fechamento da comporta. Novo Laudo Técnico, indicando que o colapso do sistema de abastecimento de água ocorreria a partir do mês de junho de 1999, levou a CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba a implantar severos racionamentos de água (de outubro de 1998 a abril de 2000, chegando a quatro dias/semana sem água nas torneiras, na fase final do racionamento), penalizando, principalmente, a população de baixa renda, que não tinha condições financeiras de armazenar água. A prática de irrigação, no entanto, continuou até março de 1999, quando, acionada pelo Ministério Público, com base em Parecer Técnico (MP-PB, 1999), a Justiça Federal concedeu liminar, suspendendo-a.

Embora o Poder Público (Governo do Estado, em parceria com a CAGEPA) venha tomando algumas iniciativas voltadas à conscientização da população quanto ao uso racional da água e ao con-

trole de perdas na rede de distribuição (CAGEPA, 2003a), a resposta da população ainda é muito tímida. Passada a crise no abastecimento (as chuvas de janeiro de 2004 fizeram o reservatório Eptácio Pessoa atingir a sua capacidade máxima), os níveis de consumo voltaram ao normal, indicando a necessidade de serem adotadas medidas de gerenciamento da demanda de água, para prevenir a ocorrência de novas crises na cidade.

A pesquisa, que ora se apresenta, dá continuidade ao estudo desenvolvido por Braga e Ribeiro (2006) no qual é concebido um modelo multicritério e multidecisor para selecionar alternativas tecnológicas, econômicas, regulatórias, educacionais e mistas de gerenciamento da demanda urbana de água. Em Braga e Ribeiro (2006), a problemática do abastecimento de água da cidade de Campina Grande também foi o caso estudado. A atual pesquisa, portanto, verifica a evolução de um programa de gerenciamento da demanda e avalia, multicritериalmente, as alternativas tecnológicas deste programa. Selecionou-se o Bairro Universitário, com área total de 2,38 km² e população residente de 3.718 habitantes – em sua maioria, professores, funcionários e alunos da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, garantindo a homogeneidade da amostra em termos de poder aquisitivo e nível cultural –, instalados em um total de 336 casas e 16 edifícios residenciais (CAGEPA, 2003b). Embora o bairro conte com alguns empreendimentos comerciais e de prestação de serviços, o estudo foi direcionado aos consumidores domésticos e ao campus I da UFCG, ali localizado.

METODOLOGIA

A metodologia adotada compreende as seguintes etapas:

- definição das alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda a serem analisadas;
- elaboração e adaptação de projetos de implantação das alternativas selecionadas;
- definição dos objetivos, critérios e categorias a serem considerados na análise multicritério;
- aplicação dos métodos de aquisição de dados (entrevistas, cálculo dos elementos dos projetos);

- concepção do modelo de análise multicriterial (chamado de GEDAM – Gerenciamento da Demanda de Água Multicriterial);
- aplicação do modelo e análise dos resultados obtidos.

Definição das alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda

Foram escolhidas, para análise, as seguintes alternativas tecnológicas (Albuquerque, 2004):

- **reuso de água residencial** – reaproveitamento de esgotos domésticos para fins potáveis ou não potáveis, de acordo com o nível de tratamento realizado. Foi considerada a opção de reuso não potável, para utilização em descargas sanitárias;
- **medição individualizada em edifícios** – refere-se à colocação de um medidor de água em cada apartamento de um edifício, evitando o sistema de rateio da conta única do edifício pelo número de apartamentos;
- **aparelhos poupadores** – consiste na substituição de equipamentos sanitários convencionais por outros, de tecnologia mais avançada, que economizam água. Foram considerados: bacias sanitárias de volume de descarga reduzido (VDR), chuveiros de vazão reduzida, torneiras com arejadores, e mictórios de válvula automática;
- **captação de água de chuva** – coleta e armazenamento (em cisternas) da chuva que cai no telhado, para utilização em descargas sanitárias, regas de jardins, lavagem de carros, reservas de incêndios, entre outros usos.

Elaboração e adaptação de projetos de implantação das alternativas selecionadas

Casas (considerando-se área coberta de 217,5 m² e 4 moradores)

- **captação de água de chuva** – colocação de um reservatório superior de 3.000 litros e um inferior de 10.000 litros, para acumulação de água de chuva a ser utilizada para a descarga de bacias sanitárias, rega de jardins e lavagem de carro; caso a água de chuva não supra as necessidades, o reservatório de 2.000 litros já existente alimentará, por gravidade (com água da rede pública), o reservatório de 3.000 litros.

- **troca de aparelhos** - troca de aparelhos convencionais por: 4 bacias sanitárias (VDR), 3 chuveiros com dispositivo redutor, 4 torneiras (com arejador) para lavatório, 3 torneiras (com arejador) para cozinha; 3 torneiras (com arejador) para lavanderia e jardim. Foi ainda considerada a troca apenas das bacias sanitárias ou apenas dos chuveiros e torneiras.

Edifícios

- **reuso de água e captação de água de chuva** – foi adotado o projeto de Lucas Filho e Moreira (2001) para um edifício residencial constituído de 5 pavimentos (um pilotis e quatro pavimentos tipo) e um total de 8 apartamentos (78,89 m² de área útil, cada). As águas servidas da área de serviço e banheiros (social e da suíte) são coletadas por colunas (independentes das destinadas ao esgoto primário) que as conduzem a um tanque de recirculação e filtragem. Deste tanque, a água clarificada é rebombeada para um reservatório elevado separado, que também se destina à reserva de incêndio, de onde é utilizada para a descarga das bacias sanitárias. A água de chuva, coletada por calhas, também abastece esse reservatório separado;
- **medição individualizada** – foi adotado o projeto de Albuquerque (2004) para um edifício residencial de 9 pavimentos (pilotis e 8 pavimentos tipo), totalizando 16 apartamentos (220 m² de área útil, cada). O projeto foi elaborado de acordo com Coelho e Maynard (1999), com o dimensionamento dos ramais e colunas seguindo a NBR 5626;
- **troca de aparelhos** – como considerado para as casas.

Campus da UFCG (área de 390.100 m², área coberta de 36.312 m², 80 blocos)

- **troca de aparelhos** – troca de todos os aparelhos hidrosanitários dos blocos, totalizando: 153 bacias sanitárias, 33 chuveiros, 41 mictórios e 219 torneiras;
- **captação de água de chuva** – o projeto foi concebido por Albuquerque (2004), para implantação de 40 cisternas de placas (uma para cada dois blocos), com capacidade in-

dividual de 15 m³; a área total de captação corresponde à área coberta dos blocos.

Definição dos objetivos, critérios e categorias a serem considerados na análise multicriterial

As alternativas tecnológicas foram analisadas de acordo com quatro objetivos:

- **econômico** – onde a viabilidade da alternativa é função do período de retorno do investimento necessário à sua implantação;
- **ambiental** – em que a viabilidade da alternativa é função da redução de consumo de água proporcionada pela sua implantação;
- **técnico** – em que a viabilidade da alternativa relaciona-se à maior ou menor facilidade de implantação, à complexidade técnico-operacional (operação e manutenção) e à disponibilidade de materiais e mão-de-obra no mercado local; e
- **social** – em que a viabilidade da alternativa é função da sua aceitabilidade pela população.
- Para cada objetivo, foram definidos os critérios de análise e as categorias em que se traduziriam esses critérios (Tabela 1).

Para o objetivo econômico, por exemplo, o critério retorno do investimento observa as seguintes categorias: *extremamente viável*, com período de retorno inferior a 1 ano; *viável*, período de retorno entre 1 e 3 anos; *pouco viável*, período de retorno entre 3 e 4 anos; e *inviável*, quando o período de retorno é superior a 4 anos

Aplicação dos métodos de aquisição de dados para a análise das alternativas

Realização de entrevistas: Para avaliar a aceitabilidade da população (objetivo social) em relação às alternativas de gerenciamento da demanda definidas para análise, foram realizadas entrevistas domiciliares, com base em um questionário padrão e considerando amostragens representativas de casas (32, de um total de 336) e edifícios (3, de um total de 16, com realização de 4 entrevistas por edifício).

Cálculo dos elementos dos projetos: Para a obtenção de dados quantitativos que permitissem a avaliação dos objetivos econômico e ambiental, foram considerados os seguintes elementos dos projetos de implantação das alternativas:

- **consumo mensal de água atual (m³):** para as casas, foram considerados os dados de consumo médio mensal (CAGEPA, 2003b); para os edifícios, considerou-se um consumo per capita de 200 l/dia (Creder, 1996), uma média de 5 pessoas/apartamento e um total de 16 apartamentos por edifício (consumo mensal considerado igual para todos os meses do ano); para o campus da UFCG, foi considerado o volume de consumo indicado nas faturas da CAGEPA, relativas ao mês de junho/2003, para os 12 meses do ano;
- **consumo mensal de água posterior (m³):** consumo médio mensal de água obtido após a adoção da alternativa;
- **investimento (R\$):** custo total de implantação da alternativa, calculado a partir do orçamento de projeto, com base em pesquisa de mercado no comércio local;
- **custo de operação e manutenção (R\$):** custo mensal da operação e manutenção da alternativa;
- **economia de água (m³):** redução do consumo mensal de água obtido com a implantação da alternativa;
- **retorno do investimento (R\$):** valor monetário da economia mensal de água, ou seja, redução do valor da fatura da CAGEPA após a implantação da alternativa;
- **índice de redução de consumo (%):** percentual de redução de consumo mensal de água obtido com a implantação da alternativa.
- É importante observar que os dados necessários à avaliação do objetivo técnico foram obtidos a partir dos manuais dos fabricantes dos diferentes equipamentos, do nível de dificuldade de implantação dos projetos considerados no estudo, e de pesquisa efetuada junto ao comércio local.

O modelo de análise multicriterial concebido

Considerando as características desta pesquisa, dentre as técnicas da análise multicriterial com um decisor, optou-se pelo desenvolvimento de

Tabela 1 - Objetivos, critérios e categorias para a análise multicriterial.

Objetivo	Critério	Categoria
Econômico	Retorno do Investimento (RI)	Extremamente viável ($RI \leq 1$ ano), Viável ($1 < RI < 3$ anos), Pouco viável ($3 < RI \leq 4$ anos), Inviável ($RI > 4$ anos)
Ambiental	Redução de Consumo (RC)	Muito alta ($RC \geq 70\%$), Alta ($50\% \leq RC < 70\%$), Média ($30\% \leq RC < 50\%$), Baixa ($20\% \leq RC < 30\%$), Muito baixa ($RC < 20\%$)
Técnico	Facilidade de Implantação em Edifícios Existentes*	Alta (não altera projeto/usuário), Média (não altera projeto/m.o.especial), Baixa (altera projeto/m.o. especial)
	Facilidade de Operação	Alta (fácil operação s/ orientação), Média (fácil operação c/ orientação), Baixa (complexo, orientação especial)
	Disponibilidade no Mercado (DM)	Muito alta ($DM = 100\%$), Alta ($70\% \leq DM < 100\%$), Média ($50\% \leq DM < 70\%$), Baixa ($30\% \leq DM < 50\%$), Muito baixa ($DM < 30\%$)
	Facilidade de Manutenção**	Muito alta ($p = \frac{1}{2}$ a 1 ano/usuário), Alta ($p = \frac{1}{2}$ a 1 ano/m.o. especial), Média ($p = \frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ ano/usuário), Baixa ($p = \frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ ano/m.o. especial), Muito baixa ($p < \frac{1}{4}$ ano/m.o. especial)
Social	Aceitabilidade Econômica (AE)	Extremamente desejável ($AE = 100\%$), Desejável ($50\% \leq AE < 100\%$), Pouco desejável ($30\% \leq AE < 50\%$), Indesejável ($AE < 30\%$)
	Aceitabilidade Ambiental (AA)	Extremamente desejável ($AA = 100\%$), Desejável ($50\% \leq AA < 100\%$), Pouco desejável ($30\% \leq AA < 50\%$), Indesejável ($AA < 30\%$)
	Aceitabilidade Geral (AG)	Extremamente desejável ($AG = 100\%$), Desejável ($50\% \leq AG < 100\%$), Pouco desejável ($30\% \leq AG < 50\%$), Indesejável ($AG < 30\%$)

OBS.: RI-Retorno do Investimento; RC-Redução de Consumo; DM-Disponibilidade no Mercado; AE-Aceitabilidade Econômica; AA-Aceitabilidade Ambiental; AG-Aceitabilidade Geral; (*) Indica se há necessidade de alteração do projeto original e se a implantação pode ser feita pelo próprio usuário ou precisa de mão-de-obra especializada; (**) Refere-se ao período (p) mínimo entre manutenções necessárias e indica se há necessidade de mão-de-obra especializada ou se pode ser feita pelo próprio usuário.

um modelo de análise multicriterial com articulação antecipada de preferências do decisor. Os métodos com articulação antecipada de preferências são técnicas não interativas, em que as preferências são definidas a priori pelo decisor, pelo analista (caso desta pesquisa), ou por consenso de ambos, em uma manifestação antecipada do juízo de valor sobre os possíveis compromissos entre os objetivos fixados e sobre os pesos (pontuações) relativos aos critérios de julgamento desses objetivos.

As etapas constituintes do modelo desenvolvido nesta pesquisa, o GEDAM – Gerenciamento da Demanda de Água Multicriterial, estão apresentadas a seguir:

- **Cálculo dos pesos reais dos critérios** – foi adotada uma escala de pontuação das categorias: 1,0 (Extremamente desejável/viável, Muito alta); 0,8 (Desejável, Viável, Alta); 0,6

(Média); 0,4 (Pouco desejável/viável, Baixa); e 0,2 (Indesejável, Inviável, Muito baixa). Assim, para dada alternativa, o peso real de cada critério é a média das pontuações das suas respectivas categorias, atribuídas a partir dos resultados das entrevistas e do cálculo dos elementos de projeto;

- **Cálculo dos pesos gerais dos objetivos para alternativas isoladas** – correspondendo à média dos pesos reais dos critérios componentes de cada objetivo, para uma dada alternativa. Por exemplo, o peso geral do objetivo social, para a alternativa medição individualizada, é a média dos pesos reais dos critérios aceitabilidade econômica, aceitabilidade ambiental e aceitabilidade geral, obtidos para essa alternativa;
- **Cálculo dos pesos gerais dos objetivos para alternativas associadas** – correspondendo à

média dos pesos gerais do objetivo econômico, social ou técnico-operacional para as alternativas isoladas; no caso do objetivo ambiental, o peso geral é a soma dos pesos gerais do objetivo ambiental das alternativas isoladas, tendo 1,0 como valor máximo. Por exemplo, o peso geral do objetivo econômico para a implantação conjunta das alternativas 'bacia sanitária VDR', 'reuso de água' e 'medição individualizada' é a média dos pesos gerais do objetivo econômico dessas alternativas;

- **Adoção dos pesos preferenciais dos objetivos** – consistindo na variação do peso relativo (preferência) dos objetivos no processo de escolha. Assim, além do peso para igual preferência (25), são adotados os pesos 40, 30, 20 e 10, ordenados da maior para a menor preferência. As combinações desses pesos com os objetivos considerados na pesquisa permitem a realização de análise de sensibilidade (total de 25 simulações), de modo a se avaliar a influência dos pesos preferenciais dos objetivos no ordenamento final das alternativas;
- **Processo final de seleção de alternativa(s)** – refere-se ao somatório do produto dos pesos gerais pelos pesos preferenciais de cada objetivo, para cada alternativa. A alternativa selecionada é aquela que apresenta maior somatório de pesos para o conjunto de objetivos.

RESULTADOS

Entrevistas

Os resultados das entrevistas domiciliares indicam que 100% dos entrevistados têm conhecimento dos problemas de abastecimento d'água da cidade, enquanto cerca de 50% conhecem medidas tecnológicas de redução do consumo de água.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os critérios de aceitabilidade econômica, ambiental e geral, relacionados ao objetivo social. Verifica-se que as alternativas 'bacia sanitária VDR' e 'chuveiros e torneiras econômicos' aparecem com a maior aceitabilidade geral, respectivamente, para os moradores de casas e edifícios.

Custo, retorno do investimento e economia de água, para cada alternativa analisada

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos do cálculo dos elementos de projeto, para cada alternativa, considerando a sua implantação por casa, por edifício e no campus da UFCG.

Alguns aparelhos apresentaram valores bastante elevados no comércio local (especialmente os chuveiros e torneiras econômicos), com reflexos no custo total da alternativa e, conseqüentemente, no período de retorno do investimento. Mesmo assim, no caso das casas e edifícios, os maiores investimentos referem-se, respectivamente, à captação de água de chuva e à medição individualizada (função da complexidade da implantação).

Tabela 2 – Objetivo Social: Aceitabilidade econômica, ambiental e geral das alternativas.

Loc	Alternativa	Aceitabilidade		
		Econômica (%)	Ambiental (%)	Geral (%)
Casas	Bacia sanitária VDR	53,3	46,9	81,3
	Chuveiros e torneiras econômicos	26,7	40,6	59,4
	Captação de água de chuva	20,0	40,6	53,0
	Bacia sanitária VDR	25,0	12,5	50,0
Edifícios	Chuveiros e torneiras econômicos	75,0	0,0	75,0
	Medição individualizada	0,0	25,0	0,0
	Reuso de água	42,5	50,0	37,5
	Bacia sanitária VDR	25,0	12,5	50,0

Loc – local de realização das entrevistas.

Verifica-se que, para as alternativas consideradas para as casas, o período de retorno do investimento mostrou-se sempre superior a 4 anos (objetivo econômico). A maior redução de consumo (objetivo ambiental) foi propiciada pelos 'aparelhos poupadores' (38,33% de redução no consumo mensal), tanto para as casas quanto para os edifícios.

Tabela 3 – Custo, retorno do investimento e economia de água, para as alternativas analisadas, por unidade residencial e campus da UFCG.

Local	Alternativa	Investimento (R\$) ¹	Período de Retorno (Ano)	Redução do Consumo Mensal (%)	Economia de Água (m ³ /ano)
Casa	Aparelhos poupadores ²	1.493,44	> 10	38,33	66,60
	Bacia sanitária VDR	573,70	8,50	16,50	28,43
	Chuveiros e torneiras	919,84	> 10	21,83	36,90
	Captação de água de chuva	4.211,26	> 10	36,00	62,00
Edifício	Aparelhos poupadores ²	23.895,04	4,08	38,33	2.238,47
	Bacia sanitária VDR	9.177,00	2,58	16,50	963,61
	Chuveiros e torneiras	14.714,44	4,58	21,83	1.274,86
	Medição individualizada	10.289,49	2,75	25,00	1.460,00
	Reuso de água ³	8.261,22	3,00	36,00	2.102,40
UFCG	Aparelhos poupadores ⁴	92.456,78	1,58	34,56	16.244,40
	Captação de água de chuva	22.400,00	0,42	61,00	23.530,00

¹ – Valores referentes ao ano de 2004; ² – Bacias+Chuveiros+Torneiras; ³ – Dados obtidos na literatura consultada;

⁴ – Bacias+ Chuveiros+ Torneiras+Mictórios.

Tabela 4 – Pesos gerais dos objetivos, para as alternativas isoladas e associadas.

Loc	Alternativa	Peso Geral do Objetivo			
		Econômico	Ambiental	Social	Técnico
Casa	Captação de água de chuva	0,2	0,4	0,4	0,7
	Bacia sanitária VDR	0,2	0,2	0,6	1,0
	Chuveiros e torneiras econômicos	0,2	0,2	0,4	1,0
	Aparelhos poupadores ¹	0,2	0,4	0,5	1,0
	Captação água de chuva + Aparelhos poupadores	0,2	0,8	0,45	0,85
	Captação água de chuva + Bacia sanitária VDR	0,2	0,6	0,5	0,85
	Captação água de chuva + chuveiros e torneiras	0,2	0,6	0,4	0,85
Edifício	Bacia sanitária VDR	0,6	0,2	0,6	1,0
	Chuveiros e torneiras econômicos	0,2	0,2	0,4	1,0
	Aparelhos poupadores ¹	0,2	0,4	0,5	1,0
	Medição individualizada (MI)	0,6	0,2	0,2	0,7
	Reuso de água	0,6	0,4	0,4	0,2
	Reuso de água + Bacia sanitária VDR	0,6	0,6	0,5	0,6
	Reuso de água + MI	0,6	0,6	0,3	0,45
	Bacia sanitária VDR + MI	0,6	0,4	0,4	0,85
	Aparelhos poupadores ¹ + MI	0,4	0,6	0,35	0,85
	Reuso de água + Bacia sanitária VDR + MI	0,6	0,8	0,4	0,63

Loc – local de implantação da alternativa; ¹ – Bacia sanitária VDR + Chuveiros e torneiras econômicos.

Pesos gerais dos objetivos

Com base nos critérios e respectivas categorias (Tabela 1) e em função dos resultados das entrevistas (Tabela 2), dos elementos de projeto (Tabela 3) e dos dados técnico-operacionais, foram determinados os pesos gerais dos objetivos (média dos pesos reais dos critérios componentes).

A Tabela 4 apresenta, a título de exemplo, os resultados obtidos para as casas e para algumas alternativas consideradas para os edifícios.

Assim, pode-se verificar que, para as casas, todas as alternativas são economicamente inviáveis (peso geral 0,2), ao mesmo tempo em que apresentam alta viabilidade técnica (peso geral variando de 0,7 a 1,0).

Resultados das simulações do modelo multicriterial

Foram realizadas 25 simulações para cada caso (casas e edifícios), com igual preferência (1) e alterando os pesos preferenciais dos objetivos [2(EAST), 3(AEST), 4(SEAT), 5(TEAS), 6(ESAT), 7(ETAS), 8(SAET), 9(STEA), 10(STAE), 11(ATSE), 12(ATES), 13(SETA), 14(SATE), 15(ETSA), 16(ESTA), 17(EATS), 18(AETS), 19(ASTE), 20(ASET), 21(TESA), 22(TAES), 23(TASE), 24(TSEA), 25(TSAE)]; as ordens das letras indicam a ordem de preferência (40-30-20-10) dos objetivos econômico (E), ambiental (A), social (S) e técnico-operacional (T)], de modo a verificar a alternativa tecnológica selecionada para cada ordem preferencial. Os resultados obtidos estão descritos a seguir.

Para as casas, a alternativa isolada com maior pontuação (em quase 100% das simulações) foi a “bacia sanitária VDR”, conforme indicado na Figura 1; a alternativa “captação de água de chuva” foi selecionada em duas simulações (3 e 18), quando a maior preferência era do objetivo ambiental; a alternativa “chuveiros e torneiras econômicos” não foi selecionada em qualquer das simulações, apesar da sua alta viabilidade ambiental.

No caso das alternativas associadas para as casas, a alternativa “captação de água de chuva + aparelhos poupadores” foi selecionada em 80% das simulações, o que pode ser explicado pela sua alta viabilidade ambiental e baixa complexidade técnica, permitindo que seja superada a sua média aceitabilidade e baixa viabilidade econômica. Nas demais simulações (20%), a alternativa selecionada foi “aparelhos poupadores”, em simulações onde o objetivo econômico (15 e 16) ou o técnico-operacional (14, 21 e 22) era o de maior preferência.

Para os edifícios, a alternativa isolada selecionada foi “bacia sanitária VDR” (96% das simulações), seguida da alternativa “chuveiros e torneiras econômicos” (4%).

A alternativa associada ‘reuso de água + bacia sanitária VDR + medição individualizada’ foi selecionada em 100% das simulações.

Nenhuma outra alternativa, isolada ou associada, foi selecionada pelo modelo.

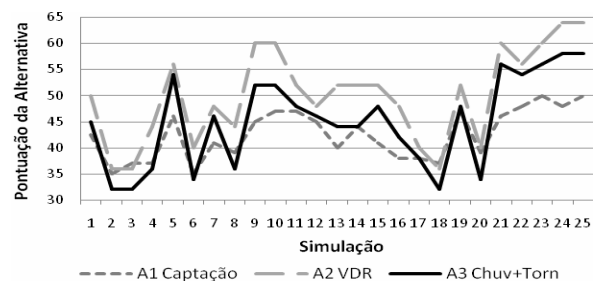


Figura 1 – Comportamento das alternativas isoladas para as casas, nas 25 simulações efetuadas.

Economia potencial de água no Bairro Universitário

As Tabelas 5 e 6 apresentam a economia potencial anual de água, calculada para o Bairro Universitário considerando que:

- todas as casas e edifícios adotem as alternativas selecionadas pelo modelo multicriterial;
- sejam adotadas as alternativas analisadas para o campus da UFCG.

COMENTÁRIOS FINAIS

Este artigo descreve a avaliação multicriterial de alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda de água (aparelhos poupadores, captação de água de chuva, reuso de água e medição individualizada), considerando a sua implantação hipotética no Bairro Universitário de Campina Grande, Paraíba.

O GEDAM (o modelo de análise multicriterial, desenvolvido para o estudo) permitiu que as alternativas fossem analisadas de acordo com critérios econômicos, ambientais, sociais e técnicos, valorados com base em entrevistas domiciliares e projetos de engenharia.

Tabela 5 – Economia potencial de água com a implantação das alternativas isoladas em casas e edifícios.

Local	Unidades (ud)	Consumo Total (m ³ /ano)	Alternativa	Redução do Consumo por Unidade (m ³ /ano/ud)	Economia Potencial Total ² (m ³ /ano)
Casas	336	57.288,00	Bacia sanitária VDR	28,43	9.552,48
Edifícios	16	93.440,00	Bacia sanitária VDR	963,61	15.417,76
UFCG	1	47.268,00	Captação de água de chuva + Aparelhos poupadores ¹	39.774,40	39.774,40
Bairro		197.996,00			64.744,64

¹ Bacia sanitária VDR + Chuveiros, torneiras e mictórios econômicos;² Economia Potencial Total = Unidades × Redução do Consumo por Unidade.

Tabela 6 – Economia potencial de água com a implantação das alternativas tecnológicas associadas.

Local	Unidades (ud)	Consumo Total (m ³ /ano)	Alternativa	Redução do Consumo por Unidade (m ³ /ano/ud)	Economia Potencial Total ² (m ³ /ano)
Casas	336	57.288,00	Captação de água de chuva + Aparelhos poupadores ¹	128,60	43.209,60
Edifícios	16	93.440,00	Reuso de água + Bacia sanitária VDR + Medição individualizada	4.526,01	72.416,16
UFCG	1	47.268,00	Captação de água de chuva + Aparelhos poupadores ¹	39.774,40	39.774,40
Bairro		197.996,00			155.400,16

¹ Bacia sanitária VDR + Chuveiros, torneiras e mictórios econômicos;² Economia Potencial Total = Unidades × Redução do Consumo por Unidade.

As simulações do modelo foram feitas para as casas e edifícios do Bairro, e conduziram à seleção das alternativas: “bacia sanitária VDR” (isoladamente) e “captação de chuva” em conjunto com “aparelhos poupadores”, para as casas; “bacia sanitária VDR” (isoladamente) e “reuso de água” em conjunto com “bacia sanitária VDR” e “medição individualizada”, para os edifícios. Para o campus da UFCG, o modelo não foi aplicado, sendo considerada a implantação conjunta das alternativas “captação de água de chuva” e “aparelhos poupadores”.

As alternativas selecionadas pelo modelo multicriterial (casas e edifícios), além daquelas analisadas para o campus da UFCG, permitem comprovar a efetividade das medidas de gerenciamento da demanda urbana de água. Considerando que todas as unidades residenciais e a UFCG adotassem as alternativas selecionadas para cada caso, a economia potencial de água representaria 32,7% e 78,9% do consumo anual do bairro, respectivamente para a

adoção das alternativas isoladas e associadas nas casas e edifícios; desde que a quantidade de água fornecida para Campina Grande é de 25.500.000 m³/ano, a implantação das alternativas associadas, apenas no Bairro Universitário (que corresponde a 1,05% da população campinense), representaria uma economia de 0,61% do consumo anual da cidade.

Embora a não viabilidade econômica de algumas das alternativas possa dificultar a sua adoção pela população campinense, a utilização da análise multicriterial efetivamente permitiu a seleção de alternativas que atendem aos objetivos econômicos, técnicos, ambientais e sociais. Desta maneira, os resultados do estudo oferecem subsídios para o planejamento da gestão hídrica de Campina Grande – indicando, por exemplo, a necessidade de políticas públicas que incentivem, economicamente, a adoção de alternativas tecnológicas para redução do consumo de água – e demonstram que o geren-

ciamento da demanda urbana de água pode se constituir em solução para os crônicos problemas de abastecimento de água da cidade.

AGRADECIMENTOS

A primeira e a terceira autoras, respectivamente, agradecem à CAPES e ao CNPq/CT-HIDRO a concessão das bolsas de estudos que viabilizaram a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, T. M. *Seleção multicriterial de alternativas para o gerenciamento da demanda urbana de água na escala de bairro*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande: UFCG, 2004.
- BAÚ, D. A., MAYER, A. S. Stochastic management of pump-and-treat strategies using surrogate functions. *Advances in Water Resources* v.29, n. 12, 1901-1917. 2006.
- BAROUDY, E. Water Demand Management: The Way Forward? In: Baroudy, E., Lahlou, A. A., Attia, B. (Ed) *Managing Water Demand - Policies, Practices and Lessons from the Middle East and North Africa*. London: IWA Publishing/IDRC. 2005.
- BRAGA, C. F. C., RIBEIRO, M. M. R. Avaliação por múltiplos critérios e decisores de alternativas de gerenciamento da demanda de água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH*, v. 11, n. 1, p. 37-49, 2006.
- BRASIL. *Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)*. Ministério das Cidades. Disponível on-line em: <http://www.cidades.gov.br/pncda/>. Acesso em 02 nov 2006. 2006a.
- BRASIL. *Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH): síntese executiva*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2006b.
- CAGEPA – COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA. *Consumo mensal de água por ligação com hidrômetro do setor 37*. Relatório técnico. Campina Grande: CAGEPA, 2003a.
- CAGEPA – COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA. *Dados do abastecimento de água de Campina Grande e controle de perdas*. Relatório técnico. Campina Grande: CAGEPA, 2003b.
- COELHO, A. C.; MAYNARD, J. C. B. *Medição Individualizada de Água em Apartamentos*. Olinda, PE: Comunigraf Editora, 1999.
- CREDER, H. *Instalações Hidráulicas e Sanitárias*. 5ª edição. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 1996.
- FIGUEIRA, J., GRECO, S., EHRGOTT, M. Introduction. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: state of the art surveys*, J. Figueira; S. Greco & M. Ehrgott (Eds.). New York: Springer. 2005.
- HYDE, K.M., MAIER, H. R. Distance-based and stochastic uncertainty analysis for multi-criteria decision analysis in Excel using Visual Basic for Applications. *Environmental Modelling & Software*, v.12, n. 12, 1695-1710. 2006.
- LUCAS FILHO, M.; MOREIRA, M. D. D. *Reutilização de água servida em descarga de bacias sanitárias em edifício residencial multifamiliar*. Sugestão de Projeto Modelo. Natal, RN: 2001.
- MP – PB – MINISTÉRIO PÚBLICO DA PARAÍBA. *Parecer resultante da análise comparativa de estudos técnicos sobre problemas de abastecimento d'água, com base em reserva tangível do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)*. Campina Grande: Grupo Permanente de Assessoramento Técnico ao 2º Centro de Apoio Operacional às Curadorias. 1999.
- RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; RIBEIRO, M. M. R. *Uma análise da crise de 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande – PB*. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, V, Natal, 2000. Anais... Natal: ABRH, p. 450-468. 2000.
- RÊGO, J. C., RIBEIRO, M. M. R., ALBUQUERQUE, J. P. T., GALVÃO, C. O. Participação da sociedade na crise 1998-2000 no abastecimento de água de Campina Grande-PB, Brasil. *IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas*. Anais: ... (Cd-rom). Foz do Iguaçu: IWRA/ABRH. 2001.
- ROY, B.; VANDERPOOTEN, D. *The European School of MCDA: emergence, basic features and current works*. *Journal of Multicriteria Decision Aid*, v. 5, n. 1, p. 22-38. 1996.
- SAVENIJE, H. H. G.; VAN DER ZAAG, P. *Water as Economic Good and Demand Management: Paradigms and Pitfalls*. *Water International*, v. 27, n. 1, p. 98-104. 2002.
- SIMONOVIC, S. P. Sustainable foodplain management participatory planning in the Red River Basin, Canada. Workshop on Modelling and Control for Participatory Planning and Managing Water Systems. Venice. Disponível on-line em: <http://www.elet.polimi.it>. Acesso em: 03 de mar 2004. 2004.
- VIEIRA, Z. M. C. L., RIBEIRO, M. M. R. Conflict analysis in implementing water resources management instruments. Changes in water resources systems: methodologies to maintain water security and ensure integrated management. N. Giessen, X. Jun, D. Rosbjerg, Y. Fukushima (Eds.). Wallingford: IAHS Publ. 315. 2007.

Multicriteria Analysis of Technological Alternatives to Reduce Water Consumption

ABSTRACT

This article presents a multicriteria analysis of technological alternatives for water demand management, which are considered for hypothetical implementation in an area of Campina Grande city, State of Paraíba. Based on domiciliary interviews and engineering projects the study evaluates the measures' acceptability, implementation costs, time of return on investments and water saved. Its aim is to select the best alternative(s) for reducing the water consumption in the area according to social, economic, environmental, and technical criteria. The results obtained indicate that the adoption of the alternatives selected by the multicriteria model makes it possible to reduce annual water consumption in this area by up to 78.49%.

Key-words: management of urban water demand, rational water use, semi-arid.