

Modelo para o combate a crises de abastecimento urbano de água

SILVA, Welitom Ttatom Pereira¹
SOUZA, Marco Antonio Almeida²

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil. welitom@ufmt.br

²Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. maasouza@unb.br

Resumo

A pesquisa realizada tem o objetivo de apresentar uma contribuição para o planejamento do enfrentamento de crise no abastecimento urbano de água (CAUA). Para isso foi proposta uma combinação de técnicas de inteligência artificial e metodologias multicriteriais de apoio à decisão (MCDA). Faz parte do escopo da pesquisa o desenvolvimento de ferramentas computacionais (software) para auxiliar o processo de tomada de decisão e a realização de um estudo de caso. Os resultados encontrados foram os seguintes: (i) o conhecimento de possíveis diretrizes de projeto para solução de casos de CAUA; (ii) o conhecimento de fatores influentes na CAUA; (iii) o desenvolvimento de um modelo híbrido de análise de decisão, denominado de CAUA-SAD, baseado nos princípios de similaridade vetorial, de sistemas baseados em conhecimento (sistemas especialistas) e no uso das MCDA. A avaliação da qualidade dos modelos desenvolvidos indicou uma concordância de 56%, e que melhorias nos modelos podem ser obtidas por meio de refinamento nos dados de entrada. As conclusões da pesquisa indicam que a abordagem adotada para o tratamento do problema pode ser considerada adequada. No entanto, problemas para a obtenção do conhecimento de especialistas humanos sugerem a continuidade dos estudos.

Palavras-Chave: água urbana; abastecimento de água; escassez hídrica; tomada de decisão.

Abstract

The objective of this research is to contribute to the planning for facing crisis in urban water supply (CUWS). To achieving this goal, a combination of artificial intelligence techniques and Multiple Criteria Decision Aid (MCDA) was proposed. The development of computational tools (software) to assist the process of decision making and their application to a case study are parts of the scope of the research proposal. The following results were obtained in this research: (i) the knowledge of possible design guidelines for solving CUWS cases; (ii) the knowledge of factors influencing CUWS; (iii) the development of a hybrid model of decision analysis, called CUWS-SAD, based on the principles of vector similarity, knowledge-based systems (expert systems) and on the use of MCDA. The quality assessment of the developed models indicated concordance index of 56%, and that improvements in the models can be obtained through enhancement in the quality and quantity of the input data. The conclusions of the research indicate that the proposed approach for the problem treatment can be considered adequate. However, problems to attain knowledge of human experts suggest further investigations.

Keywords: urban water; water supply; water scarcity; decision-making.

1. Introdução

Segundo dados da Organização Meteorológica Mundial, o consumo mundial de água aumentou mais de seis vezes em menos de um século, mais do que o dobro das taxas de crescimento da população, e continua a crescer com a elevação do consumo nos setores agrícola, industrial e doméstico (Freitas e Santos, 1999). Esses mesmos dados possibilitam a conclusão de que, nos próximos anos, a situação global das reservas hídricas tenderá a crises tanto no aspecto quantitativo quanto no qualitativo, caso não se empregue ações eficientes de gestão hídrica. Mais recentemente, tem-se observado a existência de uma crise no abastecimento de água em ambientes urbanos, contexto caracterizado pela escassez da água e por prejuízos ambientais, sociais e à saúde da população, principalmente para a população de baixa renda. Como exemplo, tem-se o caso da cidade de Tijuana no México, que tem apresentado uma das maiores taxas de crescimento econômico daquele país, resultando num rápido crescimento na demanda por água na região e na instalação de cenário de crise no abastecimento urbano de água (Fullerton Jr. et al., 2007).

No Brasil, pode-se mencionar o caso de Campina Grande, que passou, entre os anos de 1998-2000, por uma crise no abastecimento urbano de água devido aos severos períodos de estiagem e à completa ausência de gerenciamento dos recursos hídricos (Rêgo et al., 2001). Essa crise induziu a cidade a um rigoroso racionamento de água, que se materializou pela implantação da intermitência no fornecimento de água entre os anos 1998 e 1999. Esse não foi um evento isolado, pois, segundo Tucci et al. (2000), já se observam frequentes racionamentos de água em Recife e São Paulo, sendo apontadas como possíveis causas as condições hídricas desfavoráveis, o nível baixo de desenvolvimento socioeconômico e as condições críticas de sustentabilidade. No Distrito Federal, o crescimento urbano desordenado e as mudanças no uso e ocupação da terra geraram um forte impacto sobre os recursos hídricos e as previsões por parte do operador dos serviços de saneamento do Distrito Federal (CAESB) são que, em 2010, a demanda por água irá exceder a capacidade dos sistemas de abastecimento (IWAS, 2009). As soluções apontadas pelo poder público, em sua grande maioria, apontam para projetos cuja diretriz é a ampliação da capacidade de abastecimento de água, não considerando possíveis alternativas de regulação e de redução do consumo (Albuquerque, 2004). No caso de Campina Grande, o Estado apontou como solução a construção de um novo reservatório de água, seguindo a linha da expansão da oferta de água, o que demanda altos investimentos e, na maioria das

vezes, não resolve o problema (Albuquerque, 2004). Na região metropolitana de São Paulo, optou-se pela importação de água da bacia do rio Piracicaba, devido à contaminação dos mananciais vizinhos (Tucci et al., 2000). Na região metropolitana do Recife, o Estado optou pela ampliação da capacidade do sistema produtor em 50% (ABES, 2010), mesmo apresentando um índice de perdas de água de 70% (ISA, 2004). No caso do Distrito Federal, também se desenha como solução a ampliação da capacidade de abastecimento, via utilização de fonte inicialmente planejada para fins de lazer, paisagístico e de atenuação da umidade (IBRAM, 2009).

O presente trabalho procura desenvolver um modelo para auxiliar o processo decisório de gestão da crise no abastecimento urbano de água. Este artigo origina-se de uma tese de doutorado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTARH/UnB).

2. Revisão de literatura

Na sequência, estão apresentados alguns casos de crise no abastecimento urbano de água. Um exemplo refere-se ao estado da Califórnia, nos EUA, que passou por uma grave crise no abastecimento urbano de água iniciada em 1986 (Dixon et al., 1995). A intensificação das atividades econômicas levou a deficiências generalizadas nos SAAs do estado. Em muitos momentos, as agências operadoras do SAA eram forçadas a impor severos racionamentos para reduzir a demanda a níveis toleráveis (Barakat e Chamberlin, 1992). Essa crise tem motivado várias ações e inúmeros estudos. Uma organização sem fins lucrativos, Agência Californiana de Água Urbana (CUWA), foi criada com a missão de estudar e promover o abastecimento urbano de água nas cidades afetadas. Em janeiro de 1991, a CUWA, em associação com outras organizações, realizou uma conferência sobre como reabilitar os SAAs. Os resultados apontaram para projetos que se concentrassem em questões de interesse estadual, mas com ações e preocupações locais (Barakat e Chamberlin, 1992).

Em outro caso, Gandy (1997) analisou como o desenvolvimento social e econômico da cidade de Nova York, EUA, levou à crise no SAA da cidade na década de 1990. Esse autor apontou a estagnação política e gerencial da administração municipal, denominada de "municipal managerialism", como principal fator para o prolongamento da CAUA. A fim de entender a CAUA, foi analisado como o desenvolvimento econômico fortaleceu o poder de intervenção do capital no processo de formulação de políticas públicas. O estudo

foi dividido em quatro seções: (1) revisão das principais discussões correlatas à reestruturação social/política e a identificação de áreas potencialmente comprometidas com o discurso ambiental; (2) exposição do histórico do desenvolvimento do SAA da cidade de Nova York e das situações de emergências, bem como abordagens adotadas; (3) análise das abordagens adotadas focando em três temas inter-relacionados: impactos das mudanças nos modos de distribuição e consumo, a crise fiscal do estado e a incapacidade de manutenção dos padrões de regulação ambiental e da proteção da qualidade da água; (4) conclusão, na qual foi feita uma revisão do potencial da reestruturação do SAA considerando a dimensão ecológica desde a década de 1970.

Um caso originado a partir de problemas de conflitos territoriais e de deficiência na gestão de recursos hídricos é apresentado na literatura. Zahra (2001) desenvolveu uma pesquisa com o objetivo de contribuir para a solução da situação de crise de disponibilidade hídrica pela qual a Palestina passa. Nessa pesquisa, são apresentados alguns dados sobre a região, entre eles: o consumo per capita de água; a disponibilidade per capita de água na região; informações sobre como os conflitos regionais interferem na disponibilidade da água; informações sobre as principais fontes de abastecimento; e a situação geral da região em termos de recursos hídricos. Por fim, algumas estratégias para o distanciamento da situação de crise hídrica implantada são apresentadas, entre elas: assegurar o direito à água dos palestinos; fortalecer instituições governamentais capazes de gerir de forma eficiente e eficaz os recursos hídricos; implementar a integração entre o sistema de abastecimento e a demanda de água; reformar e modernizar a agricultura; promover a cooperação entre os países consumidores de água; implementar projetos de saneamento e proteção da qualidade da água; e, gerar conhecimento para gestão eficiente da uso e da qualidade da água.

Na mesma linha, Chakrabarti (2001), frente a um contexto de CAUA na cidade de Delhi, na Índia, realizou um estudo experimental a fim de demonstrar que ações simples, como a construção de barragens e recarga artificial de poços (a partir da coleta e armazenamento de água de chuva), podem ajudar a aumentar o nível da água subterrânea. No estudo, são abordados temas como: a CAUA na Índia; estratégias para captura da água de chuva; captura da água da chuva em telhados, em escala doméstica; construção de sistema para captura da água; restrições dos sistemas de captura da água nos telhados; integração dos sistemas de captura da água do telhado na cidade de Delhi; estudo físico da área disponível; instalação de piezômetros e construção de barragens;

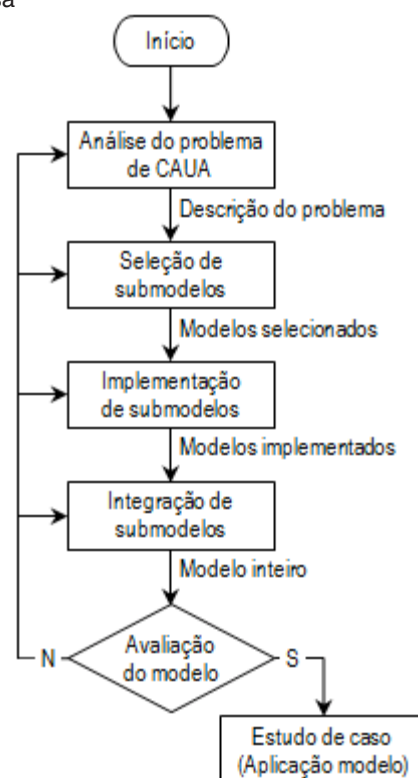
regulação das estruturas e dos incentivos. Como conclusão, foi apresentada a sugestão de criação de mecanismos apropriados de regulação e incentivo, pelos governantes da cidade, para operacionalização dessa tecnologia.

Finalmente, é preciso enfatizar que inúmeros outros casos de crise no abastecimento urbano de água podem ser encontrados na literatura.

3. Metodologia

A metodologia adotada na presente pesquisa foi composta pelas etapas mostradas na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma com etapas da metodologia da pesquisa



Para análise do problema de CAUA, realizou-se uma revisão de literatura acerca do tema CAUA. Essa revisão de literatura teve por objetivo o entendimento geral dos processos que ocasionam a CAUA e das atuais formas de tratamento do problema e a identificação dos fatores influentes e suas tipologias.

Para seleção de submodelos, foi realizada uma análise comparativa entre as características do problema de CAUA (processos, fatores influentes e respectivas tipologias), as correntes formas de tratamento do problema de CAUA apresentadas na literatura e as formas de tratamento de problemas com características similares apresentadas na literatura, adotando os procedimentos de Cortés et al. (2000).

Para implementação dos submodelos, foram realizadas atividades de adaptação dos submodelos selecionados ao problema de CAUA e, posteriormente, codificação dos submodelos selecionados e adaptados.

Para integração dos modelos, fez-se uso da técnica dos sistemas híbridos intercomunicativos, da mesma maneira como foi realizado nos trabalhos apresentados na revisão de literatura (León et al., 2000; López-Paredes et al., 2007; Athanasiadis et al., 2005; Froukh, 2001; e, Tillman et al., 2005).

Para avaliação do modelo (modelo inteiro), foram realizadas análises de sensibilidade e testes de verificação, sugeridos na literatura, para modelo de auxílio à tomada de decisão.

Considerando a perspectiva de possíveis problemas de abastecimento de água no Distrito Federal, conforme mencionado por Conejo et al. (2009), Pinto e Araújo Neto (2009) e IWAS (2009), adotou-se como estudo de caso algumas das regiões administrativas do Distrito Federal. As regiões administrativas do Distrito Federal estudadas incluíram Brasília, Lago Norte, Cruzeiro, Guará, Varjão, Estrutural e Park Way (Distrito Federal, 2008).

4. Resultados

Da análise do problema de CAUA foram obtidos alguns conceitos importantes, entre eles o de CAUA, definido como um descompasso entre a oferta de água e as taxas de consumo, segundo Motiee et al. (2001). Ainda, dessa análise se constatou que os processos que ocasionam a CAUA tem sua origem associada ao crescimento populacional, à intensificação das atividades econômicas, ao aumento na frequência de períodos de seca e ao despreparo da administração municipal para lidar com esses processos. Em relação à identificação dos fatores influentes e suas tipologias, foram encontrados vários fatores de diferentes tipologias.

A Tabela 1 apresenta os fatores influentes na CAUA identificados na revisão de literatura e respectivas tipologias.

Legenda:

^a Discreto; ^b Contínuo; ^c Nominal; ^d Ordinal

Tabela 1: Fatores influentes na CAUA e tipologias

Item	Fator	Quantitativo		Qualitativo	
		DI ^a	CO ^b	NO ^c	OR ^d
1	Taxa de crescimento populacional		X		
2	Densidade populacional		X		
3	Nível socioeconômico				X
4	Nível educacional				X
5	Nível de industrialização				X
6	Temperatura do ar		X		
7	Umidade relativa do ar		X		
8	Índice pluviométrico		X		
9	Sazonalidade			X	
10	Porte e as características topográficas da cidade				X
11	Percentual de hidrometração		X		
12	Tarifa da água cobrada	X			
13	Tipo de política tarifária			X	
14	Existência de rede coletora de esgoto			X	
15	Índice de desenvolvimento humano municipal		X		
16	Pressão média na rede de distribuição		X		
17	Existência de hábitos conservacionistas			X	
18	Número/tipologia de equipamentos hidrosanitários por residência			X	
19	Área construída		X		
20	Número de cômodos	X			
21	Abundância ou escassez de mananciais			X	
22	Perdas na rede de abastecimento			X	
23	Identificação social da família			X	
24	Existência e tipo de política municipal de recursos hídricos			X	
25	Aceitação da população das ações de conservação e uso racional da água			X	
26	Tipologia habitacional predominante			X	
27	Tipologia de consumidores			X	
28	Tipologia do município			X	
29	Função predominante do ambiente urbano			X	
30	Existência de políticas de incentivo a conservação da água		X		
31	Intermitência no abastecimento de água			X	
32	Consumo de energia			X	

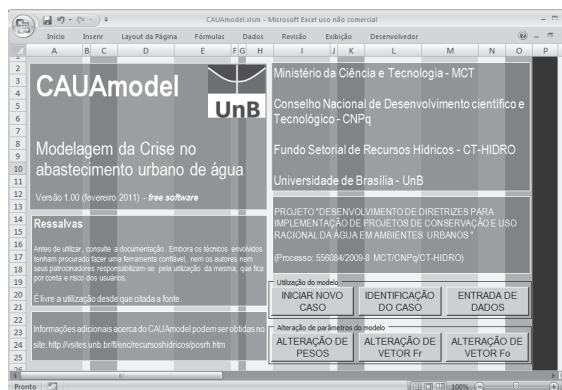
Na seleção de submodelos, sugeriu-se a adaptação dos submodelos utilizados por Patlitzianas et al. (2008), uma vez que há equivalência entre os objetivos desta pesquisa e da pesquisa desenvolvida pelos referidos autores. Na Tabela 2 estão apresentadas algumas das características do estudo realizado por Patlitzianas et al. (2008) e do estudo realizado nesta pesquisa. Para implementação do submodelo 1, foram realizadas várias subetapas que coincidiram com o trabalho realizado por Patlitzianas et al. (2008). O submodelo 1 se concentrou na modelagem da CAUA via a realização das subetapas de agregação dos fatores influentes, de classificação dos casos de CAUA e de desenvolvimento de módulo computacional para modelagem da CAUA, nomeado CAUAmovel. O CAUAmovel pode ajudar, de forma preliminar, especialistas a selecionarem diretrizes de projeto para solução de casos de CAUA, uma vez que ele esclarece as possíveis origens da CAUA. A tela de entrada do módulo computacional, resultado da implementação do submodelo 1, é apresentado na Figura 2.

Tabela 2: Análise comparativa

Estudo	Patlitzianas <i>et al.</i> (2008)	Pesquisa desenvolvida
Problema	Companhias do setor energético da Comunidade Europeia não possuem um ambiente operacional ótimo. Existem vários fatores influentes em termos políticos, regulatórios e de suporte financeiro.	Descompasso entre a oferta de água e as taxas de consumo no ambiente urbano (CAUA). Existem vários fatores influentes em termos socioeconômicos, gerenciais, urbanos, culturais e ambientais.
Objetivo	Desenvolver um sistema de apoio à decisão para formulação de um ambiente operacional ótimo em companhias do setor energético na Comunidade Europeia (selecionar e priorizar caminhos).	Desenvolver um modelo para o processo decisório no combate à crise no abastecimento urbano de água (selecionar e priorizar diretrizes).
SM 1	Agregação de indicadores (diretos e indiretos)	Agregação de indicadores (fatores influentes diretos, indiretos)
SM 2	Modelo baseado em regras (SE)	Modelo baseado em regras (SE)
SM 3	ELECTRE III (MCDA)	ELECTRE III, PROMETHEE II e TOPSIS (MCDA)
Modelo inteiro	Sistema híbrido (SE e MCDA)	Sistema híbrido (SE e MCDA)

SM 1: submodelo 1; SM 2: submodelo 2; SM 3: submodelo 3

Figura 2: Interface do submodelo 1 (CAUAmovel)



A implementação do submodelo 2 (denominado de CAUA-EXPERT) se deu via desenvolvimento de um sistema especialista (SE), seguindo a linha de alguns trabalhos correlatos (Wei e Weber, 1996; Collier et al., 1999; Tillman et al., 2005; Patlitzianas et al., 2008). O submodelo capaz de apresentar um conjunto adequado de diretrizes de projeto solução de diferentes casos de CAUA, com a prioridade estimada por meio da opinião de especialistas, foi o principal resultado alcançado da implementação do submodelo 2. A Figura 3 apresenta as interfaces de entrada e saída de dados do CAUA-EXPERT.

Figura 3: Interface do submodelo 2 (CAUA-EXPERT)



A Tabela 3 apresenta as diretrizes para projetos que solucionem casos de CAUA que poderão ser indicadas pelo CAUA-EXPERT.

Na etapa de implementação do submodelo 3, foi desenvolvido um modelo que prioriza as diretrizes especificadas pelo CAUA-EXPERT. Frente aos múltiplos objetivos e critérios deste problema e a necessidade de priorização, optou-se por utilizar métodos multicriteriais (MCDA). O submodelo 3 tem a finalidade de apresentar uma priorização das diretrizes de projeto a serem implementadas para diferentes casos de CAUA. Uma das interfaces do submodelo 3, denominado de CAUA-MCDA, esta apresentado na Figura 4.

Tabela 3: Diretriz para projetos que solucionem casos de CAUA

Item	Diretrizes
D1	Redução de perdas
D2	Implementação de macro e micro medição
D3	Implementação de medição individualizada
D4	Implementação de banheiros eficientes
D5	Redução de pressão no sistema hidráulico nos banheiros
D6	Redução de pressão na rede de distribuição de água
D7	Coleta e uso de água de chuva
D8	Coleta, tratamento e uso de águas cinza
D9	Implementação de programas de educação ambiental
D10	Estímulos fiscais à redução do consumo
D11	Tarifação sobre a ineficiência no uso da água
D12	Adequação da política tarifária
D13	Regulação do consumo de água de aparelhos domésticos/poupadores
D14	Aumento da capacidade de produção
D15	Intermitência/acionamento no sistema de abastecimento
D16	Regulação do consumo
D17	Telhados verdes
D18	Fortalecimento da operadora dos serviços de abastecimento de água
D19	Boas práticas para conservação da água
D20	Privatização/Concessão da operadora dos serviços de abastecimento de água

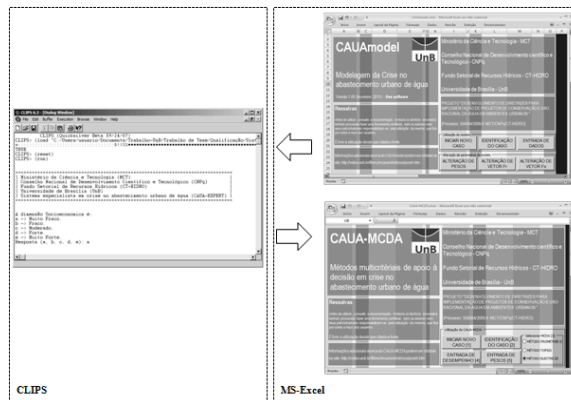
Figura 4: Interface do submodelo 3 (CAUA-MCDA)



Para integração dos submodelos, realizou-se a mescla de técnicas de SE e MCDA, produzindo um sistema híbrido (SH) intercomunicativo, ou modelo inteiro. O SH é formado basicamente por submodelos independentes, sendo que cada módulo é responsável pela resolução de uma das subtarefas do problema principal. Assim, assumiu-se que a arquitetura dos submodelos 1, 2 e 3, considerou que ao submodelo 1 cabe a realização da primeira subtarefa (classificação dos casos de CAUA) para resolução do problema e o seu resultado alimentará o submodelo 2. Ao submodelo 2 cabe a realização da segunda subtarefa (identificação de diretrizes) para resolução do problema e seu resultado também alimentará o submodelo 3. Por fim, ao submodelo 3 cabe a realização da terceira subtarefa (priorização de

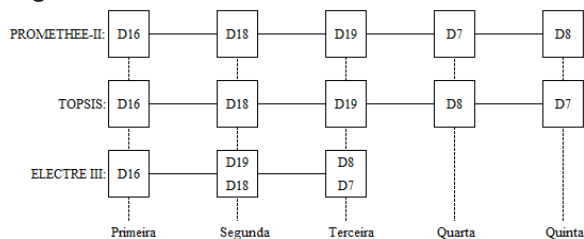
diretrizes) para resolução do problema e seu resultado será a solução do problema. A Figura 5 apresenta o SH, denominado de CAUA-SAD, de forma esquemática (interfaces), indicando o início de sua utilização no CAUModel, sua passagem pelo CAUA-EXPERT e o término de sua utilização no CAUA-MCDA.

Figura 5: Sistema híbrido (CAUA-SAD)



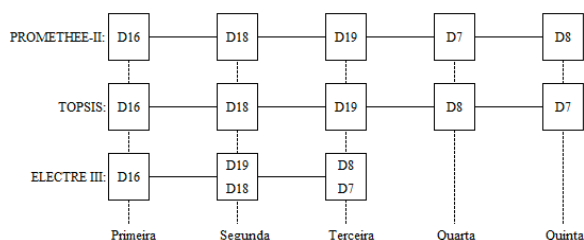
A avaliação do modelo inteiro indicou o valor médio de concordância entre os valores observados e estimados de 56%. Um banco de dados de treinamento maior, sobretudo para o submodelo 2 (CAUA-EXPERT), poderia contribuir com a melhoria da concordância entre os valores observados e estimados. Com a introdução das características dos estudos de casos (Brasília, Lago Norte, Cruzeiro, Guará, Varjão, Estrutural e Park Way) no CAUA-SAD, foram encontrados os resultados apresentados nas Figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

Figura 6: Resultados do CAUA-SAD: Brasília



Legenda: D7: Coleta e uso de água de chuva; D8: Coleta, tratamento e uso de águas cinza; D16: Regulação do consumo; D18: Fortalecimento da operadora dos serviços de abastecimento de água; D19: Boas práticas para conservação da água; Primeira, Segunda, ..., Quinta: é a diretriz de prioridade 1, é a diretriz de prioridade 2, ..., é a diretriz de prioridade 5

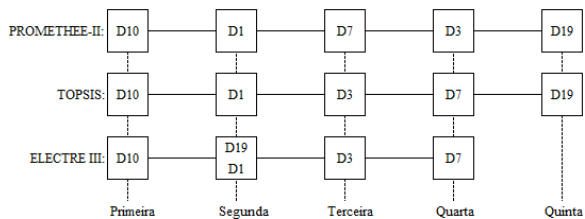
Figura 7: Resultados CAUA-SAD: Cruzeiro



Legenda: D7: Coleta e uso de água de chuva; D8: Coleta, tratamento e uso de águas cinza; D16: Regulação do consumo; D18: Fortalecimento

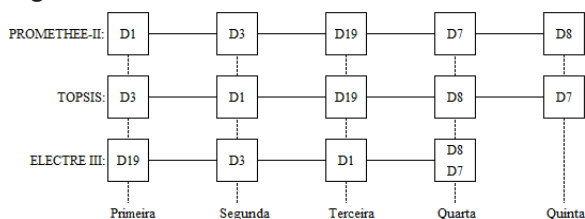
da operadora dos serviços de abastecimento de água; D19: Boas práticas para conservação da água; Primeira, Segunda, ..., Quinta: é a diretriz de prioridade 1, é a diretriz de prioridade 2, ..., é a diretriz de prioridade 5

Figura 8: Resultados CAUA-SAD: Estrutural



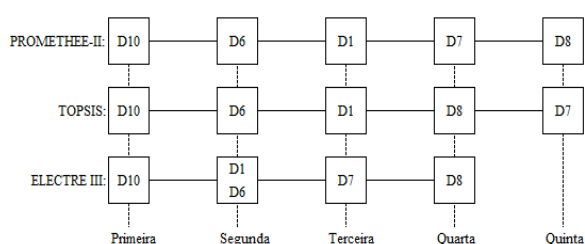
Legenda: D1: Redução de perdas; D3: Implementação de medição individualizada; D7: Coleta e uso de água de chuva; D10: Estímulos fiscais à redução do consumo; D19: Boas práticas para conservação da água; Primeira, Segunda, ..., Quinta: é a diretriz de prioridade 1, é a diretriz de prioridade 2, ..., é a diretriz de prioridade 5

Figura 9: Resultados CAUA-SAD: Guará



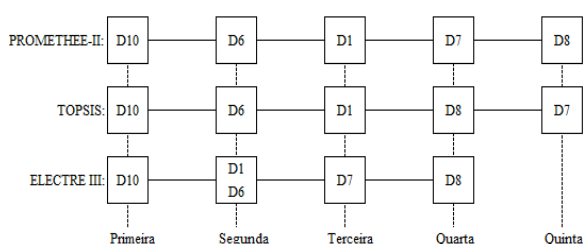
Legenda: D1: Redução de perdas; D3: Implementação de medição individualizada; D7: Coleta e uso de água de chuva; D8: Coleta, tratamento e uso de águas cinza; D19: Boas práticas para conservação da água; Primeira, Segunda, ..., Quinta: é a diretriz de prioridade 1, é a diretriz de prioridade 2, ..., é a diretriz de prioridade 5

Figura 10: Resultados CAUA-SAD: Lago Norte



Legenda: D1: Redução de perdas; D6: Redução de pressão na rede de distribuição de água; D7: Coleta e uso de água de chuva; D8: Coleta, tratamento e uso de águas cinza; D10: Estímulos fiscais à redução do consumo; Primeira, Segunda, ..., Quinta: é a diretriz de prioridade 1, é a diretriz de prioridade 2, ..., é a diretriz de prioridade 5

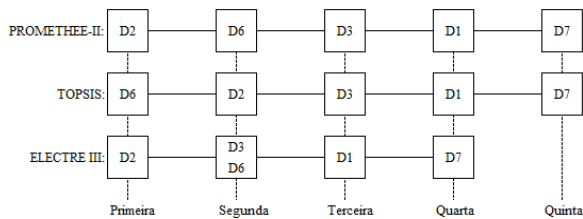
Figura 11: Resultados CAUA-SAD: Park Way



Legenda: D1: Redução de perdas; D6: Redução de pressão na rede de distribuição de água; D7: Coleta e uso de água de chuva; D8: Coleta, tratamento e uso de águas cinza; D10: Estímulos fiscais à redução do

consumo; Primeira, Segunda, ..., Quinta: é a diretriz de prioridade 1, é a diretriz de prioridade 2, ..., é a diretriz de prioridade 5

Figura 12: Resultados CAUA-SAD: Varjão



Legenda: D1: Redução de perdas; D2: Implementação de macro e micro medição; D3: Implementação de medição individualizada; D6: Redução de pressão na rede de distribuição de água; D7: Coleta e uso de água de chuva; Primeira, Segunda, ..., Quinta: é a diretriz de prioridade 1, é a diretriz de prioridade 2, ..., é a diretriz de prioridade 5

De modo geral, os resultados indicaram que as diretrizes D1 (redução de perdas), D10 (estímulos fiscais à redução do consumo) e D16 (regulação do consumo) são as de maior prioridade, uma vez que frequentemente estão entre as três primeiras diretrizes, sendo essas diretrizes sugeridas para a companhia de saneamento que opera os SAAs das referidas regiões administrativas.

5. Conclusões

Foi desenvolvido um modelo, denominado de CAUA-SAD, para o processo decisório de gestão da crise no abastecimento urbano de água. O CAUA-SAD é um modelo híbrido de análise de decisão que envolve a associação de submodelos, cada um baseado em uma técnica diferente de análise. Os submodelos que compõem o CAUA-SAD e respectivas tarefas incluem: (1) CAUAmoDel, que classifica os casos de CAUA; (2) CAUA-EXPERT, que identifica as diretrizes adequadas; e, (3) CAUA-MCDA, que prioriza diretrizes identificadas pelo CAUA-EXPERT, identificando assim a estratégia ideal para tratamento de casos de CAUA. O modelo CAUA-SAD é capaz de orientar os tomadores de decisão na seleção de diretrizes e estratégias necessárias para solucionar o problema de crise no abastecimento urbano de água.

Entre as principais conclusões obtidas nesta pesquisa destacam-se: (1) foi identificada uma série de possíveis diretrizes de projeto para solução do problema de crise no abastecimento urbano de água; (2) foram modeladas as possíveis situações de crise no abastecimento urbano de água; (3) foi modelado o domínio de conhecimento de especialistas humanos ao selecionarem a melhor solução para o problema de crise no abastecimento urbano de água; (4) foram comparadas e ordenadas as melhores soluções para o problema de crise no abastecimento urbano de água; e

(5) foi desenvolvida uma interação amigável entre o usuário e o modelo CAUA-SAD.

6. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro que permitiu a realização da pesquisa.

7. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. (2010). ABES informa: nº 160. [on line]. Disponível em: <<http://www.abes-dn.org.br/?public=anteriores>>. Acesso em: 18 fev. 2010.

ALBUQUERQUE, T. M. A. (2004). **Seleção multicritério de alternativas para o gerenciamento da demanda de água na escala de bairro.** Dissertação de Mestrado, Publicação Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 215p. 2004.

ATHANASIADIS, I. N.; MENTES, A. K.; MITKAS, P. A.; MYLOPOULOS, Y. A. (2005). **A hybrid agent-based model for estimating residential water demand.** *Simulation*, 81(3), 175-187.

BARAKAT & CHAMBERLIN, INC. (1992). **Water supply reliability in California: How much do we have? How much do we need?.** [on line]. Disponível em: <<http://www.cuwa.org/library/WaterSupplyReliabilityInCalifornia.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2010.

CHAKRABARTI, P. G. D. (2001). Rooftop rain water harvesting – an alternative technology for fresh water augmentation in chronically deficient urban agglomerates of India. In: **Symposium Proceedings/Actes: Frontiers in urban water management: Deadlock or hope?** Marseille, France, UNESCO.

CONEJO, J. G. L.; SOARES, S. R. A.; JULIATTO, E. S.; PEREIRA, C. A. A. O.; OLIVEIRA, D. D.; GRISOTTO, L. E. G.; MORAES Jr, J. M. (2009). Panorama da oferta de água nos grandes centros urbanos do país a partir dos resultados do atlas regiões metropolitanas. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** Campo Grande, Brasil, ABRH.

CORTÉS, U.; SÀNCHEZ-MARRÉ, M.; CECCARONI, L.; R-RODA, I.; POCH, M. (2000). **Artificial intelligence and environment decision support system.** *Applied Intelligence*, 13, 77-91.

DISTRITO FEDERAL. (2008). **Síntese de informações socioeconômicas**, 2008/Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Brasília: Codeplan. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br/sites/200/216/00000194.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2009.

DIXON, L. S.; MOORE, N. Y.; PINT, E. M. (1995). **The Effect Water Supply Reductions During the 1987-92 California Drought.** [on line]. Disponível em: <http://www.cuwa.org/library/TheEffectofUrbanWaterSupplyReduction87_92.pdf> Acesso em: 18 fev. 2010.

FREITAS, M.A.V.; SANTOS, A.H.M. (1999). Importância da água e da informação hidrológica. In: Freitas, M.A.V. (Ed.). **O estado das águas no Brasil; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos.** Brasília: ANEEL/MME/MMA-SRH/OMM. P.13-16.

FROUKH, M. L. (2001). **Decision-support system for domestic water demand forecasting and management.** *Water Resources Management*, 15, 363-382.

FULLERTON Jr., T. M.; TINAJERO, R.; COTA, J. E. M. (2007). **An empirical analysis of Tijuana consumption.** *Atlantic Economic*, 35, 357-369.

GANDY, M. (1997). **The making of a regulatory crisis: restructuring New York city's water supply.** *Blackwell Publishing on behalf of the Royal Geographic Society*, 22(3), 338-358.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO DISTRITO FEDERAL. (2009). **Exibição de Notícia: Água do lago Paranoá vai para a torneira dos moradores do DF.** [on line]. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/003/00301009.asp?ttCD_CHAVE=91044&btImprimir=SIM>. Acesso em: 18 fev. 2010.

INTERNATIONAL WATER RESEARCH ALLIANCE SAXONY. (2009). Latin America (Brazil). [on line]. Disponível em: <<http://www.iwas-sachsen.ufz.de/data/IWAS%20Agua%20DF-110531.pdf>> Acesso em: 17 set. 2009.

LEÓN, C.; MARTÍN, S.; ELENA, J. M.; LUQUE, J. (2000). **EXPLORE – Hybrid expert system for water networks management.** *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 126(2), 65-74.

LÓPEZ-PAREDES, A.; SAURÍ, D.; GALÁN, J. M. (2005). **“Urban water management with artificial societies of agents: the FIRMABAR simulator”.** *Simulation*, 81(3), 189-199.

MOTIEE, H.; MANOUCHEHRI, G. H.; TABATABAI, M. R. M. (2001). Water crisis in Iran: codification and strategies in urban water. In: **Symposium Proceedings/Actes: Frontiers in urban water management: Deadlock or hope?** Marseille, France: UNESCO.

PATLITZIANAS, K. D.; PAPPAS, A.; PSARRAS, J. (2008). **An information decision support system towards the formulation of a modern energy companies' environment.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 790-806.

PINTO, A. L. C.; ARAUJO NETO, M. D. (2009). Estudo preliminar do abastecimento público para subsidiar o uso dos recursos hídricos no Distrito Federal. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** Campo Grande, Brasil, ABRH.

RÊGO, J. C.; RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; GALVÃO, C. O. (2001). Participação da Sociedade na Crise 1998-2000 no Abastecimento d'água em Campina Grande – PB, Brasil. In: **IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas.** Foz do Iguaçu, Brasil, ABRH/IWRA.

TILLMAN, D. E.; LARSEN, T. A.; PAHL-WOSTL, C.; GUJER, W. (2005). **Simulating development strategies for water supply.** Journal of Hydroinformatics, 7(1), 41-51.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. (2000). **Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a visão mundial da água.** Revista ABRH, 5(3), 31-43.

WEI, M. S.; WEBER, F. (1996). **An expert system for waste management.** Journal of Environmental Management, 46, 345-358.

ZAHRA, B. A. A. (2001). **Water crisis in Palestina.** Desalination, 136, 93-99.

