XX CONGRESO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA

MÉTODO ELECTRE II APLICADO AO PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA PROPOSTA PARA MELHORAR A PERFORMANCE DO MÉTODO

Antonio Carlos Zuffo e **Rozely Ferreira dos Santos**
zuffo@fec.unicamp.br roze@fec.unicamp.br

Laboratório de Planejamento Ambiental – LAPLA
Faculdade de Engenharia Civil - FEC da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Caixa Postal 6021, CEP 13.026-430 Campinas, São Paulo - BRASIL

RESUMO

Apesar do método ELECTRE II ser bastante utilizado na área ambiental, ele mostra falhas de hierarquização quando comparado a outros métodos, o que leva a dedução de que existem métodos multicriteriais mais eficientes. Este trabalho parte da hipótese de que pequenas alterações no arcabouço das equações relativas à hierarquização podem melhorar a performance dos resultados, principalmente quando se trata do planejamento dos recursos hídricos. Foram sugeridas duas propostas de alteração, aplicadas para quatro cenários de pesos aos critérios definidos a partir de um estudo de caso (Bacia do rio Cotia, São Paulo, Brasil). Os resultados obtidos evidenciaram que o problema detectado no método pode ser contornado, o que leva a afirmar que o ELECTRE II pode mostrar-se eficiente para problemas que envolvam múltiplos critérios.

ABSTRACT

In spite of the method ELECTRE II to be quite used in the environmental area, it shows ranking flaws when compared the other methods. That has been taking the deduction that exist other methods more efficient than ELECTRE II. This work start from the hypothesis that: small alterations in the ordinations equations' outline can improve the performance of the results. Two modifications were proposed and applied for four sceneries of weights to the defined criteria starting from a case study (Basin of the river Cotia, Sao Paulo, Brazil). The obtained results evidenced that the problem detected in the method can be outlined, what takes to affirm that ELECTRE II can be shown efficient for problems that involve multiple criteria in environmental planning of water resources.

INTRODUÇÃO

- **Uso da água, Planejamento e Método Multicriterial**

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), apesar de estar localizada sobre o vale de um rio de razoável porte, como é o caso do rio Tietê, não pode utilizar suas águas para o abastecimento urbano. A poluição do rio Tietê chegou a níveis tais que não se pode garantir um padrão mínimo de potabilidade sem que os custos de tratamento dessas águas sejam extremamente elevados. Isso mostra que, apesar do elevado crescimento da demanda hídrica ocorrido nos últimos anos, principalmente, nos abastecimentos urbano e industrial, irrigação e geração de energia elétrica, o gerenciamento dos serviços correspondentes parece não ter amadurecido na mesma proporção. Pelo contrário, aparentemente, tornou-se complexo e confuso, por meio de demanda e oferta hídrica desorientadas. Hoje, é necessário uma urgente avaliação sobre a perspectiva de administração ambiental.

O planejamento de recursos hídricos passa atualmente por um período de reformulação de seus procedimentos de avaliação de alternativas e no desenvolvimento de técnicas correspondentes. Essa mudança parte da tradicional análise benefício-custo para a análise multicriterial. No Brasil, não se tem ainda o planejamento multiobjetivo formalizado. Apesar de alguns esforços nessa área, ainda a análise de benefício/custo continua sendo a principal ferramenta de avaliação de projetos. Não são percebidas, portanto, as limitações de sua abrangência. Mais precário é o reconhecimento das possibilidades de associação entre o planejamento multicriterial e a valorização ambiental e social, para assegurar que tomadas de decisão sobre recursos hídricos, sejam técnica e ambientalmente sustentáveis.

- **Eficiência do método ELECTRE II**

O método ELECTRE II é um dos métodos mais populares em análises multicriteriais mas a resposta do método obtida por Zuffo et al. (2002), ficou aquém das expectativas, levando os autores a desprezar os resultados deste método. Esses autores aplicaram cinco métodos multicriteriais a partir da matriz de "*payoff*", apresentada pela tabela 1, para quatro cenários de pesos distintos, objetivando avaliar o Projeto "Reabilitação, Expansão e Conservação do Sistema Produtor de Água Potável do Baixo Cotia", pertencente à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Analisaram vinte diferentes critérios, divididos em quatro diferentes grupos a saber: econômico, ambiental, técnico e social.

Os critérios ambientais e sociais, para cada alternativa, foram valorados com a utilização de informações espacializadas, com o auxílio do SIG IDRISI, conforme apresentado por Zuffo (1998) e foram considerados como sendo de natureza determinística.

Zuffo (1998) definiu os pesos para os critérios por meio de um questionário estruturado respondido por vários profissionais especialistas de diversas áreas ligadas aos recursos hídricos, todos de nível superior. O objetivo desse questionário, segundo o autor, foi o de estabelecer, de forma isenta de tendências, o grau de importância relativa que os critérios teriam em relação aos demais. Após tratamento estatístico dos questionários obteve-se quatro cenários: cenários correspondentes às médias dos pesos, às modas, aos mínimos valores obtidos e o de pesos iguais. A escala de valores dos pesos adotada encontravam-se em uma faixa compreendida entre 1 e 10, conforme mostrado na tabela 1.

Os métodos multicriteriais adotados no trabalho de Zuffo et al. (2002) foram: PROMETHEE II, Programação por Compromisso (CP), Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT), Método Analítico Hierárquico (AHP) - por meio do pacote Expert Choice (EC) - e o método ELECTRE II. Observaram que os resultados fornecidos pelo método ELECTRE II não apresentaram alterações para todos os cenários aplicados, sendo insensível a qualquer mudança de cenários dos pesos.

Tabela 1: Matriz "*payoff*". Fonte: Zuffo et al. (2002)

Critérios	Cenários de pesos				Valores das Alternativas								
	Média	**Moda**	**Min***	**Igual**	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**
Econômico	8,63	10	10	10	4	3	3	2	4	9	2	3	1
Atratividade	6,52	7	2	10	9	9	9	9	9	3	8	5	1
Saúde Fisica	9,42	10	10	10	7	9	7	9	7	1	1	7	1
Saúde Mental (Lazer)	8,21	8	3	10	9	9	9	9	9	2	2	9	1
Empregos	6,78	7	3	10	9	9	8	8	7	2	4	7	1
Acidentes Perigosos	7,71	8	5	10	1	1	1	1	1	9	9	1	9
Mudanças Atividades	5,96	7	5	10	1	1	1	1	1	9	9	1	9
Reassentamento	6,71	8	3	10	1	1	1	1	1	9	9	1	9
Vazão Acrescida	7,04	8	2	10	9	9	9	9	9	2	3	8	1
Água Subterrânea	6,50	7	2	10	9	9	9	9	9	1	9	1	1
Mata Ciliar	7,75	9	5	10	9	9	9	9	9	2	2	9	1
Erosão/Assoreamento	7,17	8	2	10	1	1	1	1	1	9	9	1	9
Planícies Inundação	7,08	8	2	10	1	1	1	1	1	9	9	1	9
Enchentes	7,42	7	2	10	9	9	9	9	9	1	1	9	1
Vegetação Natural	6,58	8	5	10	1	1	1	1	1	9	9	1	9
Fauna	6,63	7	3	10	9	9	9	9	9	5	5	9	5
Ecossistemas Aquát.	7,50	8	3	10	9	9	9	9	9	5	5	9	5
Área Protegida (Legal)	8,04	10	3	10	9	9	9	9	9	5	5	9	1
Qualidade da Água	9,67	10	8	10	5	9	5	9	9	1	1	9	1
Qualidade de Vida	9,04	10	5	10	9	9	9	9	9	5	5	9	5

* Valores modificados: todos os valores foram divididos pela décima parte do maior valor dentre os mínimos obtidos (/0,6).

Analisaram os resultados fornecidos pelo método e observaram, que a melhor solução, apresentada como resposta, foi a alternativa de número 2, logo em seguida, empatadas na segunda posição, estavam as alternativas 4, 6 e 7. Porém, levando-se em consideração que o objetivo principal do projeto em discussão era voltado à conservação ambiental, julgaram incoerente que duas alternativas, que apresentam qualidade e quantidade de água inferiores às apresentadas pelas cinco primeiras alternativas, além da apresentada pela alternativa de número 8, fossem classificadas entre as melhores. Essas seis alternativas (1 a 5 e 8) possuiam quantidade e qualidade de água superiores às alternativas 6, 7 e 9.

Reconhecia-se, previamente, que as alternativas 6, 7 e 9 eram inferiores às demais alternativas analisadas, porém elas foram introduzidas na análise, para possibilitar a avaliação do desempenho dos métodos em fornecer, como resultado, as outras alternativas em detrimento destas três. A pior alternativa, sem qualquer dúvida, era a alternativa número 9, porém ela foi classificada em quarto lugar pelo ELECTRE II, e colocada entre as seis melhores alternativas, o que seria, segundo os autores, inaceitável.

Por estas razões, Zuffo et al. (2002) consideram que o método ELECTRE II não conseguiu escolher, de forma satisfatória, as melhores alternativas para o estudo de caso em questão. Não afirmaram, no entanto, que o método não poderia ser utilizado para este tipo de problema, apenas que para o problema formulado o método não conseguiu corresponder às expectativas.

- **As premissas do método ELECTRE II**

Métodos ELECTREs são baseados nas relações hierárquicas, que possibilitam a adoção de critérios de diferentes naturezas, como por exemplo, quantitativos e qualitativos, booleanos ou nominais, etc.

O método ELECTRE II foi desenvolvido por Roy e Bertier (1971, 1973) e é uma extensão do ELECTRE I (Benayoun et al. 1966). Utiliza, como dados de entrada, os dois gráficos produzidos pelo ELECTRE I, representando uma estrutura de preferência forte e outra fraca.

A idéia no ELECTRE II é escolher aqueles sistemas que são preferidos pela maioria dos critérios e que não ultrapassem um determinado nível de desconforto ou

descontentamento aceito pelo Decisor (*Decision Maker* - DM), para nenhum dos critérios considerados. Existem duas medidas distintas: a de concordância e a de discordância. Essencialmente o ELECTRE II estabelece uma ordenação completa sobre um conjunto de alternativas inicialmente consideradas, que satisfaça: 1) O teste da concordância, em que a medida da concordância está acima de um nível mínimo de aceitabilidade; 2) O teste da discordância, em que a medida da discordância está abaixo de um nível máximo tolerável de discordância.

Para poder analisar as matrizes de concordância e discordância são definidos valores de referência "p" e "q", pertencendo ao intervalo de variação entre 0 e 1. Esses valores indicam que a concordância desejada deverá ser superior ou igual a "p" e que "q" definirá a máxima discordância tolerável. Zuffo et al. (2002) adotaram para a estrutura de preferência forte $p=0,7$ e $q=0,2$ e para a estrutura de preferência fraca $p=0,5$ e $q=0,3$.

O procedimento de ordenação do método ELECTRE II é formado por dois estágios distintos de pré-ordenação. No primeiro estágio, define-se a classificação progressiva e, no segundo, a regressiva. As duas pré-ordenações obtidas, geralmente, são diferentes, porém próximas. Neste caso, o DM pode escolher a média entre elas, como definido pela equação (1), caso contrário, deve-se redefinir o problema e reaplicar o método.

$$m(x) = \frac{v' + v''}{2}, \forall \quad x \in X \qquad (1)$$

OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo avaliar as causas da limitação detectada no uso do método ELECTRE II, para planejamento de recursos hídricos mas que envolvam questões ambientais e propor uma modificação em seu arcabouço, de forma a tornar seus resultados mais plausíveis a esse fim.

ESTUDO DE CASO

O objeto deste estudo é a bacia do rio Cotia, afluente do rio Tietê. Esta bacia pertence ao Sistema Produtor de água que abastece a região oeste da RMSP. Possui uma área aproximada de 240 Km^2, junto a captação de água na represa Isolina Superior, a montante da Estação de Tratamento de Águas (ETA) do Baixo Cotia. Esta bacia possui dois sistemas produtores de água da SABESP, ilustrados na Figura 1.

O Sistema do Alto Cotia capta as águas da Barragem N. S. das Graças, abastecendo os municípios de Cotia, Vargem Grande Paulista, Embu Guaçu e parcialmente o de Embu. Esse sistema regularizava uma vazão de 1,00 m^3/s; o excedente hídrico era reintroduzido no rio Cotia e caia no Sistema do Baixo Cotia com a finalidade principal de diluição de esgotos.

A área de contribuição do Sistema do Alto Cotia é de cerca de 105 Km^2, sendo 100 Km^2 constituídos por Mata Atlântica. Essa área é totalmente protegida e preservada. As águas de contribuição natural do rio Cotia e de seus afluentes, a jusante da Barragem N. S das Graças, recebíam, ao longo de seu curso, cargas poluentes de esgoto doméstico, efluentes industriais e águas residuárias urbanas não tratadas e geradas na própria bacia, seguindo para a represa Isolina Superior de onde são captadas e tratadas na ETA.

No programa do estado de São Paulo para a despoluição do rio Tietê, muitas obras começam a ser estudadas, propostas e implementadas. Uma dessas obras está diretamente relacionada com a bacia do rio Cotia, pois se trata da construção de um coletor tronco de esgoto (TO-13), que possibilitou o recolhimento de todo o esgoto produzido nessa bacia para possibilitar a sua condução até a Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri (ETE-Barueri). Esse coletor retirou do rio Cotia uma "*vazão*" de 180 l/s. Essa diminuição de vazão inviabilizaria a operação do Sistema Produtor Baixo Cotia, SABESP (1997).

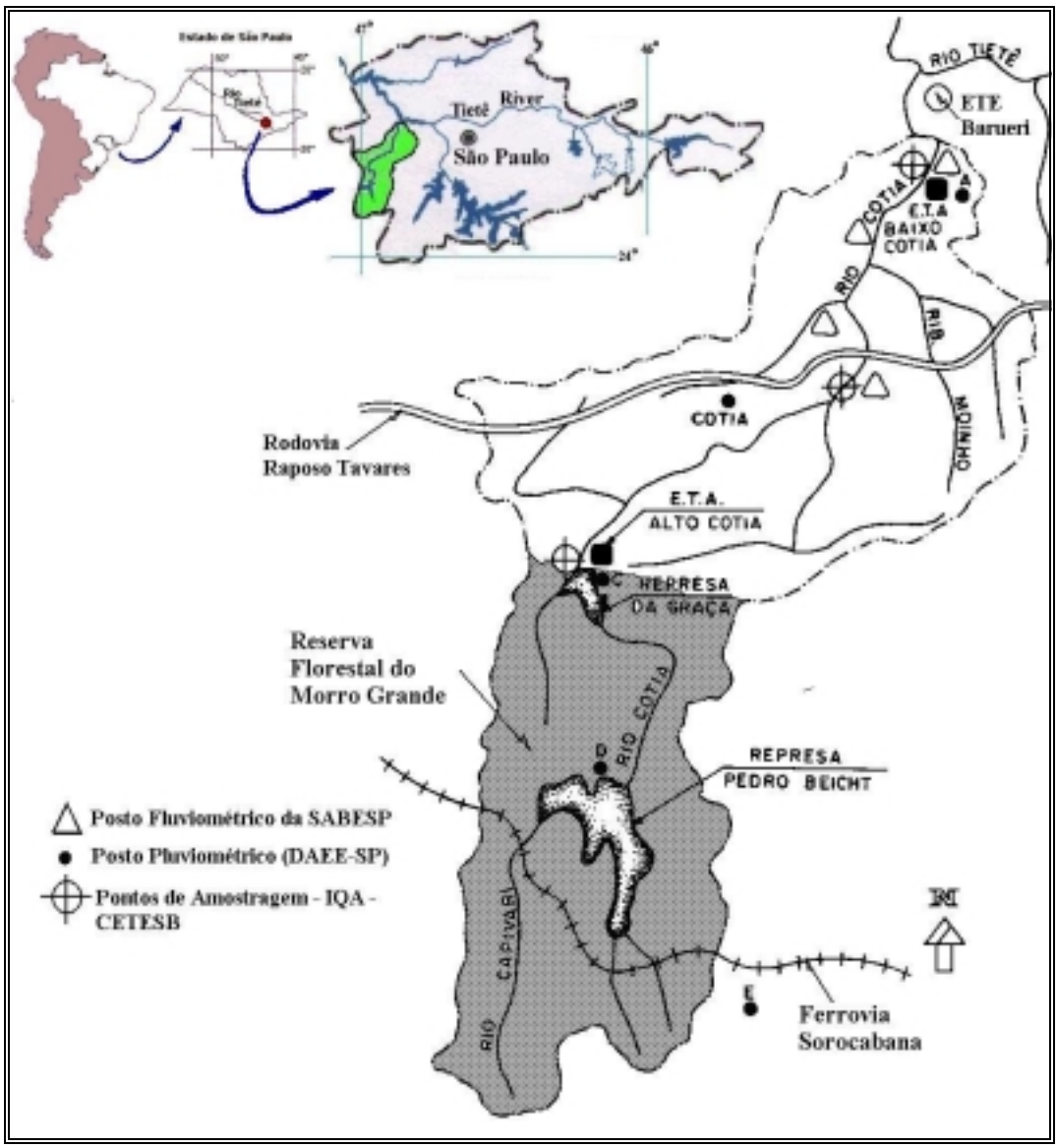

Figura 1: Localização da bacia do rio Cotia, dos sistemas Alto e Baixo Cotia, Isolinas superior e inferior e ETE-Barueri.

Com a construção do TO-13, no Baixo Cotia, a SABESP decidiu ampliar o Sistema Produtor do Alto Cotia, aproveitando os excedentes da Barragem N. S. das Graças, pois esses não precisariam mais ser utilizados para diluir efluentes no Baixo Cotia. Esse sistema, que até julho de 1997 produzia uma vazão tratada de 1,00 m^3/s seria ampliado para 1,30 m^3/s após essa data, o que provocaria uma redução de mais 300 l/s na vazão do Baixo Cotia, SABESP (1997). Essas duas obras inviabilizariam a manutenção do Sistema Produtor do Baixo Cotia que, durante o período de estiagem, não teria água suficiente para manter o abastecimento ($Q_{7,10}$ = 600 l/s).

O Sistema Baixo Cotia teria condições de manter 700 l/s durante 75% do tempo (ano). Para o período seco, no entanto, a proposta da SABESP seria a de reintroduzir água, retirada da bacia pelo TO-13, por meio do bombeamento de parte do efluente da ETE-Barueri. A utilização desse efluente estaria prevista apenas para a complementação da vazão do rio Cotia. A diluição desse efluente com a vazão natural do rio Cotia permitiria, ainda, a ampliação da capacidade de produção de água potável por este Sistema. Alguns planos de ação contemplariam o tratamento terciário por meio de *wetlands* construídas (brejos ou áreas de alagadiços).

O conjunto de medidas e ações estabelecido pela SABESP seria:

- Reuso do efluente tratado da ETE-Barueri, para o suprimento industrial;

- Utilização da mistura entre efluente tratado ETE-Barueri com as águas de contribuição natural da bacia hidrográfica do rio Cotia, como escopo de uma estratégia de reuso potável indireto de efluentes de estações de tratamento de esgoto, para fins de abastecimento público;
- Desenvolvimento de tecnologia para tratamento adicional do efluente da ETE-Barueri, caso necessário, para utilização industrial e reuso potável indireto.

Para atender a essas diretrizes, foram estabelecidas nove alternativas. Seis alternativas contemplariam o tratamento terciário natural através de áreas de alagadiços, três não. A Figura 2 ilustra um esquema geral das alternativas e o Quadro 1 as especifica.

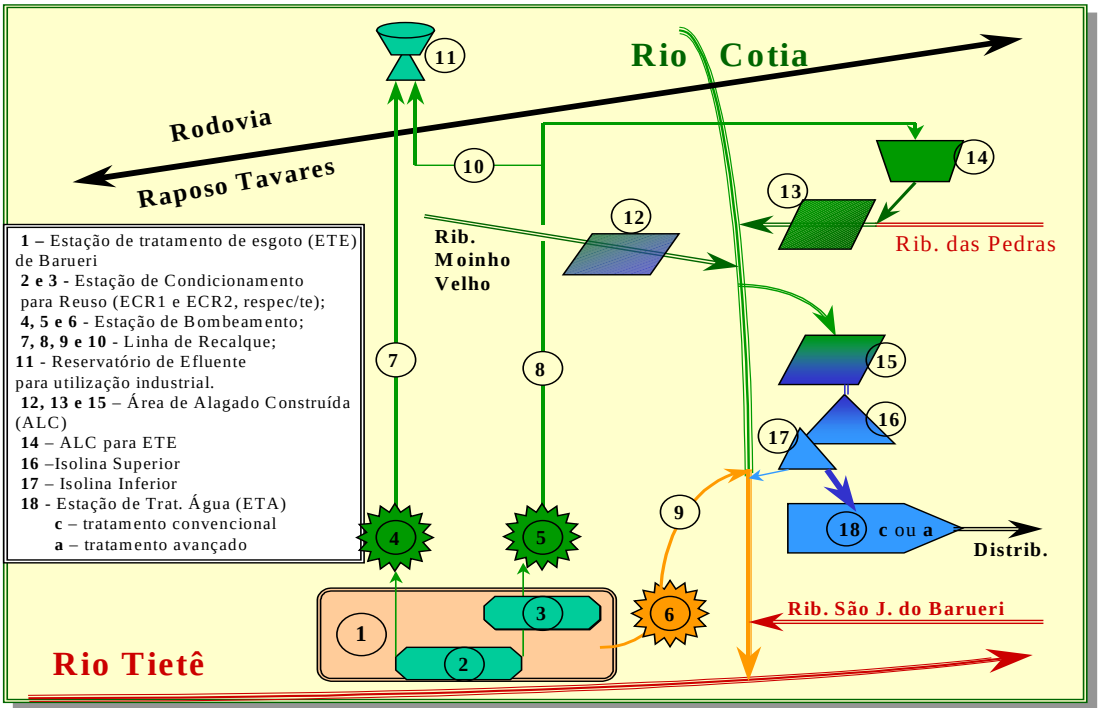

Figura 2: Esquemas das alternativas propostas de 1 a 9. Fonte: Zuffo et al. (2002)

Quadro 1: Alternativas adotadas segundo estruturas, sistemas e operações previstas. Fonte: Zuffo et al. 2002.

Estruturas, sistemas e operações previstas, segundo nomenclatura da Figura 4	Alternativa								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
01 -ETE-Barueri (utilização de efluente)	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✘
02- ECR1	✔	✔	✔	✔	✔	✘	✔	✔	✘
03- ECR2	✔	✔	✔	✔	✘	✘	✘	✘	✘
04- EB	✔	✔	✘	✘	✘	✘	✔	✘	✘
05- EB	✔	✔	✔	✔	✔	✘	✘	✔	✘
06- EB	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✘
07- Linha de recalque	✔	✔	✘	✘	✘	✘	✔	✘	✘
08- Linha de recalque	✔	✔	✔	✔	✔	✘	✘	✔	✘
09- Linha de recalque	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✘
10- Linha de recalque	✘	✘	✔	✔	✔	✘	✘	✘	✘
11- Reservatório de água para reuso	✔	✔	✔	✔	✔	✘	✔	✘	✘
12- Área de alagado construída (ALC)	✔	✔	✔	✔	✔	✘	✘	✔	✘
13- Área de alagado construída (ALC)	✔	✔	✔	✔	✔	✘	✘	✔	✘
14- ALC para ETE	✔	✔	✔	✔	✔	✘	✘	✔	✘
15- Área de alagado construída (ALC)	✔	✔	✔	✔	✔	✘	✘	✔	✘
16- Represa Isolina Superior	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔
17- Represa Isolina Inferior	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔
18- Estação de tratamento de Água (ETA)	C	A	C	A	A	C	C	A	C

✔ Previsto ✘ Não Previsto C – Tratamento Convencional A – Tratamento Avançado

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO ELECTRE II

Zuffo et al. (2002) concluiram que o resultado a aplicação do ELECTRE II era inadequado em virtude da não relativização das pequenas diferenças entre os valores dos critérios quando no cômputo do índice de preferência. Na análise par-a-par, do método ELECTRE, a menor diferença entre os valores de um determinado critério leva, necessariamente, à adoção do índice de preferência igual a um para a alternativa de maior valor, por mais ínfima que seja essa diferença. Justificaram que o método ELECTRE classificou duas das melhores alternativas em último lugar, as alternativas 1 e 3, que fornecem melhor qualidade e maior quantidade de água que as alternativas 6, 7 e 9, classificadas pelo método em melhores posições.

A preocupação com os resultados fornecidos no trabalho de Zuffo et al. (2002) gerou o interesse em procurar a real causa do baixo desempenho do método ELECTRE na hierquização das alternativas. Esta busca identificou uma das prováveis causas dessa falha na estrutura do método: a equação (1), responsável pela hierarquização final do método ELECTRE II. Essa equação realiza a média aritmética entre as ordenações progressiva e regressiva que, quando apresentam ordenações diferentes, o DM pode assumir a ordem média entre as ordenações. Neste caso, definiu-se, neste trabalho, um outro parâmetro que foi chamado de InConsistência (IC). O parâmetro IC representa o grau de inconsistência verificado entre as duas ordenações e é obtido pela seguinte expressão:

$$IC(x) = \left| v' - v'' \right| \qquad (2)$$

Assim sendo, quanto maior for o valor de IC maior será a inconsistência, sendo IC definido pelo valor, em módulo, da diferença entre as duas posições, ocupadas pela alternativa nas duas ordenações progressiva e regressiva do método. Assim, são propostas duas novas equações para o cômputo desta ordenação final, a saber:

Proposta de Modificação I – Nesta proposta de modificação é aplicada uma punição à alternativa em que houve a inconsistência, proporcional ao IC. Essa penalidade faz com que a alternativa punida perca posições em sua classificação final, conforme definida pela equação (3):

$$m(x) = \frac{v' + v''}{2} + IC, \qquad \forall\, x \in \mathrm{X} \qquad (3)$$

Proposta de Modificação II – Esta proposta de modificação é semelhante à proposta I, somente que a "punição" é dada por uma função de IC, do número de alternativas e da última classificação das alternativas alcançada pelo método ELECTRE II, como apresentada pela expressão (4):

$$m(x) = \frac{v' + v''}{2} + IC.\left(\frac{NoAlt}{Min_O(x) + 1} \right), \quad \forall \;\; x \in \mathrm{X} \qquad (4)$$

em que *NoAlt é* o número de alternativas analisadas, *Min_O(x)* é a ordem da última alternativa [representada pela hierarquia mais baixa, de qualquer uma das duas ordenações, obtida pela pior alternativa].

Introduzindo-se essas duas propostas de hierarquização final no método ELECTRE II e aplicando-as ao problema proposto, verifica-se que a performance do método ELECTRE II melhorou se comparados com as respostas dos demais métodos aplicados por Zuffo et al. (2002), conforme apresentado nas tabelas 2 a 5.

A tabela 6 mostra as ordenações v' e v" para os quatro cenários, assim como as ordenações finais do método ELECTRE II segundo a proposta original $m(\boldsymbol{x})$, e com as duas modificações propostas $m^{I}(\boldsymbol{x})$ e $m^{II}(\boldsymbol{x})$.

Tabela 2: Resultado da aplicação dos métodos multicriteriais ao cenário *Média dos Pesos*

Método	Classificação das Alternativas segundo Zuffo et al. (2002)									Proposta de Modificação da ordenação final	Classificação pelo Método Electre II								
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª
Electre II	2	4 6 7	5	9	1 3 8					**I**	2	4	5	1	3	6 7 8	9		
Promethee II	2	4	5	1	3	8	7	6	9										
CP (S=1)	2	4	5	1	3	8	7	6	9	**II**	2	4	5	1	3	8	6 7	9	
(S=2)	5	2	4 1	3	8	7	6	9											
CGT	2	5	4	1	3	8	7	6	9										
AHP	2	4	5	1	3	8	7	6	9										

Tabela 3: Resultado da aplicação dos métodos multicriteriais ao cenário *Moda dos Pesos*

Método	Classificação das Alternativas segundo Zuffo et al. (2002)									Proposta de Modificação da ordenação final	Classificação pelo Método Electre II								
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª
Electre II	2	4 6 7	5	9	1 3 8					**I**	2	4	5	1	3	6 7 8	9		
Promethee II	2	4	5	1	3	8	7	6	9										
CP (S=1)	2	4	5	1	3	8	7	6	9	**II**	2	4	5	1	3	8	6 7	9	
(S=2)	5	2	1	4	3	8	7	6	9										
CGT	2	5	4	1	3	7	8	6	9										
AHP	2	4	5	1	3	8	7	6	9										

Tabela 4: Resultado da aplicação dos métodos multicriteriais ao cenário *Pesos Iguais*

Método	Classificação das Alternativas segundo Zuffo et al. (2002)									Proposta de Modificação da ordenação final	Classificação pelo Método Electre II								
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª
Electre II	2	4 6 7	5	9	1 3 8					**I**	2	4	5	1	3 6 7 8	9			
Promethee II	2	4	5	1	3	8	7	6	9										
CP (S=1)	2	4	5	1	3	8	7	6	9	**II**	2	4	5	3 8	1	6 7	9		
(S=2)	2 5	1	4	3	8	7	6	9											
CGT	2	5	4	1	3	7	8	6	9										
AHP	2	1	4	5	3	7	8	6	9										

Tabela 5: Resultado da aplicação dos métodos multicriteriais ao cenário *Pesos Mínimos*

Método	Classificação das Alternativas segundo Zuffo et al. (2002)									Proposta de Modificação da ordenação final	Classificação pelo Método Electre II								
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª
Electre II	2	4 6 7	5	9	1 3 8					**I**	2	4	5	1	3	6 7 8	9		
Promethee II	2	5	4	1	8	3	6	7	9										
CP (S=1)	2	4	5	1	8	3	6	7	9	**II**	2	4	5	1	3	8	6 7	9	
(S=2)	5	2	1	8	4	3	6	7	9										
CGT	2	5	1	4	3	8	6	7	9										
AHP	2	4	5	1	8	3	6	7	9										

Tabela 6: Ordenações v' e v", médias finais $m(x)$, $m^{I}(x)$ e $m^{II}(x)$, para o cenário *Média*

Ordenação	Alternativas								
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
v':	4	1	***5****	2	3	1	1	4	2
v'':	4	1	***5****	2	3	4	4	***5****	***5****
m(x):	4	1	5	2	3	2,5	2,5	4,5	3,5
$m^{I}(x)$:	4	1	5	2	3	5,5	5,5	5,5	6,5
$m^{II}(x)$:	4	1	5	2	3	7	7	6	8

** Min_O* = 5, pois foi a última classificação obtida nas duas ordenações [progressiva: alt. 3 e regressiva: alts: 3, 8 e 9].

Verifica-se nas tabelas 2 a 5 que a resposta do método ELECTRE II com as duas modificações proposta se aproxima das respostas dos demais métodos adotados, conforme considerado no trabalho de Zuffo et al. (2002). A proposta I, cuja penalidade é mais branda, consegue destacar, do grupo de nove alternativas, as cinco melhores, já conhecidas a priori, enquanto que a proposta II consegue definir melhor a hieraquização para todas as alternativas.

Na proposta I a penalidade dada para a classificação é exatamente igual a IC, enquanto que na proposta II essa penalidade pode ser tanto maior quanto menor que IC, dependendo do grau de inconsitência observado e do número de alternativas analisado.

A proposta II apresentou melhores resultados quanto a ordenação completa das alternativas, enquanto que a proposta I, apesar de melhorar a hierarquização do método ELECTRE II, ainda apresenta algumas limitações quanto a ordenação de todas as alternativas em relação a proposta II.

CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos neste trabalho e apoiado pelos resultados do trabalho de Zuffo et al. (2002) conclui-se que a estrutura de definição da hierarquização completa do método ELECTRE II, assumindo-se a média das duas ordenações, progressiva e regressiva, é válida apenas quando essas classificações forem iguais, caso contrário haverá inconsistência das ordenações.

A existência dessa inconsistência poderá acarretar em uma ordenação final completa, se considerada igual a média das duas ordenações, em uma não representação adequada da hierarquização das melhores alternativas, podendo, neste caso, haver alternativas ruins sendo classificadas como boas do que alternativas realmente melhores que as ordenadas pelo método ELECTRE.

As mudanças propostas no método ELECTRE II foram positivas na hierarquização das alternativas.

A proposta de modificação II, $m(x) = \frac{v' + v''}{2} + IC.\left(\frac{NoAlt}{Min_O(x)+1}\right)$, é superior a proposta de modificação I.

Entre os cenários propostos, o método ELECTRE, com as propostas de modificação I e II, apresentaram resultados iguais e um não, o do cenário de pesos iguais, aumentando a sensibilidade do método ELECTRE II.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a SABESP pelo colaboração na execução deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

Benayoun, R.; Roy, B. e Sussman, B. (1966) – ELECTRE: Une methode pour guider le choix en presence de points de vue multiples. Direction Scientifique. Note de travail No. 49, SEMA Paris.

Roy, B. (1968) – Classement et choix en presence de points de vue multiples (la methode ELECTRE). Revue d'Informa-tique et de recherché opérationelle, 6**(8)**, pp 57-75.

Roy, B. (1985) – Méthodologie multicritèrie d'aide la décision. Economica, Paris.

Roy, B. e Bertier, P. (1971) – La Méthode ELECTRE II. Working paper 142, SEMA.

Roy, B. e Bertier, P. (1973) – La ELECTRE II: une application au media-planning. VII ème Confèrence internationale de recherché opérationalle, Dublin (Ross, M. ed.) OR. 72. North Holland, Amsterdam, pp. 291-302.

SABESP (1997) – PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA COTIA. Projeto de reabilitação, expansão e conservação do Baixo Cotia. Relatórios técnicos FBDS (contrato 079/96-A).

Zuffo, A. C. (1998) – "Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamen-to Ambiental de Recursos Hídricos". Tese de doutorado apresentada à EESC-USP para obtenção de título de doutor em engenharia. São Carlos-SP, pp 301.

Zuffo, A. C., Reis, F. L. R., Santos, R. F. dos e Chaudhry, F. H. (2002) – Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, Vol. 7, no. 1, pp. 81/102.