

IX. IRRIGAÇÃO

SELEÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA CULTURAS IRRIGADAS COM O USO DO ELECTRE I E II ⁽¹⁾

SILMARA ELOISA DOTTO ⁽²⁾, EUGÊNIO DA MOTTA SINGER ⁽³⁾
e ROZELY FERREIRA DOS SANTOS ⁽⁴⁾

RESUMO

Em planejamento de áreas que fazem uso de irrigação, discutem-se, comumente, parâmetros de qualidade de água, objetivando evitar ou minimizar impactos desfavoráveis sobre a produção de culturas e a saúde da população. Este trabalho contribui na seleção e classificação, em ordem de importância, de parâmetros de qualidade que estejam envolvidos com o processo de irrigação. Assim, são hierarquizados, por meio do método multicriterial Electre I e II, seis parâmetros: coliforme fecal (CF); potencial hidrogeniônico (pH); demanda bioquímica de oxigênio (DBO); cloreto (Cl); nitrogênio total (Nt) e condutividade elétrica (CE), em função de nove culturas irrigadas: tomate, batata, feijão, laranja, morango, pêssego, alface, cenoura e beterraba. Adotou-se como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Piracicaba (SP). Os resultados mostram que, para essa região, os parâmetros de maior preferência são CF e CE e, o de menor preferência, DBO.

Termos de indexação: rio Piracicaba, qualidade de água, irrigação, Electre I e II.

ABSTRACT

THE SELECTION AND THE HIERARCHICAL CLASSIFICATION OF WATER QUALITY PARAMETERS FOR IRRIGATED CROPS THROUGH A ELECTRE I AND II

Developmental plans in the areas that make use of irrigation, discuss, commonly, water quality parameters with the objective of eliminating or minimizing unfavorable impacts on agriculture and on public health. Using this as a focus point, this paper contributes to the selection and classification of quality parameters that are involved with the irrigation process, by importance order. Thus, six parameters (fecal coliform, hydrogenionical potential, biochemical demand of oxygen, chloride, total nitrogen, and electrical conductivity) are hierarquisated using the multicriterial methods Electre

⁽¹⁾ Parte do trabalho de Mestrado de Silmara Eloisa Dotto, em Recursos Hídricos e Saneamento, Faculdade de Engenharia Civil (FEC), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 1993, com apoio financeiro da FAPESP. Recebido para publicação em 12 de agosto de 1994 e aceito em 18 de janeiro de 1996.

⁽²⁾ Bolsista da FAPESP.

⁽³⁾ Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, e SEMCO-ERM DO BRASIL.

⁽⁴⁾ Departamento de Hidráulica e Saneamento da FEC, UNICAMP.

I and II related to nine irrigated cultures (tomatoes, potatoes, beans, oranges, strawberries, peaches, lettuce, carrots and beets). The study area is the Piracicaba river basin, São Paulo State, Brazil. The results demonstrate that, for this region, the parameters with the highest preference are the fecal coliform and the electrical conductivity and the least preference is the biochemical demand of oxygen.

Index terms: Piracicaba river, water quality, irrigation, Electre I e II.

1. INTRODUÇÃO

Por meio do Electre I e II, técnicas de classificação amplamente utilizadas na engenharia de recursos hídricos, analisa-se um grupo de alternativas, considerando-se múltiplos critérios (Singer, 1983; Fricke et al., 1989; Santos, 1991 e Harris, 1992). Essas técnicas, expressas em notação matricial, possibilitam a hierarquização e ponderação de alternativas de qualidade de água mediante o uso de parâmetros biológicos, físicos e químicos.

O Electre I (Benayoun et al., 1966) visa à classificação parcial do conjunto de alternativas, separando as dominadas das não dominadas (preferidas). Para tanto, utilizam-se dois índices: o de concordância, que mede a superioridade de uma alternativa sobre outra, e o de discordância, que indica a divergência entre ambos. Os índices baseiam-se em critérios e pesos previamente estabelecidos. O Electre II (Roy & Bertier, 1971) obtém a classificação final das alternativas utilizando, como dados de entrada, as informações do Electre I. O resultado é a classificação hierárquica e a identificação das alternativas que permanecem em posições privilegiadas em diferentes enfoques simulados e variações de pesos dos critérios adotados (Harris & Singer, 1991).

Este trabalho objetiva submeter os parâmetros de qualidade de água a esse método, direcionando a culturas irrigadas, e analisar a elasticidade dos parâmetros biológicos, físicos e químicos selecionados em relação à variação dos pesos dos critérios (tipos de culturas irrigadas), de forma a indicar as alternativas mais sensíveis e sua importância.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Como primeiro passo, selecionaram-se parâmetros (denominados alternativas) relacionados à qualidade de água para culturas irrigadas, de acordo com exigências legais ditadas pela CETESB e

referências em literatura científica. São eles: coliforme fecal (CF); potencial hidrogeniônico (pH); demanda bioquímica de oxigênio (DBO); cloreto (Cl); nitrogênio total (Nt) e condutividade elétrica (CE). Paralelamente, foram identificadas, por levantamentos bibliográficos, nove culturas que fazem uso de irrigação (denominadas critérios) na região da bacia hidrográfica do rio Piracicaba: tomate (To); batata (Ba); feijão (Fe); laranja (La); morango (Mo); pêssago (Pê); alface (Al); cenoura (Ce) e beterraba (Be) (Dotto, 1993).

Para compreender a importância relativa entre os seis parâmetros diante dos nove critérios, elaborou-se uma matriz, enviando-a, em seguida, a 53 pesquisadores (engenheiros-agrônomo e biólogos) ligados às áreas de irrigação, drenagem, ciências do solo, nutrição em plantas e conservação ambiental. Em sua avaliação, os pesquisadores atribuíram notas a cada par de elementos da matriz, numa escala de 1 a 5, a saber: 1: irrelevante; 2: não muito importante; 3: moderadamente importante; 4: muito importante e 5: extremamente importante. A partir dos valores obtidos, calcularam-se as médias aritméticas das alternativas em relação aos critérios.

Em virtude de as culturas apontadas ocuparem diferentes áreas na bacia hidrográfica, os critérios receberam pesos de acordo com tais dimensões, variando entre 1 e 9, em ordem de importância crescente. Para atribuir os diferentes pesos às culturas selecionadas, foi necessário ajustar, pelo menos, dois enfoques ou cenários. Para o primeiro enfoque, atribuíram-se pesos equivalentes, ou seja, 0,11, para as culturas. Nesse caso, considerou-se que todas apresentavam o mesmo grau de importância em relação à área irrigada. Para o segundo enfoque, aos maiores pesos fazia-se corresponder as culturas com maior área irrigada, conforme dados apresentados pelo DAEE (São Paulo, 1991).

O segundo passo foi a aplicação dos métodos Electre I e II, considerando-se os pesos adotados para os critérios e os valores médios das alternativas resultantes da opinião dos pesquisadores. Para tanto, elaborou-se uma "Matriz de Avaliação" (Quadro 1), cujos resultados permitiram a classificação das alternativas e análise de sensibilidade (Singer, 1983).

Estabeleceram-se, inicialmente, dois grupos de avaliação: no primeiro grupo de dados, foram considerados CF, pH, DBO, Cl e Nt, apresentados nos boletins da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), entre 1980 e 1985, e, no segundo grupo, considerou-se, além dos parâmetros citados, a CE para o período de 1986-91.

Na aplicação do Electre I, utilizaram-se os índices de concordância (C_{ij}) e discordância (D_{ij}), conforme a escala de valores estabelecida (equações 1, 2a e 2b):

$$C_{ij} = \sum_{k \in A(i,j)} W(k) \left[\sum_{k=1}^n W(k) \right]^{-1}; \text{ para } i \geq j \quad (1)$$

onde:

$W(k)$ = peso atribuído ao critério k , sendo
 $k = 1, 2, \dots, n$.

$A(i,j)$ = conjunto de critérios em que a alternativa i é preferida ou igual à j .

$$D_{ij} = \frac{\max_{k \in I, n} (Z_{jk} - Z_{ik})}{R^*} \quad (p/Z_{ik} < Z_{jk}) \quad (2a)$$

$$D_{ij} = 0 \quad (p/Z_{ik} \geq Z_{jk}) \quad (2b)$$

onde:

Z_{ik} = avaliação (nota) da alternativa i em relação ao critério k .

Z_{jk} = avaliação (nota) da alternativa j em relação ao critério k .

R^* = maior variação entre as notas da escala de valores da classificação das alternativas.

Nos cálculos de C_{ij} e D_{ij} , consideraram-se dois grupos de valores limites, p e q , como limites rígidos ($p^*=1$ e $q^*=0$) e, como conjunto de valores relaxados (p_i, q_i), de acordo com o grau de tolerância que o tomador de decisão está disposto a aceitar. Neste estudo, considerou-se $p_i = 0,78$ ou $p_i = 0,67$ e $q_i = 0,30$ para o 1.º enfoque do 1.º e 2.º grupo e $p_i = 0,74$ ou $p_i = 0,64$ e $q_i = 0,30$ para o 2.º enfoque do 1.º e 2.º grupo. Dessa estratégia, obtiveram-se gráficos de forte e fraca preferência, os quais apresentaram uma ordenação parcial das alternativas e matrizes de concordância e discordância, segundo a escala de valores limites adotada (Santos, 1991).

Para aplicação do Electre II, utilizaram-se, como dados de entrada, os dois gráficos de preferência gerados pelo Electre I. Desses dados, obtém-se a classificação avante e reversa, que, de forma iterativa, resulta na classificação final das alternativas, conforme descrito em Gershon et al. (1982) e Harris (1992).

Por intermédio da análise multicriterial, procedeu-se à ponderação dos parâmetros biológicos,

Quadro 1. Matriz de avaliação das alternativas (parâmetros de qualidade de água para irrigação) e critérios (tipos de culturas), de acordo com a opinião de especialistas

Alternativas ⁽¹⁾	Critérios ⁽²⁾								
	To	Ba	Fe	La	Mo	Pê	Al	Ce	Be
CF	4,409	3,591	3,136	3,091	4,545	3,864	4,636	4,273	4,000
pH	3,524	3,600	3,350	3,350	3,550	3,350	3,600	3,450	3,333
DBO	2,524	2,450	2,400	2,550	2,600	2,600	2,600	2,450	2,450
Cl	3,476	3,350	3,600	3,524	3,714	3,450	3,850	3,650	3,143
Nt	3,250	3,150	3,100	3,095	3,150	3,100	3,250	3,050	3,143
CE	3,727	3,636	3,954	3,864	4,182	4,045	4,045	4,045	3,273

⁽¹⁾ CF: coliforme fecal; pH: potencial hidrogeniônico; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cl: cloreto; Nt: nitrogênio total e CE: condutividade elétrica. ⁽²⁾ To: tomate; Ba: batata; Fe: feijão; La: laranja; Mo: morango; Pê: pêssego; Al: alface; Ce: cenoura e Be: beterraba.

físicos e químicos selecionados mediante a aplicação das equações (3) e (4):

$$\omega_i = n + 1 - r_j \quad (3)$$

$$r_j = \frac{\sum \cdot fr_j}{m} \quad (4)$$

onde:

ω_i = peso das variáveis;

n = número de variáveis;

r_j = classificação absoluta da variável j .

fr_j = classificação final da variável j ;

m = número de variáveis na mesma posição de classificação.

Pela equação (5), analisou-se a elasticidade dos pesos desses parâmetros (ω_i) em relação à variação dos pesos dos critérios, como sugerido por Singer (1983):

$$e_{\omega_i} = (\Delta\omega_i/\omega_i)/(\Delta R_i/R_i) \quad (5)$$

onde:

e_{ω_i} = elasticidade dos pesos das variáveis com respeito à variação dos pesos dos critérios.

$\Delta\omega_i$ = variação dos pesos das variáveis (parâmetros de qualidade de água);

ω_i = pesos das variáveis i ($i = 1, 2, \dots, n$);

ΔR_i = variação da classificação absoluta da variável i ;

R_i = classificação absoluta da variável i .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a matriz apresentada aos pesquisadores, em relação às seis alternativas e aos nove critérios adotados, as alternativas CF e DBO obtiveram, respectivamente, a maior e a menor média (Quadro 1). Observou-se, no entanto, grande variação de notas entre os dados fornecidos, indicando diferenças marcantes de opinião sobre as relações de importância entre parâmetros de qualidade de água para irrigação e tipos de culturas. Além disso, deve-se apontar que somente 49% das matrizes foram respondidas. Essas constatações são interpretadas como limitações do método, em função da estratégia do uso de ponderação subjetiva e da troca limitada de informações entre os pesquisadores, também já constatadas entre aqueles que trabalham com técnicas de questionamento (Conyers & Hills, 1987). Por essas limitações, é preciso atentar que o método deve ser interpretado como uma ferramenta auxiliar para seleção de alternativas ou critérios quando a bibliografia não contribui satisfatoriamente para a tomada de decisão.

Os valores dos pesos dos critérios atribuídos sob dois diferentes enfoques constam no quadro 2: verifica-se que, uma vez considerada a área irrigada, as culturas de batata, feijão e tomate apresentam os maiores índices de importância para as diferentes áreas da bacia hidrográfica.

A aplicação do método Electre I, que efetua a classificação parcial das alternativas, resultou em matrizes de concordância e discordância dentro dos limites estabelecidos, isto é, $C_{ij} > p$ e $D_{ij} < q$.

Quadro 2. Dados de pesos dos critérios (W_j) para as culturas estudadas

Enfoque ⁽¹⁾	Culturas ⁽²⁾								
	To	Ba	Fe	La	Mo	Pe	Al	Ce	Be
	Pesos ^(Wj)								
1. ^o	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2. ^o	0,16	0,20	0,18	0,04	0,10	0,02	0,10	0,10	0,10

⁽¹⁾ 1.^o enfoque = culturas de mesma importância em função da área irrigada ocupada na bacia hidrográfica do rio Piracicaba; 2.^o enfoque = culturas de importância diferenciada. ⁽²⁾ To: tomate; Ba: batata; Fe: feijão; La: laranja; Mo: morango; Pe: pêssego; Al: alface; Ce: cenoura e Be: beterraba.

Quadro 3. Matrizes de concordância e discordância das alternativas⁽¹⁾, para o 1.º enfoque do 1.º grupo

Alternativas	Matriz de concordância					Matriz de discordância				
	CF	pH	DBO	Cl	Nt	CF	pH	DBO	Cl	Nt
CF	-	0,66	1,00	0,77	0,88	-	0,06	0	0,11	0,001
pH	0,33	-	1,00	0,33	1,00	0,25	-	0	0,06	0
DBO	0	0	-	0	0	0,50	0,28	-	0,31	0,18
Cl	0,22	0,66	1,00	-	1,00	0,23	0,06	0	-	0
Nt	0,11	0	1,00	0,11	-	0,34	0,11	0	0,15	-

(¹) CF: coliforme fecal; pH: potencial hidrogeniônico; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cl: cloreto e Nt: nitrogênio total.

O quadro 3 exemplifica essas matrizes, através dos resultados para o 1.º enfoque do 1.º grupo. O gráfico de forte preferência (Figura 1a), que obedece aos princípios de rigidez máxima, mostra que as alternativas CF, pH e Cl não sofreram dominação de nenhuma outra. No gráfico de fraca preferência (Figura 1b), elas também não foram dominadas. De acordo com o método adotado, essas três são, portanto, as preferidas, com 78% de concordância e 30% de discordância.

A aplicação do Electre II permitiu a definição da ordem de preferência, segundo a classificação avante e reversa (Quadro 4), e a classificação final das alternativas encontra-se no quadro 5.

Determinaram-se oito hierarquizações, ou seja, oito soluções de classificação final de alternativas de acordo com os enfoques e grupos estabelecidos (Quadro 6). Seriam, portanto, as oito possíveis soluções a apresentar ao tomador de decisão preocupado com a questão da irrigação na bacia hidrográfica do rio Piracicaba. No entanto, esses dados serão mais confiáveis à medida que se analisa a sensibilidade dos resultados mediante a avaliação da robustez do modelo. Por essa razão, estabeleceu-se mudança nos pesos dos critérios, podendo-se notar que, para o 1.º grupo de avaliação, a alternativa CF se classificou em primeiro lugar e a DBO em último, para ambos os enfoques. Já para o 2.º grupo de avaliação, a primeira e a última classificação corresponderam, respectivamente, às alternativas CE e DBO, para ambos os enfoques.

Quadro 4. Classificação avante e reversa das alternativas (¹) para o 1.º enfoque do 1.º grupo ($\pi_i = 0,78$ e $q_i = 0,30$)

F ^A	Classificação avante ⁽²⁾		
	f ^A	F ^A ∩ f ^a	V ^A
CF, pH, Cl	CF, pH, Cl	CF, pH, Cl	1
Nt	Nt	Nt	2
DBO	DBO	DBO	3

F ^R	Classificação reversa ⁽³⁾		
	f ^R	F ^R ∩ f ^R	V ^R ₁ - V ^R
DBO	DBO	DBO	1 - 3
CF, Nt	Nt	Nt	2 - 2
CF, pH, Cl	CF, pH, Cl	CF, pH, Cl	3 - 1

(¹) CF: coliforme fecal; pH: potencial hidrogeniônico; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cl: cloreto; Nt: nitrogênio total e CE: condutividade elétrica. (²) F^A: seleção das alternativas no gráfico de forte preferência da classificação avante. f^A: seleção das alternativas no gráfico de fraca preferência da classificação avante. F^Af^a: processo iterativo entre gráfico de forte e fraca preferência da classificação avante. V^A: classificação das alternativas de classificação avante. (³) F^R: seleção das alternativas no gráfico de forte preferência da classificação reversa. f^R: seleção das alternativas no gráfico de fraca preferência da classificação reversa. F^Rf^R: processo iterativo entre gráfico de forte e fraca preferência da classificação reversa. V^R₁ - V^R: classificação das alternativas de classificação reversa.

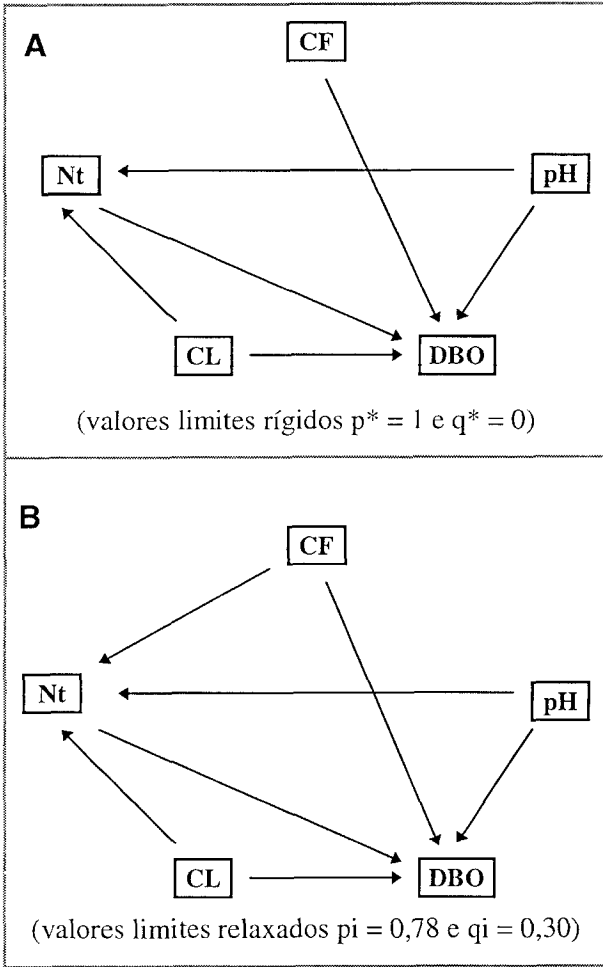


Figura 1. A: Gráfico de forte preferência (GF) e B: de fraca preferência (Gf) para o 1.º enfoque do 1.º grupo das alternativas. CF: coliforme fecal; pH: potencial hidrogeniônico; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cl: cloreto e Nt: nitrogênio total.

Quadro 5. Classificação final das alternativas (1) para o 1.º enfoque do 1.º grupo ($p_i = 0,78$ e $q_i = 0,30$)

Classificação (2)	CF	pH	DBO	Cl	Nt
V ^A	1	1	3	1	2
V ^R ₁	1	1	3	1	2
V _m	1	1	3	1	2

(1) CF: coliforme fecal; pH: potencial hidrogeniônico; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cl: cloreto; Nt: nitrogênio total e CE: condutividade elétrica. (2) V^A: classificação das alternativas de classificação avante. V^R₁: classificação das alternativas de classificação reversa. V_m: classificação final.

Quadro 6. Classificação final das alternativas de acordo com o 1.º e 2.º enfoque, do 1.º e 2.º grupo e valores limites (p, q)

Classificação final (1)	Enfoque	Grupo	Valores limites (p, q)
CF pH—Nt—DBO Cl 1.º 2.º 3.º	1.º	1.º	0,78 e 0,30
CF—pH—Cl—Nt—DBO 1.º 1,5.º 2.º 3.º 4.º	1.º	1.º	0,67 e 0,30
CF—pH—Cl—Nt—DBO 1.º 1,5.º 2.º 3.º 4.º	2.º	1.º	0,74 e 0,30
CF—pH—Cl—Nt—DBO 1.º 1,5.º 2.º 3.º 4.º	2.º	1.º	0,64 e 0,30
CE—CF— Cl pH 1.º 1,5.º 2.º 3.º 4.º	1.º	2.º	0,78 e 0,30
CF Cl -----Nt—DBO CE pH 1.º 2.º 3.º 4.º	1.º	2.º	0,67 e 0,30
CF Cl -----Nt—DBO CE pH 1.º 2.º 3.º 4.º	2.º	2.º	0,74 e 0,30
CF Cl -----Nt—DBO CE pH 1.º 2.º 3.º 4.º	2.º	2.º	0,64 e 0,30

(1) CF: coliforme fecal; pH: potencial hidrogeniônico; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cl: cloreto; Nt: nitrogênio total e CE: condutividade elétrica.

As restantes, em posição intermediária, apresentaram ordens de importância quase invariáveis. Assim, pelo método aplicado, conclui-se que CF e CE são os melhores indicadores para avaliação da qualidade de água para culturas irrigadas na área. Esse resultado final tem respaldo na literatura, uma vez que, por um lado, os estudos enfatizam os riscos à saúde humana, provocados por coliformes fecais e, por outro, apontam, comumente, a condutividade elétrica como primeiro parâmetro para avaliar as condições adversas da água para irrigação e para indicar práticas de manejo, como a lixiviação do solo e a seleção de culturas (Ayers & Westcot, 1985).

Deve-se enfatizar que, de modo geral, mesmo com as mudanças de peso, não se observaram alterações importantes na classificação final, indi-

cando que a solução encontrada é robusta e pouco vulnerável. Conforme evidencia o quadro 7, os pesos das alternativas, para ambos os enfoques e grupos, apresentam uma variação muito pequena, ao redor de 0,1.

O quadro 8 revela a avaliação da elasticidade desses pesos, mostrando que às alternativas de menor peso corresponde maior elasticidade. Singer (1983) também encontrou tal resultado para parâmetros de qualidade de água, alertando que os parâmetros com sensibilidade às mudanças de pesos dos critérios eram vulneráveis à sua mudança. No caso deste estudo, observou-se o mesmo em relação ao parâmetro DBO, que recebeu o menor peso e, então, deve ser excluído da avaliação de qualidade de água para irrigação da área, uma vez que não interfere no seu valor final.

Quadro 7. Pesos das alternativas (ω_i) para o 1.º e 2.º enfoque do 1.º grupo (1980-85) e do 2.º grupo (1986-91)

Alternativas (¹)	1.º Enfoque				2.º Enfoque			
	Classificação		Peso		Classificação		Peso	
	$\pi_i = 0,78$	$= 0,67$	$\omega_i = 0,78$	$= 0,67$	$\pi_i = 0,74$	$= 0,64$	$\omega_i = 0,74$	$= 0,64$
1.º Grupo								
CF	1	1	0,227	0,271	1	1	0,271	0,271
pH	1	1,5	0,227	0,243	1,5	1,5	0,243	0,243
DBO	3	4	0,137	0,108	4	4	0,108	0,108
Cl	1	2	0,227	0,216	2	2	0,216	0,216
Nt	2	3	0,182	0,162	3	3	0,162	0,162
2.º Grupo								
CF	1,5	1	0,193	0,207	1	1	0,207	0,207
pH	2	2	0,176	0,172	2	2	0,172	0,172
DBO	4	4	0,105	0,104	4	4	0,104	0,104
Cl	2	2	0,176	0,172	2	2	0,172	0,172
Nt	3	3	0,140	0,138	3	3	0,138	0,138
CE	1	1	0,210	0,207	1	1	0,207	0,207

(¹) CF: coliforme fecal; pH: potencial hidrogeniônico; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cl: cloreto; Nt: nitrogênio total e CE: condutividade elétrica.

Quadro 8. Elasticidade dos pesos das alternativas para o 1.º e 2.º enfoque, onde $\pi_i = 0,78$ e 0,67 ou 0,74 ou 0,64 do 1.º e 2.º grupo

Alternativas ⁽¹⁾	Pesos ⁽²⁾				
	$\Delta\omega_i$	ω_i	ΔR_i	R_i	e_{ω_i}
1.º Grupo					
CF	-0,044	0,227	0	1	-
pH	-0,016	0,227	-0,500	1	0,141
DBO	0,029	0,137	-1,000	3	-0,635
Cl	0,011	0,227	-1,000	1	-0,048
Nt	0,020	0,182	-1,000	2	-0,220
2.º Grupo					
CF	-0,014	0,193	0,500	1,5	-0,218
pH	0,004	0,176	0,000	2	-
DBO	0,001	0,105	0,000	4	-
Cl	0,004	0,176	0,000	2	-
Nt	0,002	0,140	0,000	3	-
CE	0,003	0,210	0,000	1	-

(¹) CF: coliforme fecal; pH: potencial hidrogeniônico; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Cl: cloreto e Nt: nitrogênio total.

(²) $\Delta\omega_i$: variação dos pesos das alternativas; ω_i : pesos das alternativas; ΔR_i : variação da classificação absoluta de alternativas; R_i : classificação absoluta das alternativas e e_{ω_i} : elasticidade dos pesos das alternativas.

4. CONCLUSÃO

Pela aplicação do método Electre I e II, tendo a bacia hidrográfica do rio Piracicaba como área de referência, considerou-se que os parâmetros coliforme fecal e condutividade elétrica foram os indicadores mais adequados para avaliação da qualidade de água para irrigação. Acrescente-se que o parâmetro coliforme fecal apresentou-se, numa escala hierárquica, sempre em primeiro lugar, independentemente das variações de enfoques estabelecidos. Nas mesmas condições, a alternativa DBO revelou-se como um parâmetro a ser descartado, dada sua ordem de preferência na classificação estipulada pelo método.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. *Water quality for agriculture*. Rome, FAO, 1985. 174p. (Paper 29, rev.1)

BENAYOUN, R.; ROY, B. & SUSSMAN, B. *Electre: une méthode pour guider le choix en presence de points de multiples*. Paris, SEMA, 1966. n.p. (Note de Travail, 49)

CONYERS, D. & HILLS, P. *An introduction to development planning in the third world*. Chichester, John Wiley & Sons, 1984. 271p.

DOTTO, S.E. *Índice de qualidade de água para culturas irrigadas*. Campinas, 1993. 229p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - FEC-UNICAMP, 1993.

FRICKE, G.T.; NOUR, E.A.A. & SINGER, E. da M. Análise multicriterial da bacia do Rio Piracicaba através das metodologias ELECTRE I e ELECTRE II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTE, 15. Belém do Pará, 1989. *Anais*. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1989. 2v., p.193-208.

GERSHON, M.; DUCKSTEIN, L. & McANIFF, R. Multiobjective river basin planning with qualitative criteria. *Water Resources Research*, Washington, 18(2):193-202, 1982.

HARRIS, V. *Análise multicriterial na determinação de sítios potenciais para aproveitamentos hidrelétricos reversíveis*. Campinas, 1992. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - FEC-UNICAMP, 1992.

HARRIS, V. & SINGER, E. da M. Reduzindo a subjetividade da ponderação de critérios na análise multicriterial para recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., e SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, 5. Rio de Janeiro, 1991. *Anais*. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)/Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH), 1991. 2v., p.493-501.

ROY, B. & BERTIER, P. *La methode ELECTRE II*. Paris, SEMA Groupe Metra, 1971. 46p. (Note de Travail, 142)

SANTOS, V.F. dos. *Estudos das alternativas para conservação de água no setor residencial da cidade de Limeira-SP*. Campinas, 1991. 160p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - FEC-UNICAMP, 1991.

SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Programa: Cadastro de Irrigante: 1.ª Etapa (Bacia do Piracicaba). São Paulo, DAEE, 1991. 33p.

SINGER, E.da M. *Development and application of a new methodology for water quality indices: a multiobjective approach*. Vanderbilt, 1983. 185p. Dissertation (Degree of Doctor), University of Tennessee, 1983.