

AVALIAÇÃO EM GRUPO PARA MANUTENÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Flavio Trojan

UFPE– Universidade Federal de Pernambuco /
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária – Recife - PE /
Av Monteiro Lobato, s/n - Km 04 - Campus Ponta Grossa – PR
trojan@utfpr.edu.br

Danielle Costa Morais

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária – Recife - PE
dcmorais@ufpe.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo auxiliar na tomada de decisão em grupo no setor de manutenção de redes de água, através de um modelo que utiliza a aplicação do método ELECTRE II, na primeira fase, a fim de obter a ordenação das alternativas sob o ponto de vista individual dos membros do grupo, e do método ELECTRE IV, na segunda fase, a fim de agregar as ordenações individuais e obter a priorização de alternativas sob o ponto de vista do grupo. Fornece como resultado aos decisores uma visão global sobre quais alternativas poderão atender os múltiplos objetivos estabelecidos pela empresa, decorrentes das preferências de um grupo de decisores de diferentes áreas, tais como: manutenção de redes, produção, planejamento, administração e comercial. Assim é possível conhecer as alternativas de maiores potenciais e fazer uma agregação das preferências em uma ordenação global que representa a preferência do grupo de decisores.

PALAVRAS CHAVE. Decisão Multicritério, ELECTRE II-IV, Decisão em grupo.

ABSTRACT

This paper aims to assist the group decision-making in the maintenance area of the water networks, using a model that uses the application of the methods ELECTRE II, the first phase, in order to obtain the ordering of alternatives from the standpoint of individual group members, and ELECTRE IV, the second phase in order to aggregate the individual ordinances and get the prioritization of alternatives from the point of view of the group. As result provides to the decision makers a clearer and comprehensive vision in which the alternatives could attend the multiple objectives set by companies, arising from the preferences of a decision makers group from different areas such as: network maintenance, production, planning, administration and business. Thus, it is possible to know the greater potential alternatives aggregate the preferences to a global ordering that represents the choice of the decision makers group.

KEYWORDS. Multicriteria decision, ELECTRE II-IV, Decision Group.

1. Introdução

As questões relacionadas com priorização de alternativas ou tomadas de decisões nas empresas em geral, estão sempre ligadas a conflitos de preferências entre os gestores e a diferentes interesses em atender objetivos distintos. O fato de existir mais de um decisor em um processo qualquer de escolha de prioridades implica que, conseqüentemente conflitos existirão. Sejam eles em relação às prioridades ou atendimento aos objetivos. Ainda sim, quando se considera um número elevado de alternativas e critérios que devem ponderar as decisões, essas questões tendem a ficar mais complexas. Porém, atualmente muitas técnicas de apoio à decisão multicritério tem sido aplicadas para auxiliar na resolução de problemas de diversas áreas, que apresentam características tanto subjetivas quanto conflitantes.

No setor de manutenção do abastecimento público de água as divergências podem se tornar ainda maiores, pois os decisores estão envolvidos com questões ambientais e econômicas ao mesmo tempo. Assim o que pode ser uma alternativa ideal para um gestor (decisor) num determinado espaço de tempo, pode não agradar a outro e ser uma alternativa não muito atrativa. Então, decidir sobre quais caminhos o setor de manutenção deve seguir é uma tarefa difícil, pois os gestores das áreas correlatas são afetados diretamente pelas conseqüências das decisões, e por esse motivo eles também devem ser envolvidos no processo decisório. Além disso, os problemas enfrentados pelos sistemas de abastecimento de água das grandes cidades e alguns fatores que ajudam a agravar ainda mais o contexto abordado são: o crescimento populacional, grandes períodos de estiagem, o uso irracional da água, principalmente pela carência de manutenção planejada e em algumas vezes até da inadequada operação dos sistemas de tratamento e distribuição, o que provoca a elevação dos índices de perdas por constantes danos nas tubulações.

Historicamente, quando existem perdas elevadas num sistema de abastecimento é muito mais econômico aperfeiçoar, racionalizar a utilização da água e realizar manutenção continuamente para manter o sistema em ordem, do que construir novos sistemas de abastecimento, que certamente acarretarão em elevados custos de instalação, além de impacto ambiental. Desse modo, gerentes e responsáveis pelo planejamento e pelas decisões no saneamento básico, procuram integrar os recursos disponibilizados com os objetivos das empresas, contudo, na maioria das vezes eles não têm acesso a modelos específicos de apoio à tomada de decisão e ferramentas apropriadas para utilização e auxílio a essas decisões.

Este trabalho desenvolve um modelo que se utiliza dos métodos de apoio à decisão multicritério da família ELECTRE com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão em um grupo de decisores que representam setores diferenciados dentro das empresas, porém correlatos, tais como: manutenção de redes, produção, planejamento, administração e comercial. Visa melhorar os procedimentos de priorização de alternativas, decorrentes da melhor alternativa para um grupo de decisores para também manter a qualidade dos serviços de abastecimento de água para a população, interligada às redes de distribuição. O estudo considera: alternativas e critérios relevantes envolvidos na problemática e as ações possíveis, definidas pela alta diretoria da empresa e posteriormente cada componente de um grupo de decisores avalia individualmente as alternativas a luz dos critérios. Com o auxílio dos métodos aplicados e, levando em consideração apenas as ações com maiores potenciais (mais preferenciais), é possível fazer a agregação das preferências e se chegar a uma ordenação final que representa a escolha do grupo de decisores.

2. Descrição do problema

Marques e Gasparini (1995) apontam que todo sistema de produção e distribuição de água pelo simples fato de existir, está sujeito a perdas. No Brasil o problema é mais grave, pois o nível de perda aceitável gira em torno de 20% em sistemas de pequeno porte, e 30% em sistemas de grande porte. Segundo o SNIS (2008) a perda média por ano é de 37% relativa ao volume de água desperdiçada no País. Por este motivo surgem, a necessidade e a urgência de se tomar corretas decisões na aplicação de medidas preventivas e reparadoras, para que se tenha no mínimo a operação do sistema de distribuição com níveis de perdas iguais ou abaixo de um nível aceitável, visando assim prolongar a oferta do recurso natural, e diminuir impactos ao meio ambiente. Porém para atingir esses objetivos, são encontradas muitas dificuldades nas tomadas de

decisões no que diz respeito à escolha ou priorização dos processos de manutenção a serem implantados num sistema de distribuição de água, por se tratarem de avaliações de aspectos subjetivos em alguns casos e objetivos em outros, normalmente com critérios conflitantes entre si. Isso pode ficar ainda mais complexo, se considerar que a melhor decisão deve ser resultado das preferências de um grupo de gestores e sujeita a vários critérios a serem ponderados. Tudo isso sempre visa à melhoria na rede de distribuição e combate ao desperdício. Assim fica claro a necessidade da aplicação de um método multicritério de trabalho, que considera, tanto critérios objetivos como os subjetivos de forma igual, dando o auxílio necessário aos decisores e aos grupos de decisores, nas alternativas a serem priorizadas.

Segundo Raiffa (1982), existem conflitos em todas as áreas que se possa imaginar e muitas maneiras de resolver esses conflitos, tais como: as tradições, os regulamentos, os tribunais, os mercados e as negociações. Há uma arte e uma ciência da negociação. Pelo lado da ciência uma análise sistemática para resolver o problema e pela arte as habilidades de relacionamento interpessoal, capacidade de convencer e de ser convencido e as habilidades de negociar. A arte da negociação tem sido bem documentada ao longo dos séculos, a ciência, por outro lado, não está bem desenvolvida, e o que tem sido desenvolvido, não é muito acessível.

Assim, este trabalho se apoiará na construção de um modelo em que os decisores não serão expostos a negociações ou resolução de conflitos diretos entre eles. Através de técnicas multicritério cada decisor fará priorizações, conforme a sua preferência e posteriormente essas priorizações serão comparadas entre si para gerar uma decisão global e consensual.

3. Avaliação multicritério em grupo

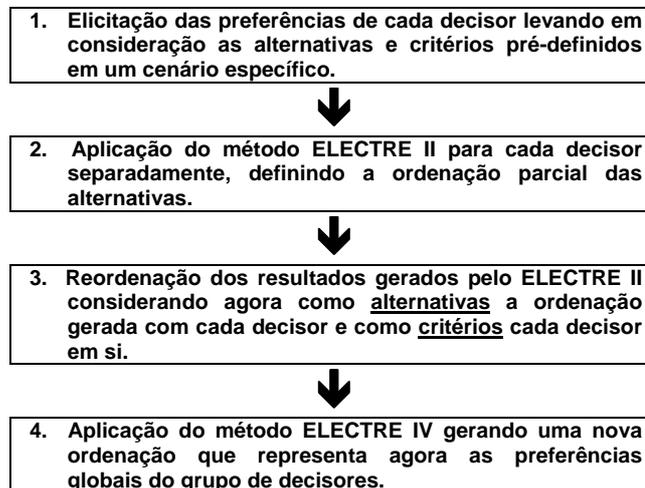
A análise multicritério é uma técnica para estruturar e analisar as decisões complexas, que envolvem múltiplos critérios, alguns dos quais em conflito entre si, e para produzir ações, cujas consequências têm impactos econômicos, sociais e ambientais (HAJKOWICZ et al., 2008). Hajkowicz e Collins (2007) identificaram oito áreas de aplicação relacionadas ao contexto: gestão da bacia hidrográfica, a gestão de águas subterrâneas; seleção infra-estrutura, a avaliação do projeto, alocação de água; política da água e do planejamento do abastecimento, gestão de qualidade da água e gestão de áreas marinhas protegidas.

Segundo Vincke (1992), existem alguns métodos e técnicas multicritério, dentre eles, pode-se identificar: os modelos aditivos, que geram um critério único de síntese (*Multiple Attribute Utility Theory* – MAUT; *Analytic Hierarchy Process* - AHP) e os métodos de sobreclassificação, ou *outranking methods* (Electre e Promethee). Esses modelos e métodos seguem duas principais vertentes, a *Multiple Criteria Decision Making* – MCDM e a *Multicriteria Decision Aid* – MCDA. A adoção de um desses modelos é normalmente justificada por argumentos ditados pela natureza do problema a analisar. A mais conhecida família de métodos de Subordinação é a família ELECTRE (*Elimination Et Choice Traidusaint la REALité*). Atualmente, a família ELECTRE é composta dos seguintes métodos: ELECTRE I (Roy, 1968), ELECTRE II (Roy e Bertier, 1971), ELECTRE III (Roy, 1978), ELECTRE IV (Roy e Hugonnard, 1981), ELECTRE IS (Roy e Skalka, 1985) e ELECTRE TRI (Yu, 1992).

Neste trabalho, os esforços se concentraram nas idéias estudadas mais especificamente, pelos métodos ELECTRE II e IV, para auxílio ao modelo proposto, pelo fato de que eles objetivam ordenações derivadas da preferência pela maioria e apresentam uma característica não compensatória entre os critérios. Os métodos PROMETHEE I, II e III também podem ser utilizados na fase de ordenação individual. Ao final desta fase, é verificado se há concordância quanto aos resultados dos métodos para o decisor considerado. O resultado da primeira fase é uma pré-ordem completa das alternativas para cada decisor. Na fase de agregação (grupo de decisores), um ordenamento coletivo das alternativas é obtido. Neste estágio, cada decisor pode fazer algumas medições de semelhanças ou diferenças entre o seu *ranking* e o do grupo, bem como com o dos demais decisores. O ELECTRE IV é utilizado em casos em que existe uma família de pseudo-critério. Sua principal característica está relacionada com a não utilização de uma ponderação em relação à importância relativa dos critérios.

3.1 Diagrama de Síntese da Avaliação

O diagrama a seguir mostra uma síntese do modelo com a percepção das etapas seguidas, juntamente com a aplicação dos métodos multicritérios de apoio. Nele é possível visualizar uma sequencialização de etapas e tarefas que devem ser cumpridas para a eficiência do modelo desenvolvido.



Primeiramente, será aplicado o método ELECTRE II de forma individual aos membros do grupo envolvidos na decisão, com o objetivo de obter as ordenações baseadas nas preferências individuais, as quais também representam diferentes áreas da empresa. Os resultados apresentados por este método serão considerados como dados de entrada para a segunda fase do modelo. Posteriormente, será aplicado o método ELECTRE IV, o qual terá como critérios os membros do grupo (decisores) e como desempenho das alternativas, a ordenação gerada pelo ELECTRE II, feita para cada decisor. Assim, será possível a agregação as preferências e também uma nova ordenação, representando as preferências globais do grupo de decisores.

Alencar et al. (2010) propõe uma aplicação dos referidos métodos considerando decisores de empresas contratantes, empresas de consultoria e engenharia a luz dos critérios de custo, cultura, *design*, qualidade, tempo e experiência.

3.2 O método ELECTRE II

O método ELECTRE II, no seu processo de análise, decompõe os objetivos em critérios. As comparações entre alternativas são feitas no último nível de decomposição e aos pares, através do estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores, buscando uma ordenação do conjunto de alternativas potenciais, através do conceito de dominância. É um método não-compensatório que requer informações intercritério correspondente a relativa importância entre os vários objetivos, ou seja, pesos dos critérios. Esses pesos podem ser decorrentes de cálculos técnicos ou de expressões de julgamento de valor. Assim, esses métodos favorecem as ações mais balanceadas, que possuem melhor performance média. O ELECTRE II pela forma como as relações de sobreclassificação são exploradas, tem como meta ordenar ações da melhor para a pior, através dos conceitos de Índice de Concordância – $C(a, b)$, Índice de Discordância – $D(a, b)$, Limiar de Concordância – p , Limiar de Discordância – q e Relações de Sobreclassificação (VINCKE, 1992; ROY, 1996).

Segundo Vincke (1992), para cada critério é atribuído um peso p_j que cresce com a importância do critério, e para cada par ordenado (a, b) de ações é associado índices para a construção da relação de sobreclassificação. Assim, a concordância entre duas alternativas a e b é uma medida ponderada do número de critérios sob os quais a alternativa a é preferida ou equivalente à alternativa b . Este método ainda explora dois níveis de sobreclassificação: uma forte (S^F) e uma fraca (S^f) e para isso considera alguns parâmetros (p^* , q^* , p^0 , q^0) que servirão

como fronteiras de concordância e discordância necessárias à identificação dos relacionamentos de dominância. O método ELECTRE II fornece uma ordenação completa das alternativas através da construção de duas pré-ordens completas, uma descendente, das melhores alternativas para as piores (*RankS*) e outra reversa, construída a partir das menos favoráveis em direção as melhores (*RankW*). A partir da ordem reversa, é realizada a ordenação fraca, considerando a seguinte fórmula proposta por Olson (1996):

$$Rank\ W = 1 + \text{número de interações} - \text{ordem reversa da alternativa em questão.}$$

Segundo Vincke (1992), as duas pré-ordens obtidas, em geral, não são as mesmas e deve ser oferecido ao decisor uma pré-ordem mediana ($RankM = (RankS + RankW) / 2$), sendo sua posição a identificação de sua ordem de preferência.

3.3 O método ELECTRE IV

Em todos os métodos da família ELECTRE, pesos são diretamente utilizados no cálculo dos índices de concordância global, com exceção do método ELECTRE IV, que é atualmente a única versão que não necessita de pesos. O método é semelhante ao ELECTRE III: ele usa uma representação *fuzzy* de critérios para ambas as concordâncias e discordâncias. Dependendo da magnitude de $g_j(a_k) - g_j(b_i)$, em comparação com um conjunto de valores limite pré-definidos, a alternativa b_i pode ser estritamente, fraca, e dificilmente terá preferência sobre a alternativa a_k , ou vice-versa. A principal diferença é que no ELECTRE IV, em vez de usar o valor de uma função de filiação, o valor dos critérios nas diferentes categorias de sobreclassificações que é usado. Um conjunto de graus de credibilidade similar ao ELECTRE III é definido para classificar as alternativas com base na subida e descida de processos de destilação. O método pode ser particularmente útil quando o decisor não é capaz de atribuir um conjunto de pesos às preferências e refletir as necessidades específicas de um determinado problema de decisão (MILANI *et al.*, 2005). Pena *et al.* (2007) demonstra que o algoritmo do ELECTRE IV para o cálculo dos índices de Concordância, Discordância e Credibilidade é similar ao ELECTRE III, assim como o processo de ordenação através das destilações ascendente e descendente.

3.4 Vantagens e aplicações dos métodos ELECTRE

Para Vincke (1992) a diferença entre os métodos *outranking* está na maneira de formalizar toda a definição difusa inerente a cada modelo. As principais características da família dos métodos ELECTRE são resumidas na tabela 1 a seguir:

Métodos ELECTRE	ELECTRE I	ELECTRE II	ELECTRE III	ELECTRE IV
1. Tipo de critério	Verdadeiro critério	Verdadeiro critério	Pseudo critério	Pseudo critério
2. Informação adicional das preferências	- pesos - nível de concordância - nível de discordância	- pesos - nível de concordância - conjuntos de discordância	- pesos	-
3. Necessidade de uma quantificação da importância relativa dos critérios	Sim	Sim	Sim	Não
4. Possibilidade de levar em consideração limiares de indiferença e/ou preferência	Não	Não	Sim	Sim
5. Relação <i>Outranking</i>	Determinística	Determinística	Difusa	Determinística forte, fraca
6. Informação final	Núcleo	Pré-ordem parcial	Pré-ordem parcial	Pré-ordem parcial

Tabela 1 – Comparação e vantagens entre os métodos ELECTRE

Segundo Roy (1996), o ELECTRE I deveria ser escolhido somente se fosse verdadeiramente essencial trabalhar com um modelo muito simples, e se é uma questão realista considerar um limiar de preferência e outro de indiferença, iguais a zero.

O ELECTRE II é o segundo método desta família desenvolvido entre 1971-1972. Como no caso anterior deve ser selecionado somente se é requerido simplicidade e se é uma questão realista considerar $p_j = q_j = 0$.

O ELECTRE IV é o mais recente da família ELECTRE e foi desenvolvido em 1982 no âmbito da problemática de ordenação. Ele é apropriado para os casos nos quais não se está disposto a introduzir informação adicional sobre o papel específico de cada critério no procedimento de agregação. Assim o presente trabalho considerou as particularidades presentes em cada método da família ELECTRE e enquadrando as aplicações para se chegar ao objetivo proposto de agregação das avaliações de um grupo de decisores.

4. Estudo de Caso

Nesta etapa do trabalho será demonstrada a aplicação do modelo de apoio a decisão, composto por duas fases, em um caso genérico de uma rede de distribuição de água que sofre com a precária implantação da manutenção e com perdas e prejuízos, levando em consideração as alternativas potenciais.

4.1 Caracterização do problema

Na manutenção de redes do saneamento básico os cenários tendem a serem variados. Neste estudo considerar-se-á uma das situações de maior frequência no funcionamento das empresas de saneamento. Um cenário em que as alternativas e critérios são definidos por um único decisor (representado pelo governo ou diretores da empresa), que é quem possui os recursos necessários para a materialização das ações. Assim, o grupo de decisores terá alternativas e critérios pré-definidos e deverá revelar suas preferências, conforme a necessidade da sua área de atuação, dentro do contexto apresentado à ele para a ordenação e priorização das alternativas. Contudo, será necessário conhecer não apenas as preferências de um ou outro decisor isoladamente, mas as preferências do grupo de decisores.

4.2 Aplicação do Método ELECTRE II

Num primeiro momento, faz-se a elicitación sobre quais estratégias ou ações podem ser definidas pelos governantes para atingir os objetivos separadamente e que definem quais alternativas vão gerar o resultado esperado para os objetivos. Essas estratégias ou ações são elencadas com base em dados estatísticos do sistema, na experiência dos governantes ou até mesmo com base na vontade política ou disponibilidade de financiamentos públicos destinados ao setor. Assim, as estratégias apresentadas ao grupo de decisores para solucionar os problemas levantados na manutenção de redes são, conforme o quadro 1:

Estratégia A	Redução do índice de Perdas
A1	Redução de pressão nas redes de distribuição;
A2	Realização de Setorização de Pressão e Manobra;
A3	Automação (Monitoramento de pressão e vazão nas redes).
Estratégia B	Crescimento Econômico
B1	Ações de manutenção preventiva, redução dos custos com manutenção;
B2	Investimentos em novos materiais, redução de vazamentos.

Quadro 1 – Estratégias e ações de intervenção

Com o conhecimento das estratégias pode-se ter uma combinação das ações que visam atender aos objetivos. Essa combinação traz soluções viáveis para ambos os objetivos, porém não poderá atender um ou outro em sua plenitude. Então a(s) alternativa(s) que será(ão) encontrada(s) representará(ão) o nível de confiança que o grupo tem na combinação de ações que

pode ajudar a atingir os objetivos, sem que sejam donimadas pelas demais alternativas. Foram escolhidas algumas das principais combinações para esta aplicação e que estão listadas no Quadro 2.

Alternativas	Ações
a1	A1B1
a2	A1B2
a3	A2B1
a4	A2B2
a5	A3B1
a6	A3B2

Quadro 2 – Alternativas de solução

O cenário apresentado foi baseado no trabalho idealizado em Trojan et al. (2010), onde foram definidas metas, alternativas viáveis e critérios por um único decisor, representando a alta administração da empresa, através de um processo de elicitação.

O motivo é demonstrar as limitações a que está sujeito o grupo de gestores quando os diretores da empresa definem o que é possível realizar (alternativas) e o que vai ponderar as decisões (critérios).

Este cenário é comumente encontrado nas atividades das empresas de saneamento, que na sua maioria são públicas ou de economias mistas, e os investimentos são determinados pelos sócios, diretores ou governantes. Contudo, o papel do grupo é decidir sobre a ordenação das alternativas pré-definidas e, com base nos resultados, na elaboração de planos de ação para execução dessas alternativas.

Os critérios pré-estabelecidos podem ser alterados pelos decisores em seus respectivos pesos, pois auxiliarão para avaliar cada alternativa individualmente, permitindo a comparação entre elas à luz de um determinado critério levando em conta a percepção do decisor sobre a importância do critério.

Os critérios e seus respectivos pesos estão elencados no quadro 3 e tabela 2.

Critérios de Avaliação		Medida	Especificação
Critérios Ambientais	C1. Índice de Perdas Físicas;	%	Percentual de perdas;
	C2. Número instalados de setores de manobra;	Subjetiva	Varição do Número de setores;
	C3. Nível de automação do sistema.	%	Percentual implantado.
Critérios Econômicos	C4. Custo com manutenção corretiva;	Subjetiva	Varição do valor monetário da manutenção;
	C5. Custo com investimento em treinamento e programas de manutenção preventiva;	Subjetiva	Varição do valor monetário do investimento em manutenção.

Quadro 3 – Critérios de avaliação

PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO		Pesos			
Objetivo Principal	Critérios de Avaliação	Dec-1	Dec-2	Dec-3	Dec-4
Objetivos Ambientais	C1	0,4	0,3	0,3	0,3
	C2	0,2	0,2	0,2	0,2
	C3	0,2	0,3	0,1	0,3
Objetivos Econômicos	C4	0,1	0,1	0,2	0,1
	C5	0,1	0,1	0,2	0,1

Tabela 2 – Pesos dos critérios de avaliação

Para a definição dos índices de discordância da aplicação do método ELECTRE II foram especificados os valores máximos e mínimos de escala dos critérios para a construção da Matriz de Avaliação das Alternativas, conforme apresentado na Tabela 3:

Critérios	Níveis	Escala Numérica
C1 (%)	< 20	1,00
	de 20 a 40	0,75
	de 40 a 60	0,50
	de 60 a 80	0,25
	de 80 a 100	0,00
C2 (Subjetiva)	Manter (M)	0,00
	Aumentar (A)	0,50
	Aumentar Significativamente (AS)	1,00
C3 (%)	< 50	0,00
	de 50 a 80	0,50
	> 80	1,00
C4 (Subjetiva)	Diminuir (D)	1,00
	Aumentar (A)	0,50
	Aumentar Significativamente (AS)	0,00
C5 (Subjetiva)	Diminuir (D)	1,00
	Aumentar (A)	0,50
	Aumentar Significativamente (AS)	0,00

Tabela 3 – Tabela de valores e escalas dos critérios

Após definidas todas as estratégias, critérios e alternativas possíveis o grupo de decisores fará, individualmente a avaliação das alternativas frente aos critérios e o método ELECTRE II, através das suas matrizes de concordância de discordância demonstrará a preferência de cada indivíduo do grupo. As variáveis subjetivas foram definidas com valores Manter ou Diminuir, Aumentar e Aumentar Significativamente para os critérios C2, C4 e C5 e representam uma escolha subjetiva de cada decisor do grupo. O quadro 4 apresenta as particularidades dos decisores envolvidos no presente estudo.

Os parâmetros utilizados na tabela 3 para os critérios são decorrentes de definição dos governantes, sócios ou diretores da empresa, e representam patamares que a empresa considera de baixa, média ou alta performance em relação aos critérios estabelecidos.

Decisor	Área	Responsabilidades
1	Gestão Administrativa / Planejamento	1. Gestão de Pessoal; 2. Elaboração de Planos de Gestão Administrativa; 3. Gestão Financeira e Contábil; 4. Gestão de Contratos Administrativos e Serviços Gerais; 5. Gestão de questões Jurídicas.
2	Gestão da Produção de Água / Tratamento de Esgoto	1. Produção, Tratamento e Reservação de água; 2. Tratamento e destino de esgoto; 3. Controle de qualidade da água; 4. Gestão Ambiental.
3	Gestão Comercial	1. Gestão de Clientes; 2. Arrecadação; 3. Faturamento e Leitura de hidrômetros; 4. Cobrança e multas; 5. Cadastro comercial; 6. Gestão de grandes clientes e poder público; 7. Gestão da micromedição.
4	Gestão de Manutenção de Redes de água	1. Controle de pressão nas redes; 2. Manutenção Preventiva e Corretiva; 3. Execução de cortes; 4. Cadastro técnico de redes; 5. Projetos de ampliação e melhorias.

Quadro 4 – Características dos DECISORES

Assim os quatro decisores fazem individualmente uma avaliação das alternativas apresentadas frente a cada critério envolvido. Essas avaliações são tabuladas em uma matriz de avaliação e normalizadas de acordo com as escalas definidas na tabela 3. Os resultados das avaliações individuais de cada decisor são apresentados nas tabelas 4 a 7.

Altern. Critérios	a1	a2	a3	a4	a5	a6
C1	0,50	0,50	0,50	0,75	0,75	0,50
C2	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50
C3	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50
C4	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
C5	0,50	0,00	1,00	0,50	0,50	0,50

Tabela 4 – Avaliação DECISOR.1

Altern. Critérios	a1	a2	a3	a4	a5	a6
C1	0,50	0,50	0,75	0,50	0,75	0,75
C2	0,00	0,00	1,00	1,00	0,50	0,50
C3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
C4	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00
C5	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,50

Tabela 5 – Avaliação DECISOR.2

Altern. Critérios	a1	a2	a3	a4	a5	a6
C1	0,25	0,25	0,50	0,50	0,75	0,75
C2	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50
C3	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
C4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C5	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 6 – Avaliação DECISOR.3

Altern. Critérios	a1	a2	a3	a4	a5	a6
C1	0,75	0,50	0,50	0,50	0,75	0,50
C2	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00
C3	1,00	0,00	1,00	0,50	0,50	0,00
C4	0,50	0,50	1,00	0,00	0,50	0,50
C5	0,00	0,00	0,50	1,00	0,50	0,50

Tabela 7 – Avaliação DECISOR.4

Com base nos dados das avaliações individuais feitas pelo grupo podem-se construir as matrizes de Concordância e Discordância do ELECTRE II e realizar as ordenações fortes ($p=0,5$; $q=0,7$) e fracas ($p=0,7$; $q=0,5$) para cada decisor. Assim uma ordenação final pode ser gerada, representada pela média das ordenações fortes e fracas, conforme ilustrado nas tabelas 8 a 11. Para o contexto houve necessidade de estabelecer critérios para a não ocorrência de empates. Por exemplo: quando duas alternativas ocupavam a mesma posição, após o cálculo da média das ordenações fortes e fracas, o critério de desempate foi obedecer a ordem gerada na elicitação inicial, pois os decisores foram orientados a elencar as alternativas mais preferíveis ou com maior potencial de maneira sequencial.

Altern. Ordem	a1	a2	a3	a4	a5	a6
Fraca	1°	5°	3°	2°	4°	6°
Forte	4°	6°	3°	1°	2°	5°
Média	2,5	5,5	3	1,5	3	5,5
Final	2°	5°	3°	1°	4°	6°

Tabela 8 – Ordenação DECISOR.1

Altern. Ordem	a1	a2	a3	a4	a5	a6
Fraca	4°	6°	3°	2°	5°	1°
Forte	6°	5°	4°	3°	2°	1°
Média	5	5,5	3,5	2,5	3,5	1
Final	5°	6°	3°	2°	4°	1°

Tabela 9 – Ordenação DECISOR.2

Altern. Ordem	a1	a2	a3	a4	a5	a6
Fraca	5°	4°	3°	2°	6°	1°
Forte	6°	5°	1°	2°	4°	3°
Média	5,5	4,5	2	2	5	2
Final	6°	4°	1°	2°	5°	3°

Tabela 10 – Ordenação DECISOR.3

Altern. Ordem	a1	a2	a3	a4	a5	a6
Fraca	4°	6°	1°	3°	2°	5°
Forte	3°	6°	1°	4°	2°	5°
Média	3,5	6	1	3,5	2	5
Final	4°	6°	1°	3°	2°	5°

Tabela 11 – Ordenação DECISOR.4

4.3 Aplicação do Método ELECTRE IV

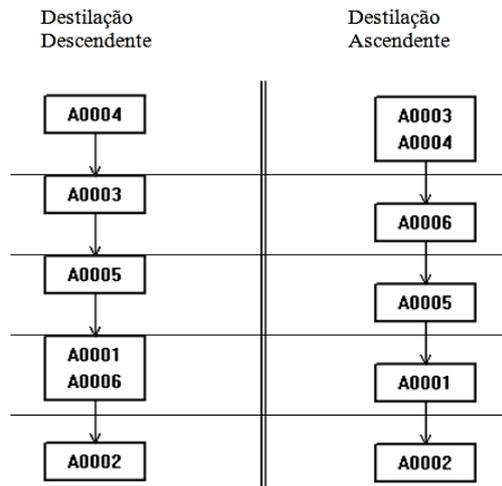
Após as ordenações individuais concluídas, através da construção das ordens fortes e fracas e a ordenação final representada pela média das anteriores é construído na tabela 12 uma representação agregada para esse grupo de decisores, sendo agora os critérios considerados como os próprios decisores e a performance das alternativas, o resultado final da ordenação feita pelo método ELECTRE II. Esses dados servirão como entrada para aplicação de agregação final com o ELECTRE IV.

<u>Alternativas</u>	a1	a2	a3	a4	a5	a6
C1 - Decisor1	2º	5º	3º	1º	4º	6º
C2 - Decisor2	5º	6º	3º	2º	4º	1º
C3 - Decisor3	6º	4º	1º	2º	5º	3º
C4 - Decisor4	4º	6º	1º	3º	2º	5º

Tabela 12 – Matriz de avaliação das alternativas (ordenação) x critérios (decisores) para aplicação do ELECTRE IV

A tabela 12 apresenta agora as seis principais alternativas, na opinião dos decisores, que serão reordenadas conforme a metodologia do ELECTRE IV, o que promoverá uma agregação de preferências, decorrente do processo decisório elaborado neste estudo. Após a aplicação do algoritmo do ELECTRE IV, chega-se ao resultado apresentado no quadro 5, com as destilações ascendente e descendente e na figura 1 (grafo com a ordenação final), com a alternativa A4 como a alternativa que tem a maior preferência para esse grupo de decisores.

Para a aplicação do ELECTRE IV foi utilizado o software ELECTRE III/IV, disponível na Lamsade (*Paris-Dauphine University, Paris, France*).



Quadro 5 – Resultado da Ordenação pelas destilações ascendente e descendente do ELECTRE IV

Fonte: *Software ELECTRE III-IV, Lamsade*

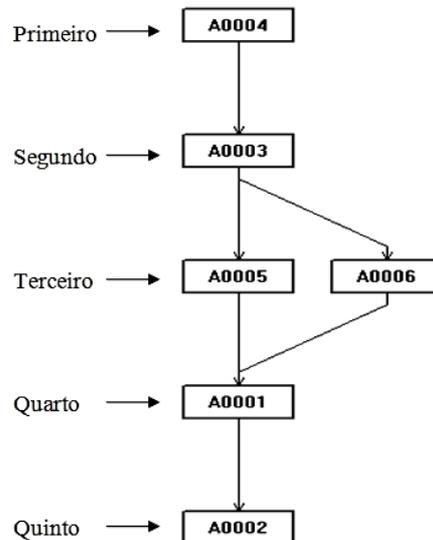


Figura 1 – Resultado final da ordenação pelo ELECTRE IV

5. Resultados e Discussões

Os resultados podem ser aferidos em dois momentos: após a ordenação das preferências individuais para cada um dos pelo método ELECTRE II, e posteriormente, após a aplicação do segundo método, na forma de Grafo (Figura 1) do ELECTRE IV. Essas últimas representações estão relacionadas às preferências globais, que são as alternativas dominantes na visão do grupo, ou seja, aquelas que apresentam maiores preferências para possíveis resultados gerados, se levados em consideração os critérios elencados na segunda aplicação. Ao analisar o resultado das ordenações individuais promovidas pela aplicação do ELECTRE II podem-se perceber as diferenças entre as preferências dos decisores do grupo. Porém também é possível visualizar pontos de convergência para as opiniões individuais e em grupo. Essa avaliação só foi possível após agregação dos resultados do primeiro método (ELECTRE II) pela aplicação do segundo método (ELECTRE IV). O modelo proposto procura resolver tais tipos de conflitos e divergências utilizando uma escala que representa a verdadeira preferência por uma alternativa se for levado em conta um determinado critério. Os resultados dessas combinações, utilização dos métodos ELECTRE II e ELECTRE IV concomitantemente, permitem dar aos decisores uma visão mais clara sobre qual alternativa poderá auxiliar mais consistentemente para atingir os múltiplos objetivos com que eles se deparam e ainda promover um consenso entre as opiniões do grupo. Além disso, podem ainda possibilitar variações e novas análises após mudanças de cenários ou até de objetivos.

A representação gráfica proporcionada pelo método ELECTRE IV, através do grafo, como apresentado no trabalho, ajuda a percepção sobre como as alternativas, ou a preferência pelas alternativas está se comportando em relação ao conceito de dominância e não-dominância e ainda sobre os conceitos de concordância e discordância, presentes no método. No grafo apresentado na Figura 1 a ordenação final demonstrou que o grupo apresentou pontos de convergência em algumas escolhas e preferências. Certamente cada decisor já havia pensado em suas preferências individualmente quando foi entrevistado para gerar a matriz de avaliação no ELECTRE II. Por esse motivo é que as opiniões acabaram convergindo de maneira natural depois da aplicação do ELECTRE IV, proporcionando a agregação.

Vale ressaltar que para quaisquer mudanças nas características dos critérios ou das alternativas, sejam elas de caráter técnico, político ou administrativo, os resultados se apresentarão de forma diferente, levando à necessidade de reavaliar o cenário e repetir a aplicação do modelo.

Uma entre outras das limitações que podem ser ressaltadas, é que se considerar um número muito pequeno de decisores e eles realizarem as avaliações das alternativas em direções opostas, não possibilitará ao modelo encontrar preferências consensuais. A tendência é que quanto maior o número de decisores, mais segura é a afirmação de que se pode encontrar consenso. Outra delas é em relação aos empates. São necessárias pré-definições sobre algumas regras para que quando ocorram empates entre as ordenações, possa-se automaticamente decidir sobre qual caminho seguir.

6. Considerações Finais

Aplicando-se o modelo proposto apoiado pelos métodos ELECTRE II e IV, pode-se chegar a resultados relevantes sob o ponto de vista do atendimento a objetivos e a um cenário da manutenção em sistemas de distribuição de água tratada, onde são envolvidos múltiplos objetivos e ainda um grupo de decisores. Essa técnica de apoio a decisão pode certamente auxiliar um grupo de decisores a visualizar um núcleo de alternativas viáveis para a solução de problemas inerentes ao abastecimento público de água, tais como: perdas, execução de alternativas de manutenção, implantação de automação, monitoramento, entre outros. Com essa visualização fica mais confortável tomar decisões já que existe uma tendência ao consenso do grupo para que os objetivos sejam atendidos com a probabilidade de melhores resultados, justificada pela dominância presente entre as alternativas. A abordagem multicritério não apresenta uma solução ideal para os problemas, mas entre todas as alternativas possíveis de decisão, a mais coerente.

Os métodos de apoio multicritério à decisão têm um lado científico, mas ao mesmo

tempo, subjetivo, apresentando consigo a capacidade de agregar todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com o objetivo de permitir a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisões (GOMES et al, 2004).

Neste caso específico, a aplicação proporciona um importante suporte à decisão para um grupo de decisores que, inicialmente se deparava com conflitos de opiniões e preferências em relação às alternativas possíveis para a solução dos problemas elencados no estudo. Sendo a abordagem multicritério de apoio à decisão caracterizada como um conjunto de métodos que buscam tornar claro um problema, no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos e conflitantes critérios, auxiliando as pessoas e organizações nas decisões (VINCKE, 1992). Assim o presente estudo traz uma possibilidade de ampliação de horizontes de atuação para a gestão da manutenção em sistemas de abastecimento de água.

Consequentemente, o presente trabalho cumpre o objetivo de construir um modelo agregado de ordenação de alternativas viáveis, com a consideração de aspectos subjetivos e objetivos ao mesmo tempo para auxiliar na tomada de decisão em manutenção de redes de distribuição de água, onde os atores envolvidos representam um grupo de gestores de diferentes áreas e com diferentes experiências e preferências.

Referências

- Alencar, L. H.; Almeida, A. T.; Morais, D. C.** (2010), *A multicriteria group decision model aggregating the preferences of decision-makers based on electre methods*. Pesquisa Operacional, v.30, n.3, p.687-702, ISSN 1678-5142.
- Gomes, L. F. A. M.; Araya, M. C. G.; Carignano, C.** (2004), *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Ed. Pioneira.
- Hajkowicz, S. e Collins, K.** (2007), A review of multiple criteria analysis for water resources planning and management. *Water Resour Manag* 21:1553–1566
- Hajkowicz S. e Higgins, A.** (2008), A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *Eur J Oper Res* 184:255–265
- Marques, F. C. V.; Gasparini, V. A.** (1995), *Índice de Perdas Aceitável*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 18. Trabalhos Publicados: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, São Paulo.
- Milani A. S., Shanian A., El-Lahham C.** (2005), Using Different ELECTRE Methods in Strategic Planning in the Presence of Human Behavioral Resistance. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*.
- Olson, D. L.** - *Decision Aids for Election Problems*. Springer. 1996.
- Pena, R. R., Rebollo L. P., Oliveras C. G. e Mateu, A. V.** (2007), Use and evaluation of ELECTRE III/IV. *Universitat Rovira i Virgili. Departament d'Enginyeria Informàtica. DEIM-RT-07-003*.
- Raiffa, H.** (1982), *The art and science of negotiation. How to resolve conflicts and get the best out of bargaining.*. The Belknap Press of Harvard University Press.
- Roy, B.** (1968), Classement et choix en présence de points de vue multiples (*la méthode ELECTRE*). *RIRO*, 8, 57-75.
- SNIS** (2008), *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento*. (<http://www.snis.gov.br/>)
- Trojan, F., Morais, D. C., Cunha, P. F. D.** (2010), *Apoio à decisão no setor de manutenção das redes de distribuição de água aplicando o ELECTRE I*. XXX ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos – SP.
- Vincke, P.** (1992), *Multicriteria Decision Aid*. Bruxelles, John Wiley & Sons, 1992.