



MODELO DE AGREGAÇÃO DE CONHECIMENTO DE ESPECIALISTAS NÃO HOMOGÊNEOS APLICADO À GESTÃO DA MANUTENÇÃO NAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Leydiana de Sousa Pereira

CDSID – Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
leydiana_sousa@hotmail.com

José Leão e Silva Filho

UFPE/ CAA – Universidade Federal de Pernambuco –
BR-104 km 59 - 55002-970. Caruaru – PE
zeleao@gmail.com

Danielle Costa Moraes

CDSID – Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
dcmoraes@cidsid.org.br

RESUMO

Os sistemas brasileiros de distribuição de água enfrentam sérios problemas em termos dos altos índices de perdas. Essa situação envolve uma complexa tomada de decisão, tendo em vista as diversas partes interessadas, a presença de aspectos qualitativo e quantitativo, o grande número de alternativas, entre outros fatores. Em um cenário onde há diversas perspectivas, a utilização de mapas cognitivos com a opinião de especialistas se torna útil. Porém, alcançar o consenso nas opiniões pode ser um desafio. Este artigo utiliza um método que busca melhorar o alinhamento das avaliações dos mapas cognitivos de três especialistas, mesclando a ideia de consenso à heterogeneidade das informações na avaliação de possíveis critérios para a priorização de ações da manutenção nas redes de distribuição.

PALAVRAS CHAVE. Sistema de distribuição de água, Gestão da manutenção, Especialistas não homogêneos.

Tópicos ADM- Apoio à Decisão Multicritério, AdP - PO na Administração Pública

ABSTRACT

The water distribution system of Brazil have serious problems in consequence of high level of losses. This situation involves complex decision for some reasons: too many stakeholders, quantitative and qualitative aspects, a large number of alternatives and others. Cognitive maps with the specialist opinion can be useful in scenarios where there is various perspectives. However, to reach an opinion consensus can be a huge challenge. This paper uses a method that improves the cognitive maps alignment of three specialists, combining the consensus concepts and information heterogeneously on the evaluation of possible criteria to prioritize maintenance actions on distributions network.

KEYWORDS. Water distribution network. Maintenance management. Non homogeneous specialists.

Paper topics ADM- Multicriteria decision aid, AdP – OR in public administration



1. Introdução

Um problema de alta proporção nos sistemas brasileiros de abastecimento de água consiste no cenário das elevadas perdas [Miranda 2006]. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o Brasil desperdiça em média 37% de água nas redes de distribuição, com maior intensidade nas regiões Norte e Nordeste cujos índices atingem 51,3% e 47,2%, respectivamente; ao contrário do Sudeste que possui uma taxa próxima aos 31,4%. Avaliando por estados o Acre, Amapá, Maranhão, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Roraima e Sergipe detêm índices que superam os 50% [Brasil 2016].

Esse desperdício é denominado de perdas físicas ou reais e, referem-se a toda água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores, principalmente em decorrência de vazamentos nas tubulações que derivam de causas diversas, desde ao excesso de pressão, tipo dos materiais utilizados, a idade das tubulações, a qualidade da mão de obra até a ausência de programas de monitoramento de perdas [Brasil 2017].

As perdas físicas de água não repercutem apenas em impasses econômicos mais inclui aspectos com vieses ambiental, social e de saúde coletiva. Portanto, surge à necessidade em desenvolver procedimentos operacionais que permita ao sistema ser operado de forma satisfatória, contínua e ao menor custo [Dighade et al. 2014]. Nesse sentido, as atividades da manutenção constituem um suporte.

Atingir uma gestão da manutenção eficaz é uma tarefa robusta e deve estar alinhada a um controle rigoroso e sistemático, pois trata de eventos, em sua maioria de natureza incerta; além de depender não apenas dos sistemas de automação mais também dos conhecimentos e habilidades humanas [Sinha 2015]. Scarf e Cavalcante [2012] recomendam a relação entre qualidade e manutenção enfatizando os critérios de custo e da confiabilidade.

Nesse sentido, Trojan e Morais [2015] visando reduzir as perdas nas redes de distribuição através de melhorias na alocação das atividades de manutenção propuseram um modelo multicritério de três etapas, ordenação, classificação e ordenação. Morais e De Almeida [2012] desenvolveram uma abordagem para tomada de decisão em grupo voltada a reabilitação das redes de distribuição. E, por sua vez, Karamouz et al. [2016] criaram um algoritmo para avaliar a eficiência do desempenho da infraestrutura hídrica urbana e determinar o tempo ótimo de reabilitação das redes de água.

A concepção e a gestão de uma rede de distribuição de água é um complexo problema caracterizado por desafiar aspectos de operação, manutenção e gerenciamento [Bruni 2017]. Considerando que a gestão em tais sistemas envolve fatores qualitativos e quantitativos, tangíveis e intangíveis e, incluem muitas partes de interesse, a tomada de decisão torna-se de difícil solução [Okeola e Sule, 2012 e Ait Mokhtar et al. 2016].

Caracterizando, a tomada de decisão é uma atividade que requer o uso de variados métodos e técnicas, envolvendo pelo menos duas alternativas de ação para escolher, com o intuito de atender a objetivos e critérios múltiplos, muitas vezes conflitantes entre si [De Almeida 2013, Gomes et al. 2009]. Considerando a presença de diversos agentes em um procedimento analítico dotado de preocupação quanto ao respeito às regras de racionalidade, que interagem na busca de uma decisão coletiva, tem-se uma decisão em grupo [De Almeida et al. 2012].

Nessa perspectiva, para auxiliar no balanceamento da importância das opiniões entre os agentes no processo decisório, ganha destaque a agregação de especialistas não homogêneos. Assim, o Pérez et al. [2014] propôs mecanismos para a construção de uma matriz *Fuzzy* de comparação das alternativas, classificando os especialistas por nível de relevância. Posteriormente, Silva Filho et al. [2015] estruturou em cinco etapas os procedimentos de Pérez, facilitando a aplicação. Por sua vez, esse modelo foi submetido por Silva Filho e Morais [2016] a uma simulação numérica com uma análise de sensibilidade para apreciação do seu desempenho e fortalecimento de suas análises ao incluir os cálculos da relação de distância, força e caminho crítico nas avaliações dos mapas cognitivos.

Permeando o contexto, esta pesquisa se propõe a utilizar, de forma adaptada, o modelo de agregação de especialistas não homogêneos desenvolvido por Silva Filho et al. [2015] para a



identificação de critérios direcionados a priorização as atividades em um sistema de distribuição de água, tendo em vista contrabalançar o bem-estar social e a eficiência da concessionária de saneamento. Este artigo está dividido em cinco seções, incluindo essa introdução. Na seção 2 são detalhados os principais aspectos do modelo, seguido da sua aplicação em um caso real, apresentado na seção 3. Enquanto o tópico 4 refere-se a análise de sensibilidade do modelo. Ao fim, são expostas algumas considerações.

2. Modelo proposto

É intensa a preocupação quanto ao uso dos recursos hídricos, principalmente, pois o crescimento populacional global, a rápida urbanização e a escassez de recursos estão exigindo um aumento nos investimentos para as infraestruturas de prestação de serviços relacionados ao fornecimento de água [Zeng et al. 2017].

Perante esse contexto de decisão em grupo, deve-se considerar que os especialistas são profissionais que tem conhecimento sobre os mecanismos de comportamento do sistema em estudo e do ambiente que influencia as variáveis relacionadas ao problema [De Almeida 2013]. Assim, inicialmente recorre-se aos mecanismos desenvolvidos por [Pérez et al. 2014] e presentes no modelo de [Silva Filho et al. 2015] e, consistem nos parâmetros:

- $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n\}$: conjunto de n alternativas ($n \geq 2$);
- $\mathbf{E} = \{\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_m\}$: grupo de m especialistas ($m \geq 2$);
- $\mathbf{P}^m = [\mathbf{p}_{ij}]$: relação da matriz que representa a relação de preferência *Fuzzy*;
- $\mathbf{P}^c = [\mathbf{p}^c_{ij}]$: relação da média das matrizes de preferência dos especialistas;
- $\mathbf{SM}^{kl} = [\mathbf{sm}^{kl}_{ij}]$: satisfaz a matriz de similaridade entre os especialistas k e l , onde:

$$sm^{kl}_{ij} = 1 - |p^k_{ij} - p^l_{ij}| \quad eq.1$$

- $\mathbf{CM} = [\mathbf{cm}_{ij}]$: matriz de consenso, na qual os valores de cm_{ij} são definidos pela média aritmética da matriz de similaridade s ;
- \mathbf{ca}_i : consiste no grau de consenso de uma alternativa, sendo definido por:

$$ca_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{(cm_{ij} + cm_{ji})}{2(n-1)} \quad eq.2$$

- \mathbf{cr} : representa o grau de consenso na relação, satisfazendo a expressão:

$$cr = \sum_{i=1}^n \frac{ca_i}{n} \quad eq.3$$

- \mathbf{cl} : consiste no limite para o consenso da relação. Assim, quando $cr > cl$ o consenso por proximidade é atendido;
- \mathbf{dc} : representa o desempenho do consenso, tratando-se de um limiar percentual para a aceitação do avanço do cr ;
- \mathbf{pp}_{ij}^k : é a medida de similaridade de um par de alternativas e , satisfaz a expressão:

$$pp^k_{ij} = 1 - |p^k_{ij} - p^c_{ij}| \quad eq.4$$

- \mathbf{pa}_i^k : satisfaz a medida de similaridade de uma alternativa e , investiga a distância da opinião de cada especialista em relação à matriz de valor médio. É representado por:

$$pa^k_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{(pp^k_{ij} + pp^k_{ji})}{2(n-1)} \quad eq.5$$

- \mathbf{pr}^k : é a medida de similaridade de uma relação. Corresponde a:

$$pr^k = \sum_{i=1}^n \frac{pa^k_i}{n} \quad eq.6$$



Diante do conhecimento dos parâmetros é possível iniciar a busca pelo alinhamento das opiniões dos especialistas através do modelo proposto por Silva Filho et al. [2015]. Descrevendo suas cinco fases têm-se:

Etapa 1 - Estruturação do problema e avaliação das alternativas

Nesta etapa o ponto crucial representa a geração de ideias para a estruturação do problema, seguidamente busca-se a definição dos parâmetros para o limite máximo de rodadas, o limite para o consenso e, o julgamento dos especialistas com base no seu nível de relevância por parte dos clientes, tendo apoio de um analista.

Por fim, engloba a avaliação das preferências dos especialistas utilizando o formato *Fuzzy*, ou seja, permite a construção das matrizes p^C .

Etapa 2 - Cálculo das medidas de consenso

Esta fase tem como foco a determinação dos valores de consenso. Assim, são calculados os parâmetros cr e pr^k , bem como alguns limiares de decisão que serão necessários na Etapa 4. De tal modo, são consideradas as Equações 7 e 8.

$$\alpha_1 = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1, i \neq j}^n \frac{cp_{ij}}{(n^2 - n)} \right) \text{ e } \alpha_2 = \sum_i \frac{ca_i}{n} \quad \text{eq. 7}$$

$$= \sum_{k=1}^m \frac{\beta_1 pa_t^k}{m} \text{ e } \beta_2 = \sum_{k=1}^m \frac{pp_{ij}^k}{m} \quad \text{eq. 8}$$

Esses limiares são dinâmicos tendo em vista proporcionar a progressão do método. Nessas circunstâncias, em caso de retorno a essa etapa, seja por *feedback* ou outra motivação, seus cálculos devem ser refeitos.

Etapa 3 - Avaliações sobre o consenso

Esta etapa concentra-se nos testes com os especialistas em relação ao consenso. A primeira análise versa no grau de consenso, verificando se $cr \geq cl$ atingiu um patamar aceitável e pode-se seguir para a Etapa 5.

No entanto, caso seja obtido o relacionamento que $cr < cl$, deve ser procedido a realização de dois novos testes, sendo:

- *Teste 1: rodada atual* \leq *rodada limite*

A reprovação indica que o modelo alcançou o limite máximo de repetições no sistema e, pode seguir para a Etapa 5.

- *Teste 2: cr(atual)/cr(antecessor)* $\geq dc$

Sua aplicação só é possível a partir da segunda rodada, pois é a partir de quando se obtém dois valores cr de referência. A reprovação significa que, na última interação, a melhoria de desempenho foi tão pequena, de modo que não se tem como justificar o acréscimo de uma nova rodada, seguindo-se diretamente para a Etapa 5.

Em caso de aprovação nos dois testes, a Etapa 4 é imprescindível para fornecer um *feedback* aos especialistas com relação ao sistema tendo em vista possibilitar uma reanálise, havendo a necessidade.



Etapa 4 - Feedback do processo aos especialistas

Nesta etapa são recomendadas as modificações aos especialistas em razão da ausência de consenso e os testes propostos na Etapa 3 são finalizaram o modelo. Desse modo, é requerida uma classificação por nível de relevância dos especialistas presentes na decisão, onde:

- *Especialistas de baixa relevância*: são os mais propensos a mudar de opinião, uma vez que seus conhecimentos tendem a ter uma importância restrita. As relações cm_{ij} susceptíveis a mudanças são definidas pelo conjunto R_{baixa}^k . Assim:

$$R_{baixa}^k = \{(i, j) | cm_{ij} < \alpha_1\} \quad eq. 9$$

- *Especialistas de média relevância*: detêm um pouco mais de confiança sobre as avaliações das alternativas, criando um conjunto Z , que engloba as possíveis alterações. Cada especialista de média relevância tem uma sugestão de alteração expressa pelo R_{med}^k . Portanto:

$$Z = \{(i, j) | R_{baixa}^k \wedge ca_i < \alpha_2\} \text{ e } R_{med}^k = \{(ij) | \in Z | pa_i^k < \beta_1\} \quad eq. 10$$

- *Especialistas de alta relevância*: possuindo regras mais restritas que os anteriores, obedecem a condição da alternativa ter uma avaliação menor que o valor do consenso de β_i e os valores da relação pp_{ij}^k estejam distantes dos obtidos em p^C . Igualmente:

$$R_{alta}^k = \{(i, j) \in Z | pa_i^k < \beta_1 \wedge pp_{ij}^k < \beta_2\} \quad eq. 11$$

Os resultados devem ser compartilhados com os especialistas por meio de uma matriz sinal, em que se utiliza “+” caso a avaliação seja abaixo da média e se faça necessário aumentar e, “-” na situação contrária.

Etapa 5 - Apresentação dos resultados

Finalizados todos os procedimentos, duas situações para os resultados são possíveis:

1. A avaliação $cr \geq cl$ seja alcançada, fato que significa que a matriz p^C condiz como uma opinião consensual entre os especialistas e, pode ser tida como resultado final;
2. Quando não foi possível obter o consenso, ou seja, o processo não superou os testes 1 e 2 da terceira etapa. Assim, a matriz p^C é apresentada como uma aproximação do consenso.

3. Aplicação do modelo proposto

Em termos da região de estudo, Pernambuco possui um dos níveis mais críticos considerando o volume quantitativo de água, comparativamente aos outros estados brasileiros. No entanto, seus índices de perdas na rede de distribuição são elevados. Nas mensurações dos últimos três anos base de análise do SNIS, suas taxas de desperdício foram: 53,84% (2013), 51,89% (2014) e 51,0% (2015), superando a média nacional que se manteve, nesse mesmo período, próximo aos 37% [Brasil, 2017, 2016, 2015].

A concessionária responsável pelo abastecimento nessa região é a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) que enfrenta dilemas em razão da ausência de metodologias que suportem suas decisões, recorrendo fortemente ao empirismo. Consequentemente, importantes critérios de avaliação chegam a nem serem considerados. Para



essa aplicação foram considerados três especialistas que atuam diretamente no controle dos sistemas de distribuição.

Aplicando as etapas de análises proposta por Silva Filho et al. [2015] tem-se:

Etapa 1 - Estruturação do problema e avaliação das alternativas

Os especialistas atuais foram avaliados como tendo grau de conhecimento equivalente para avaliação da decisão. Todos eles foram convidados a montarem seus mapas cognitivos individuais com o objetivo de apoiar a estruturação de problema em questão. O resultado está disposto na Figura 1.

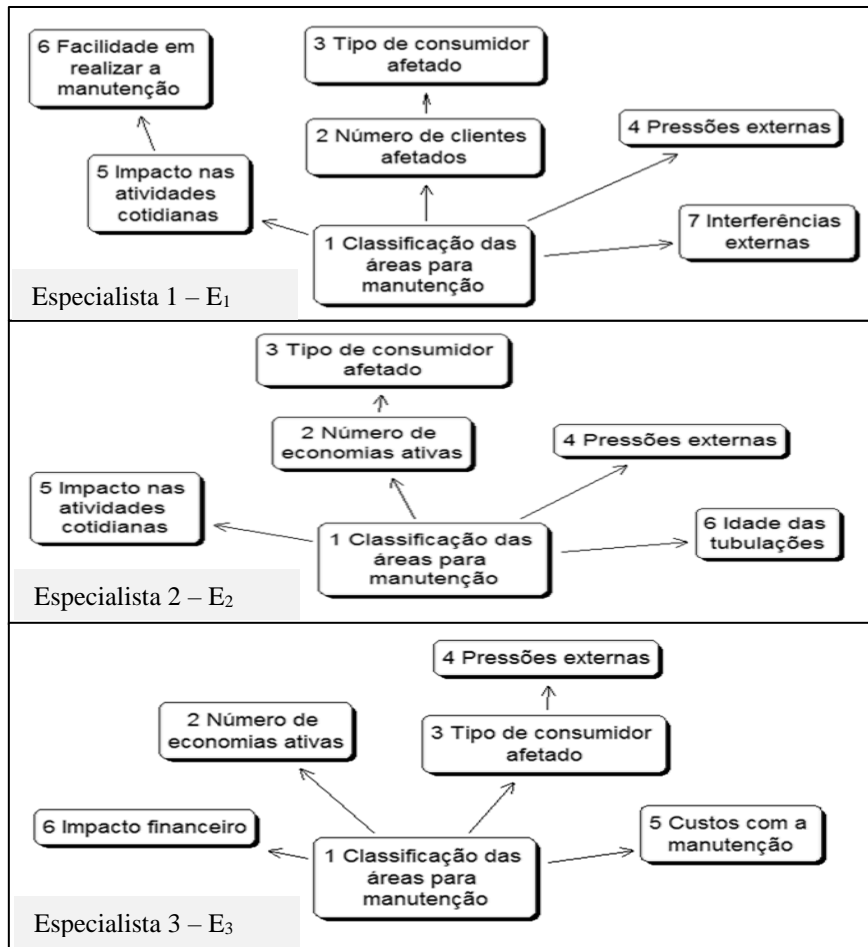


Figura 1 - Mapas individuais

Estes mapas consistem nos *inputs* fundamentais para a construção do mapa cognitivo global. Assim, analisando cuidadosamente as relações e seus direcionamentos foi possível criar o mapa global do problema analisado, estando representado pela Figura 2. Dado mapa foi apresentado aos especialistas para sua avaliação e, nesse caso não foram necessárias modificações.

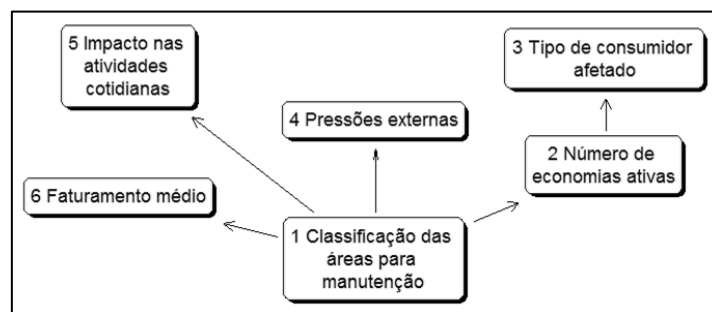


Figura 2 - Mapa global

Em consequência desse mapa global, foram pensadas onze alternativas para o problema. Os analistas apresentaram suas avaliações para tais alternativas baseadas nos cinco critérios obtidos no mapa global, sendo: g_1 – número de economias ativas, g_2 – tipo de consumidor afetado, g_3 – pressões externas, g_4 – impacto nas atividades cotidianas e g_5 – faturamento externo. Os resultados dos julgamentos das alternativas pelos especialistas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Avaliação dos especialistas

Avaliação dos especialistas/critério															
	Especialista 1					Especialista 2					Especialista 3				
Alt	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
a ₁	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
a ₂	1,00	0,68	1,00	0,75	0,79	1,00	0,68	0,75	1,00	0,79	1,00	0,68	0,75	0,25	0,79
a ₃	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
a ₄	0,80	0,73	0,00	0,25	0,76	0,80	0,73	0,00	0,25	0,76	0,80	0,73	0,25	0,25	0,76
a ₅	0,26	0,85	0,25	0,00	0,16	0,26	0,85	0,25	0,00	0,16	0,26	0,85	0,25	0,00	0,16
a ₆	1,00	0,93	0,50	0,50	1,00	1,00	0,93	0,50	0,50	1,00	1,00	0,93	0,75	0,50	1,00
a ₇	0,91	0,49	0,50	0,75	0,80	0,91	0,49	0,75	0,25	0,80	0,91	0,49	0,50	0,75	0,80
a ₈	0,79	0,26	0,75	0,50	0,86	0,79	0,26	0,50	0,50	0,86	0,79	0,26	0,75	0,50	0,86
a ₉	0,57	0,17	1,00	0,50	0,51	0,57	0,17	1,00	0,50	0,51	0,57	0,17	0,50	0,50	0,51
a ₁₀	0,57	1,00	0,75	1,00	0,40	0,57	1,00	0,25	0,75	0,40	0,57	1,00	0,75	0,25	0,40
a ₁₁	0,93	0,68	0,75	0,50	0,93	0,93	0,68	0,75	0,50	0,93	0,93	0,68	0,75	0,50	0,93
w	0,30	0,20	0,20	0,20	0,10	0,25	0,15	0,25	0,20	0,15	0,20	0,30	0,10	0,15	0,25

Mediante a Tabela 1, pode-se observar que as avaliações para os critérios g_1 , g_4 e g_5 não obtiveram resultados iguais. Isso se deve por serem oriundos de uma métrica quantitativa. Essa Tabela serviu de referência para a construção da matriz de preferência Fuzzy. Posteriormente, os especialistas foram convidados a atribuir pesos aos critérios. Estes valores tem a característica de inserir uma preferência a mais oriunda dos especialistas.

Etapa 2 - Cálculo das medidas de consenso

Nesta etapa foram calculados os valores de consenso e alguns parâmetros para a utilização desta avaliação. Os resultados dos sm_{ij} e ca_i são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de similaridades e Ca

Sm _(ij)	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	a ₁₀	a ₁₁	Ca
a ₁		0,67	1,00	0,90	0,90	0,60	0,83	0,87	0,87	0,93	0,83	0,90
a ₂	0,87		0,87	0,73	0,87	0,70	0,97	0,73	0,93	0,73	0,73	0,88
a ₃	0,83	0,80		0,90	0,90	0,60	0,97	0,87	0,87	0,93	0,93	0,91
a ₄	1,00	0,73	1,00		0,97	1,00	0,90	0,90	0,87	0,97	0,73	0,93
a ₅	1,00	0,90	1,00	0,83		1,00	0,90	0,90	0,90	1,00	0,90	0,94
a ₆	1,00	0,77	1,00	0,90	0,63		0,77	0,97	0,80	0,83	0,90	0,91



a7	1,00	0,93	1,00	0,90	0,90	0,90		0,93	0,80	0,83	0,87	0,93
a8	1,00	0,93	1,00	0,83	0,87	0,87	0,93		0,73	0,83	1,00	0,93
a9	0,83	0,83	1,00	0,83	0,87	0,83	0,70	0,83		0,87	0,83	0,90
a10	1,00	0,83	1,00	0,87	0,90	0,63	0,83	0,93	0,97		0,93	0,92
a11	1,00	0,93	1,00	0,93	0,87	0,83	1,00	1,00	0,80	0,83		0,94

Deve-se definir previamente o valor de cl , sendo considerado 0,95. Este valor levou em conta o histórico de dados presentes no estudo de Silva Filho et al. [2015] e a necessidade de uma maior rigidez na avaliação. Foi considerado cinco o número máximo de rodadas.

Etapa 3 - Avaliações sobre o consenso

Realiza-se o Teste 1 descrito em Silva Filho et al. [2015]. Consiste em uma avaliação simples se as rodadas chegassem ao seu valor máximo. Calculou-se o valor de cr baseado na Tabela 2 e obteve-se o valor $cr = 0,92$. Conseqüentemente, por ser menor que cl e, a proposta ainda está abaixo do número limite de rodadas, deve-se proceder com o método.

Etapa 4 - Feedback do processo aos especialistas

Todos os especialistas foram considerados a priori com baixa relevância. A razão disso é fazer com que o procedimento apresente um número maior de implicações. Nesse contexto, os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Sugestões aos especialistas 1 e 2

Alt	Especialista 1											Especialista 2											
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	Alt	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11
a1		+				+	-		+	+	-	a1		+		+			+		+		+
a2	+		+	-	-	-	-			+	-	a2	-		-	-	-	-	+	-	+	-	
a3	+	+				+	+		+	+	-	a3	-	+		+			-		+		-
a4		+			-		+	+	+	+	+	a4		-			-		+	+	+	+	-
a5		+		-			+	+	+		+	a5		+		-			+	+	+		+
a6		+					+	-	+	+	+	a6		+		+			-	+	+	-	+
a7		+		-	-	-		+	-	+	-	a7		+		+	-	-		+	+	-	+
a8		+		-	-	-	-		+	+		a8		+		-	-	+	-			-	
a9	+	+		-	-	-	+	-			-	a9	-	-		-	-	-	-	-		-	-
a10		-		-		-	-	-			-	a10		+		-	+	-	+		+		
a11		+		+	-	-			+	+		a11				-	-	-			+	-	

Continuando os procedimentos, é possível inferir, conforme a Tabela 4, as sugestões direcionadas ao especialista 3.

Tabela 4 - Sugestões aos especialistas 3

Alt	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11
a1		-			+	+	-	+		-	-
a2	+		+	+	+	+	-	+	-	+	+
a3	+	-			+	+	-	+		-	+
a4		+			+		-	-	-	-	+
a5		-		+			-	-	-		-
a6		-			+		-	-	-	-	-
a7		-		+	+	+		-	-	-	
a8		-		+	+	+	+			-	
a9	+	+		+	+	+	+	+		+	+



a₁₀		-		+	+	+	+	+	-		+
a₁₁		-			+	+			-	-	

Dessa forma, os analistas tiveram a oportunidade de rever atenciosamente os seus resultados. Outro fato que retêm a atenção é que diante da nova avaliação *cr* obteve um valor maior do que 0,95 e consequentemente, as avaliações foram aceitas e o resultado consensual foi o valor final de P_c .

Tabela 5 – Resultado da Matriz p^c

P_c	a₁	a₂	a₃	a₄	a₅	a₆	a₇	a₈	a₉	a₁₀	a₁₁
a₁		0,5333	0,0000	0,9500	0,9167	0,6000	0,7500	0,9333	0,8333	0,6500	0,6833
a₂	0,0667		0,0667	0,6167	0,7667	0,2833	0,4833	0,7500	0,8000	0,6333	0,3000
a₃	0,0833	0,6167		0,9500	0,9167	0,6000	0,8333	0,9333	0,8333	0,6500	0,7667
a₄	0,0000	0,2500	0,0000		0,5833	0,0000	0,2167	0,3167	0,6333	0,4167	0,2500
a₅	0,0000	0,2167	0,0000	0,2833		0,0000	0,2167	0,2167	0,2167	0,0000	0,2167
a₆	0,0000	0,4167	0,0000	0,9333	1,0167		0,5833	0,5833	0,6667	0,5333	0,4167
a₇	0,0000	0,1333	0,0000	0,5167	0,7833	0,1833		0,5333	0,7333	0,5333	0,1000
a₈	0,0000	0,1333	0,0000	0,4500	0,7667	0,0667	0,2667		0,7000	0,5333	0,0000
a₉	0,0833	0,1167	0,0000	0,3500	0,7667	0,1500	0,2167	0,1500		0,3000	0,1500
a₁₀	0,0000	0,2833	0,0000	0,5333	0,8167	0,4500	0,4500	0,3500	0,3833		0,3500
a₁₁	0,0000	0,1500	0,0000	0,6500	0,7667	0,1500	0,6000	0,0000	0,6667	0,5333	

Este resultado é apresentado em forma de preferências *Fuzzy* e representa as avaliações globais par a par das alternativas. É um resultado com alto grau de consenso ($cr > 0,95$) e pode ser considerado uma boa avaliação da opinião dos especialistas.

Etapa 5 - Apresentação dos resultados

A avaliação final deve apresentar os resultados obtidos e uma análise dos valores numéricos obtidos; estas alternativas servem como valores no problema de distribuição e a avaliação consensual presente em P_c convém como uma referência para a tomada de decisão.

4. Análise de sensibilidade

Na avaliação deste artigo, os valores foram sugeridos como se fossem especialistas de baixa relevância e a razão disso é aumentar a quantidade de sugestões. Em cenários como estes, a sugestão de média e alta relevância pode ser pensado de outra maneira. As sugestões podem ser consideradas como uma avaliação a qual as modificações são mais urgentes. Estas relações ficam definidas quando permanecem como sugestão válida em cenário de aumento de relevância.

No cálculo dos valores, obteve-se o resultado de que o especialista 1 não recebia nenhuma sugestão, nem no caso de média nem de alta relevância. A razão deste resultado é que a opinião do especialista 1 está bem próxima do consenso, enquanto os resultados para o especialista 2 e 3 estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6- Sugestão de média relevância

Especialista 2											Especialista 3													
Alt	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	a ₁₀	a ₁₁	Alt	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	a ₁₀	a ₁₁	
a₁				+			+		+		+	a₁		-			+	+	-	+				-
a₂	-		-	-	-	-	+		+	-		a₂	+		+	+	+	+	-	+	-			+
a₃	-			+			-		+		-	a₃	+	-			+	+	-	+				+
a₄				-			+		+	+	-	a₄		+			+		-	-	-			+



a5				-			+		+		+	a5		-		+		-	-	-		-	
a6				+			-		+	-	+	a6		-			+		-	-	-		-
a7				+	-	-			+	-	+	a7		-		+	+	+		-	-		
a8				-	-	+	-				-	a8		-		+	+	+	+				
a9	-			-	-	-	-				-	a9	+	+		+	+	+	+	+			+
a10				-	+	-	+			+		a10		-		+	+	+	+	+	+	-	+
a11				-	-	-			+	-		a11		-			+	+			-		

Continuando, obtêm-se que as sugestões para o caso dos especialistas como alta relevância estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Sugestão de alta relevância

Especialista 2												Especialista 3											
Alt	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	Alt	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11
a1				+			+		+		+	a1					+	+		+			
a2							+		+			a2	+			+	+	+	+		+		+
a3				+					+			a3	+				+	+		+			+
a4							+		+	+		a4		+			+						+
a5							+		+		+	a5				+							
a6				+					+		+	a6					+						
a7				+					+		+	a7				+	+	+					
a8						+						a8				+	+	+	+				
a9												a9	+	+		+	+	+	+	+			+
a10					+		+		+			a10				+	+	+	+	+			+
a11									+			a11					+	+					

É possível observar que o método apresenta uma menor quantidade de recomendações conforme o nível de conhecimento do especialista aumenta. No caso deste artigo, foi proposto que esse resultado pode ser interpretado como uma maior distância de opiniões dos especialistas. A aplicação dessa proposição na qual é possível observar a diminuição de recomendações está exposta na Tabela 8.

Tabela 8 - Número de sugestões por relevância

Percentual de recomendações			
Classificação	E ₁	E ₂	E ₃
Baixa Relevância	76,00%	74,00%	80,00%
Média Relevância	0,00%	59,00%	71,00%
Alta Relevância	0,00%	25,00%	43,00%

A queda percentual é bastante perceptível nos especialistas, chegando a quase 50% entre valores de alta e baixa relevância. O especialista 1 obteve nenhuma recomendação tanto para a média quanto para a alta relevância.

5. Considerações finais

O artigo apresentou o problema do gerenciamento das ações da manutenção em um sistema de distribuição de água. Por se tratar de um problema bastante amplo, que envolve muitas partes interessadas, critérios conflitantes e pressões externas, realizar uma avaliação de prioridade na manutenção se torna um grande desafio.



O cenário proposto tem características que o torna compatível com as metodologias de estruturação de problemas. Este artigo apresentou um mapa cognitivo global onde foram visualizados critérios para avaliação das alternativas.

Em seguida, foram geradas onze alternativas para se apresentar um resultado de priorização. Porém, a opinião dos especialistas divergia quanto às avaliações, tanto nas avaliações qualitativas dos critérios quanto no estabelecimento da importância de cada critério na decisão. Para alinhar as opiniões, este artigo utilizou um método que se propõe a reduzir as desavenças e tentar encontrar uma opinião consensual.

Além disso, um aspecto inovador deste método foi a avaliação de outros cenários, o de média e alta relevância para explicitar em quais relações o consenso é mais urgente, possibilitando melhores tomadas de decisão quanto às ações da manutenção e conseqüentemente favorecendo o bem-estar social bem como a eficiência da concessionária de saneamento. Como sugestão de trabalhos futuros, são sugeridas outras aplicações para este método em cenários diferentes e com mais especialistas no assunto.

Agradecimentos

Este estudo integra um programa apoiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), a quem os autores expressam agradecimentos.

Referências

- Ait Mokhtar, E. H., Laggoune, R. e Chateauneuf, A. (2016). Utility-based maintenance optimization for complex water-distribution systems using Bayesian networks. *Water Resources Management*, 30(12): 4153-4170.
- Brasil. (2017). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES.
- Brasil. (2016). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES.
- Brasil. (2015). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2013. Brasília: SNSA/MCIDADES.
- Bruni, M. R. Beraldi, P. e Conforti, D. (2017). Water distribution networks design under uncertainty. *TOP*, 25(1): 111-126.
- De Almeida, A. T. (2013). Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério. Editora Atlas, São Paulo.
- Dighade, R. R., Kadu, M. S. e Pande, A. M. (2014). Challenges in water loss management of water distribution systems in developing countries. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(6): 13838-13846.
- Gomes, L. F. A. M., Gomes, C. F. S. e de Almeida, A. T. (2009). Tomada de decisão gerencial: o enfoque multicritério. 3 ed. Editora Atlas, Rio de Janeiro.



Karamouz, M., Yaseri, K. e Nazif, S. (2016). Reliability-Based Assessment of Lifecycle Cost of Urban Water Distribution Infrastructures. *Journal of Infrastructure Systems*, 04016030-1 - 04016030-13.

Miranda, E.C. (2006). Gerenciamento de perdas de água. Cap.17. In: Abastecimento de água para consumo humano. Heller, L; Pádua, V.L. (Org). Belo Horizonte: Editora UFMG.

Morais, D. C. e de Almeida A. T. (2012). Group decision making on water resources based on analysis of individual rankings. *Omega (Oxford)*, 40: 42-52.

Okeola, O. G e Sule, C. F. (2012). Evaluation of management alternatives for urban water supply system using Multicriteria Decision Analysis. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 24(1): 19-24.

Pérez, I. J., Cabrerizo, F. J., Alonso, S. e Herrera-Viedma, E. (2014). A New Consensus Model for Group Decision Making Problems With Non-Homogeneous Experts. In *Anais do IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 44(4): 494-498.

Scarf, P. A. e Cavalcante, C. A. V. Modelling quality in replacement and inspection maintenance. *International Journal of Production Economics*, 135(1): 372-381, 2012.

Silva Filho, J. L., Cunha, A. A. R. e Morais, D. C. (2015). Modelo de agregação de conhecimento de especialistas não-homogêneos. In *Anais do XLVII SBPO*, p. 449-459. Porto de Galinhas. SOBRAPO.

Silva Filho, J. L. e Morais, D. C. (2016). Avaliação de mapas cognitivos baseado na agregação de conhecimento de especialistas não-homogêneos. In *Anais do XLVIII SBPO*, p. 268-279. Vitória. SOBRAPO.

Sinha, P. (2015). Towards higher maintenance effectiveness: Integrating maintenance management with reliability engineering. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32(7): 754-762.

Trojan, F. e Morais, D. C. (2015). Maintenance Management Decision Model for Reduction of Losses in Water Distribution Networks. *Water Resources Management*, 29: 3459-3479.

Zeng, F., Li, X. e Li, K. (2017). Modeling complexity in engineered infrastructure system: Water distribution network as an example. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 27(2): 023105-1-023105-9.