

Aplicação do Método da Análise Hierárquica na Priorização da Reabilitação de Redes de Distribuição de Água

Kenya Gomes de Oliveira Lopes, Márcia Maria Lara Pinto Coelho, Marcelo Libânio

Universidade Federal de Minas Gerais

kenya_gomes@yahoo.com.br, lara@ehr.ufmg.br, mlibanio@ehr.ufmg.br

Recebido: 17/12/10 - revisado: 28/04/11 - aceito: 06/09/11

RESUMO

A rede de distribuição responde comumente pela maior parcela dos recursos financeiros necessários à implantação do sistema de abastecimento de água. Estima-se o risco de falhas na rede de distribuição - que podem culminar com a substituição das tubulações - a partir de fatores hidráulicos e sanitários, além de especificidades locais. Neste contexto, o presente trabalho propõe-se a definir metodologia de priorização da reabilitação das redes de distribuição de água. Para tal, definiram-se inicialmente critérios e subcritérios mais facilmente obtíveis que representassem os fatores intervenientes na reabilitação das redes. Posteriormente, um grupo de especialistas foi consultado acerca da relevância dos mesmos e as prioridades foram estabelecidas por meio da técnica de auxílio à decisão denominada Método da Análise Hierárquica. Por fim, este método foi aplicado a uma rede de distribuição de água, na qual foram identificados os trechos de substituição mais prementes. Intenta-se, em última instância, fornecer aos gestores dos sistemas de abastecimento ferramenta adicional para nortear as futuras intervenções e conferir maior racionalidade, e eventual redução, na aplicação dos investimentos.

Palavras-chave: Rede de distribuição de água, Método da Análise Hierárquica, reabilitação de redes de distribuição.

INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA

A rede de distribuição integra o sistema de abastecimento de água e constitui-se de tubulações e órgãos acessórios que objetivam fornecer à população água potável ininterruptamente em quantidade e pressões adequadas. Estima-se que as redes de distribuição possam responder por até 75% do custo total de implantação do sistema de abastecimento.

Quando da implantação de um novo sistema de abastecimento, a operação inicial dá-se com pequenas taxas de falhas. Dependendo da conjunção de fatores adversos locais, tais como carga de tráfego, movimento do solo, variação de temperatura e condições do escoamento no interior da tubulação, falhas nas tubulações começarão a ocorrer. À medida que correm os anos, com a combinação desses fatores, as falhas tornam-se mais frequentes, comprometendo a qualidade do serviço prestado pelas concessionárias de abastecimento de água.

Assim, há necessidade de se preservar e prolongar a vida deste investimento por meio de adequadas técnicas de gestão, de forma a permitir que o planejamento dos recursos preceda a ocorrência das falhas.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma metodologia para priorizar a reabilitação das tubulações das redes de distribuição de água. Para tal, selecionaram-se parâmetros que pudessem identificar a degradação nos condutos e, para a seleção dos trechos a serem reabilitados, utilizou-se análise multicritério para tomada de decisão por meio do Método de Análise Hierárquica.

Não é objetivo deste trabalho apresentar as técnicas de reabilitação disponíveis, assim como a identificação daquela a ser empregada para cada trecho. O tipo de reabilitação a ser adotado deve ser analisado caso a caso, já que estão disponíveis no mercado diferentes tipos, podendo ser necessário estudo financeiro para a definição da técnica a ser adotada.

OBJETIVOS

Conforme salientado, o objetivo geral do trabalho consiste em desenvolver metodologia para auxiliar o planejamento da reabilitação das tubulações das redes de distribuição de água. Adicionalmente, o trabalho também se propõe a:

- i. identificar os principais parâmetros relacionados à deterioração das tubulações;
- ii. definir hierarquização dos parâmetros (critérios e subcritérios) para avaliar a necessidade de recuperação dos condutos;
- iii. avaliar, com a utilização de técnica de auxílio multicritério à decisão, a importância de cada um dos critérios e subcritérios na indicação de falhas em tubulações visando a priorizar a reabilitação dos tubos da rede de distribuição de água;
- iv. aplicar a metodologia em escala real.

FATORES INTERVENIENTES NA DEGRADAÇÃO DAS TUBULAÇÕES

Tabela 1 - Principais causas de vazamentos nos sistemas de abastecimento de água.

Causas internas		Causas externas	
Material	<ul style="list-style-type: none"> - Qualidade insatisfatória - Corrosão - Envelhecimento 	Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> - Carga de tráfego - Agressividade do solo (corrosão externa) - Desastres naturais - Deslizamentos - Movimentos sísmicos
Execução	<ul style="list-style-type: none"> - Projeto inadequado - Assentamento e Encaixes inadequados - Mão-de-obra insatisfatória 		
Operação	<ul style="list-style-type: none"> - Golpe de aríete - Pressão elevada 		

Fonte: Adaptado de Sapporo (1994, *apud* Tsutiya, 2005).

O surgimento eventual ou recorrente de deterioração das tubulações reflete em falhas na rede de distribuição de água. Os efeitos são variados e podem levar a riscos sanitários, rupturas, vazamentos, prejuízos financeiros, desperdício de água ou simples transtornos aos usuários. Sendo assim, é necessário acompanhar a evolução da degradação dos componentes das redes. Entretanto, tubos enterrados não são facilmente observáveis. Mesmo que se pudesse observá-los, a grande extensão das redes torna difícil sua operação acompanhando o estado de conservação interno e externo de cada conduto. Ainda que os riscos de

degradação sejam múltiplos, é necessário minimizar as falhas, reduzindo assim os danos sociais, econômicos e financeiros.

Extenso rol de fatores hão de influir na degradação das tubulações que constituem as adutoras e as redes de distribuição dos sistemas de abastecimento de água. Na Tabela 1 apresentam-se as principais causas dos vazamentos nas tubulações.

Apesar de listadas separadamente, as falhas em condutos das redes de distribuição comumente resultam da associação das mencionadas causas.

CONSEQUÊNCIAS DA DEGRADAÇÃO DAS TUBULAÇÕES

A idade da rede de distribuição somada aos fatores inerentes à degradação citados anteriormente têm favorecido a deterioração destes condutos. Segundo Kleiner (1997), esta pode se manifestar pelo:

- aumento da taxa de rupturas nos tubos devido à deterioração da integridade estrutural, causando aumento nos custos de manutenção e de operação, aumento da perda de água tratada, interrupção do tráfego e de processos industriais, entre outros;
- deterioração da qualidade da água na rede de distribuição devido à condição interna dos tubos, podendo favorecer eventos de sabor e odor, problemas estéticos e em casos extremos danos à saúde da população abastecida;
- elevação da rugosidade absoluta – e da perda de carga à mesma associada –, ocasionando redução da capacidade hidráulica dos condutos, aumento do consumo de energia e redução da qualidade do serviço ao público.

REABILITAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Na bibliografia consultada, foram encontrados estudos relacionados à reabilitação das redes de água. Cabe destacar o CARE-W (*Computer Aided Rehabilitation of Water Networks*), desenvolvido por grupos de pesquisa europeus, que se constitui em fer-

ramenta de apoio à decisão permitindo aos gestores estabelecer e manter uma gestão eficaz dos sistemas de água. Fundamenta-se em uma abordagem proativa, ou seja, reabilitam-se os condutos com o menor custo, antes que a falha ocorra. Para tanto foram desenvolvidos painel de indicadores de desempenho, ferramentas de modelagem para análise e previsão de falhas, modelo de análise da fiabilidade hidráulica da rede, procedimento para a definição de plano de reabilitação anual e planejamento de investimentos a longo prazo (10 a 20 anos), a serem aplicados com a utilização do *software*.

O projeto SIROCO (*Système Intégré d'aide au Renouvellement Optimisé des Conduites adapté aux petites et moyennes collectivités distributrices d'eau potable*), financiado pelo Ministério da Integração francês, foi criado com o objetivo de desenvolver uma ferramenta para pequenas e médias empresas de distribuição de água priorizarem a reabilitação dos condutos, pois o CARE-W é geralmente utilizado para companhias maiores com dados suficientes (Renaud *et al.*, 2007).

Kleiner (2007) desenvolveu metodologia para a seleção da técnica de reabilitação a ser adotada para cada conduto e quando deve ser implantada. Tal metodologia minimiza os custos de reabilitação e de manutenção em um horizonte de tempo definido e sujeito a restrições. A mesma considera a deterioração durante o tempo da integridade estrutural e da capacidade hidráulica de todos os tubos do sistema.

ANÁLISE MULTICRITÉRIO E MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

Segundo Gomes *et al.* (2004), os métodos de auxílio multicritério à decisão surgiram na década de 1970, para auxiliar os decisores na resolução de problemas com vários objetivos a serem alcançados simultaneamente. Estes métodos permitem ainda a consideração de características importantes, mesmo que sejam não quantitativas. Adicionalmente, o elevado número de informações necessárias à avaliação de cada alternativa e a subjetividade são as principais desvantagens.

Existem alguns métodos para avaliação de alternativas, entretanto não há consenso dos especialistas para a escolha do mais adequado em cada estudo (Ortolano, 1997 *apud* Castro, 2007). Dentre estes, podem ser citados o Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process – AHP*), Teoria de Utilidade Multiatributo, métodos da família Electre,

Prométhée, entre outros. Os dois primeiros são representantes da Escola Americana, e os outros dois da Escola Francesa de Apoio Multicritério à Decisão.

Para a presente pesquisa adotou-se o método de auxílio multicritério à decisão denominado Método de Análise Hierárquica (MAH) por ser de fácil utilização e permitir a programação em planilha eletrônica. Adicionalmente, com o aperfeiçoamento da metodologia na determinação dos critérios, subcritérios e faixas de classificação, a planilha pode ser mais facilmente adaptada.

O MAH constitui-se em uma técnica de auxílio multicritério à decisão desenvolvida por Thomas L. Saaty (1991), utilizada na definição de prioridades e na escolha da melhor alternativa, podendo ser considerados aspectos quantitativos e qualitativos. O mesmo autor cita sua adoção em estudos na área de administração pública, para a alocação de recursos em projetos, aplicações militares e políticas, entre outras (Saaty, 2008). Os passos a serem seguidos para a aplicação do método baseiam-se em:

- definir o problema e determinar o tipo de conhecimento pretendido;
- estruturar uma hierarquia;
- construir um conjunto de matrizes de comparação paritária;
- determinar a consistência dos julgamentos.

Hierarquia

A estruturação de uma hierarquia é um dos maiores desafios para a adoção do método. Os critérios e subcritérios devem ser selecionados de forma que representem o problema e que influenciem diretamente o objetivo. A hierarquia deve ser organizada de forma que no topo esteja o objetivo e, nos níveis seguintes os critérios, subcritérios e alternativas, conforme a Figura 1.

A estruturação do problema em hierarquia proporciona visão global do mesmo, além de facilitar o julgamento sobre a comparação dos elementos (Al-Khalil *et al.*, 2005). Para a construção da hierarquia é importante observar se os elementos de cada nível são independentes. Idealmente, a hierarquia deve ser grande o suficiente para captar todos os critérios importantes envolvidos no processo de tomada de decisão, mas pequena o suficiente para que o problema seja flexível e significativo (Alford, 2004).

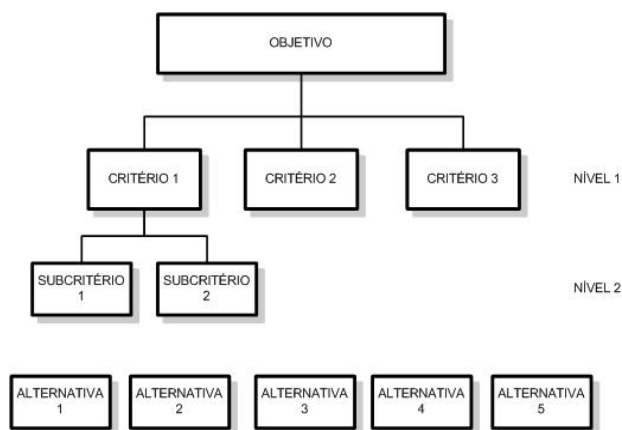


Figura 1 - Estrutura típica de uma hierarquia.

Comparação paritária

Após a hierarquização dos elementos, estes devem ser ponderados. As prioridades são determinadas por meio da comparação par a par entre os elementos de um mesmo nível e sua influência nos elementos do nível superior. Dessa forma, na ponderação dos critérios da hierarquia apresentada na Figura 1, o critério 1 é comparado aos critérios 2 e 3, que são também comparados entre si, segundo o objetivo. Os subcritérios 1 e 2 são comparados ao critério 1, e assim sucessivamente. A utilização deste tipo de comparação permite ao decisor avaliar a importância relativa entre dois critérios ou subcritérios, não sendo necessário ordenar ou definir a intensidade de importância do conjunto. Desta forma, a comparação par a par reduz a complexidade da avaliação de vários critérios simultaneamente.

Para a realização das comparações, é necessária uma escala que indique o quanto um elemento é mais importante ou dominante em relação a outro, de acordo com o critério ou propriedade que são comparados. A escala de comparações para a aplicação do MAH é dada através das intensidades de importância, cujos valores variam entre 1, que indica atividades de mesma importância, ou seja, as duas atividades contribuem igualmente para o objetivo; e 9 - importância absoluta -, onde a evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza. O valor 3 demonstra à importância moderada - a experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra; a intensidade 5 importância forte, onde a experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra; e a intensidade 7 corresponde à importância muito forte ou demons-

trada, onde uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática. Já os valores 2, 4, 6 e 8 representam intensidades de importância intermediária as definidas para as intensidades 1, 3, 5, 7 e 9, respectivamente.

Os julgamentos adotados para as comparações devem ser agrupados em uma matriz quadrada. Para cada nível da hierarquia deve ser adotada uma matriz, que possua os elementos pertencentes a este nível na primeira linha e na sua coluna da esquerda. Em cada uma delas, o preenchimento é feito com a comparação do elemento que aparece na coluna à esquerda com o da linha superior. Os julgamentos a_{ij} e a_{ji} da matriz possuem valores inversos, ou seja, se $a_{ij}=\alpha$, então $a_{ji}=1/\alpha$, com $\alpha \neq 0$. Além disso, se dois elementos são considerados igualmente importantes, tem-se $a_{ij}=1$, $a_{ji}=1$, logo $a_{ii}=1$. Assim, é necessário comparar apenas os elementos acima da diagonal principal da matriz, já que a diagonal principal contém valores iguais à unidade e os julgamentos abaixo da mesma possuem valores inversos. Na Figura 2 apresenta-se a forma de uma matriz de comparação.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 2 - Matriz de comparações paritárias.

Vetor prioridade

Após a comparação dos elementos de cada matriz, é necessário calcular o vetor prioridade. A determinação do vetor de prioridades das matrizes é realizada, em termos matemáticos, por meio do cálculo do principal autovetor que, após normalizado, torna-se vetor de prioridades. Segundo Saaty (1991), esta resolução pode ser efetuada de forma exata (na qual é necessário o auxílio de computador) ou por meio de aproximações. O modo computacional mais rápido para se obter o vetor consiste em aumentar a matriz para potências sucessivamente elevadas ao quadrado cada vez. As linhas são somadas e normalizadas. O computador é programado para parar quando a diferença entre esta soma, em dois cálculos consecutivos, for menor que o valor prescrito.

Consistência dos julgamentos

Coerência perfeita é de difícil obtenção na comparação paritária, porém, um nível aceitável de consistência deve ser obtido na realização dos julgamentos. Para determinar a consistência de uma matriz de comparações, a razão de consistência (RC) deve ser calculada, sendo aceitáveis valores inferiores a 0,10. O cálculo de RC inicia-se com a determinação de λ_{\max} (denominado de autovalor máximo ou principal), que pode ser estimado conforme descrito a seguir:

- a matriz de comparações paritárias deve ser multiplicada pelo vetor de prioridades, obtendo um novo vetor;
- divide-se o primeiro valor deste vetor pelo primeiro valor do vetor de prioridades, o segundo componente do novo vetor pelo segundo componente do vetor de prioridades, e assim por diante, para se obter outro vetor;
- a soma dos valores deste vetor deve ser dividida pelo número de elementos, obtendo-se uma aproximação para λ_{\max} .

Quanto mais próximo o valor de λ_{\max} de n (ordem da matriz), mais consistente será o resultado. O desvio de consistência, denominado de índice de consistência (IC) é dado pela Equação 1.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

A razão de consistência (RC), por sua vez, é dada pela Equação 2.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Na qual IR é o índice randômico, obtido por estudiosos, por meio de cálculos utilizando amostras de tamanho 100 e 500, para matrizes de ordem até 15x15.

Na Tabela 2 apresentam-se os valores de IR em função da ordem da matriz.

Tabela 2 - Índice Randômico

Ordem	IR	Ordem	IR	Ordem	IR
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,90	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

Fonte: Saaty (1991).

Método de Análise Hierárquica com escala de classificação

Quando o número de alternativas de uma hierarquia é muito elevado, muito tempo pode ser despendido para a realização da comparação paritária. Para a simplificação do processo, os elementos utilizados podem ser divididos em diferentes categorias. Desta forma, para cada elemento (critério, subcritério), deve ser definida uma categoria. Uma matriz de comparação paritária entre as categorias é determinada e então calculado o vetor prioridade.

Após a determinação do vetor prioridade para as categorias, ele é normalizado, por meio da divisão de cada valor pelo maior valor obtido no vetor prioridade, obtendo-se, assim, as prioridades idealizadas. Como consequência, o peso dado para a opção mais relevante será igual a um. Assim, cada alternativa é avaliada por meio da seleção de sua categoria para cada subcritério, e não pela comparação paritária.

Os totais são obtidos pela soma das prioridades idealizadas multiplicadas pelos pesos de cada critério/subcritério. A determinação de cada prioridade é dada pela normalização, ou seja, o primeiro valor total deve ser dividido pelo somatório de todos os demais.

Segundo Saaty (2008), os dois métodos não apresentam exatamente as mesmas prioridades. O método relativo, para o qual as alternativas são comparadas entre si sobre os vários critérios é mais exato. O método que utiliza a escala de comparação tem a vantagem de relacionar um grande número de alternativas rapidamente, e os resultados são aproximados.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho tem como objetivo definir uma hierarquia visando à reabilitação dos condutos de uma rede de distribuição de água. Desta forma, será possível determinar quais tubos estão submetidos às condições mais adversas de funcionamento, e assim, mais propícios a falhas.

Após definir o objetivo, segundo o MAH, é necessário construir uma hierarquia. Os critérios selecionados para este trabalho foram *Avaliação Hidráulica* e *Inspeção*. Para o primeiro critério estabeleceram-se os subcritérios *Pressão Estática*, *Coefficiente de Perda de Carga* e *Velocidade*. Já para o critério *Inspeção* definiram-se os subcritérios *Reclamações dos Usuários* e *Carga de Tráfego*. A seleção dos critérios e subcritérios considerou sua representatividade e possibilidade de obtenção em sistemas já implantados, visto que alguns parâmetros somente são passíveis de avaliação em redes não enterradas.

Para cada subcritério, estabeleceram-se categorias de classificação, conforme denota a Figura 3.



Figura 3 - Hierarquia proposta para o estudo.

O critério *Avaliação Hidráulica* foi definido visando a abarcar parâmetros que possibilitem a análise teórica do escoamento da água na tubulação. Já o critério *Inspeção* objetivou identificar as irregularidades existentes na rede de distribuição. Para a sua avaliação é de fundamental importância a coleta e o registro sistemático de informações de índices operativos para quantificar e qualificar as perturbações no sistema de distribuição. Os subcritérios selecionados para a hierarquia são descritos a seguir.

• Pressão Estática

A pressão de interesse é a estática, ou seja, sob condição de consumo nulo. A pressão estática máxima, se não superada, garante a integridade estrutural dos tubos e também a redução das perdas de água. A NBR 12218 (ABNT, 1994) estabelece que a pressão máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa (aproximadamente 50 mca), porém valores da pressão estática superiores à máxima podem ser aceitos, desde que justificados técnica e economicamente. Desta forma, no presente estudo adotaram-se três faixas para a classificação destas pressões: $50 < P \leq 70$ mca, $70 < P \leq 90$ mca e $P > 90$ mca.

• Coeficiente de Perda de Carga

O coeficiente de perda de carga depende do material do tubo, do tempo de utilização e das características da água escoada. Com o correr dos anos e a inexorável degradação dos condutos, verifica-se variação deste coeficiente. Neste trabalho considerou-se a utilização da equação empírica de Hazen-Williams e do seu coeficiente de perda de carga C. Sendo assim, deve ser determinada a redução percentual deste coeficiente se comparado ao valor considerado para tubos novos. Para as categorias adotaram-se três faixas de redução do coeficiente para a priorização dos tubos quanto à reabilitação: $0\% < \text{redução} \leq 20\%$, $20\% < \text{redução} \leq 40\%$ e $\text{redução} > 40\%$.

• Velocidade

A velocidade mínima é estabelecida para minimizar a corrosão interna e evitar deposição de materiais em suspensão porventura existentes na água, inclusive os decorrentes de processos corrosivos no interior das tubulações. A velocidade máxima, por sua vez, é estabelecida para evitar os efeitos dinâmicos nocivos associados ao escoamento da água (sobrepensões devidas ao golpe de aríete), ao desgaste das tubulações por problemas de erosão, ao controle da corrosão e aos ruídos desagradáveis. Como consequência, limita-se a magnitude da perda de carga na tubulação. De acordo com a NBR 12218 (ABNT, 1994), a velocidade mínima nas tubulações deve ser de 0,6 m/s, e a máxima, de 3,5 m/s, valores considerados para a classificação dos trechos analisados.

• Reclamações dos Usuários

O subcritério tem a finalidade de evidenciar se no trecho analisado houve clientes insatisfeitos com relação à pressão, qualidade da água, vazamentos e desabastecimento. Desta forma, o

registro com as reclamações dos usuários devem ser analisados para cada trecho em estudo. O subcritério considera ainda a localização destas reclamações pela seleção do tipo de rede (principal ou secundária). Consideram-se os tubos principais de uma rede os de maior diâmetro, responsáveis pelo abastecimento dos trechos de tubulação secundária, de menor diâmetro, que abastecem diretamente os pontos de consumo.

- **Carga de Tráfego**

A carga proveniente do tráfego de veículos sobre os tubos pode afetar sua integridade estrutural, já que pode causar vibrações e acrescentar cargas. Consideram-se o assentamento da tubulação sob passeio, via de tráfego intenso ou reduzido de veículos. As vias classificadas como de tráfego intenso são as principais da cidade, com grande fluxo de veículos. Já o tráfego reduzido ocorre em vias com trânsito local, com baixa circulação de veículos.

Dentre as categorias selecionadas para cada um dos subcritérios, há faixas de classificação consideradas como não contribuintes para a avaliação da propensão dos tubos às falhas. Assim, determinada tubulação pode estar submetida a uma categoria não considerada como prioritária. Por exemplo: Pressão estática $P \leq 50$ mca, redução do coeficiente de perda de carga nula, velocidade $0,6 \leq U \leq 3,5$ m/s e trechos onde não há reclamações dos usuários. Para estes casos, deve ser adotado valor zero para a prioridade idealizada.

Hipóteses adotadas

O MAH prevê a utilização de critérios/subcritérios independentes. Assim, questões relacionadas à qualidade da água não foram consideradas, uma vez que estas influenciam o *Coefficiente de Perda de Carga* e as *Reclamações dos Usuários*. Por exemplo, águas duras podem causar incrustações, ou seja, a deposição progressiva de substâncias presentes na água e a formação de camadas aderentes, reduzindo o diâmetro útil dos tubos e alterando a sua rugosidade. Além disso, considerou-se que, em municípios com apenas uma captação, a análise dos parâmetros inerentes à água promoveria pequena alteração na ordenação dos trechos, já que o impacto da qualidade da água seria semelhante em praticamente toda a rede. Igualmente, o material dos tubos também não foi considerado por estar indiretamente contemplado no subcritério *Coefficiente de Perda de Carga*.

Outros subcritérios foram descartados por serem de difícil obtenção caso a rede de distribuição

já esteja implantada e a concessionária não possua cadastro com as informações, tais como tipo e agressividade do solo, recobrimento do tubo na vala, entre outros.

Pesquisa de opinião

Definidos os critérios e subcritérios a serem avaliados, foi necessário determinar sua importância relativa, obtida através da comparação par a par. Para a obtenção de comparações representativas, realizou-se pesquisa de opinião, para a qual foram consultados especialistas nas áreas de pesquisa, operação e projeto de redes de distribuição de água, totalizando 19 participantes. Optou-se pela consulta a especialistas pelo fato das intensidades de importância adotadas influenciarem a priorização dos trechos.

As comparações paritárias foram adquiridas pelo questionário enviado aos participantes. Este compôs-se por introdução, na qual apresentou-se a hierarquia proposta, seguida pelas instruções para o preenchimento e pelos quadros com as comparações e, por último, a descrição dos critérios, subcritérios e categorias selecionados. Além disso, logo após a avaliação comparativa, facultou-se ao participante acrescentar observações, críticas e/ou sugestões.

O questionário foi enviado por e-mail aos 19 participantes e, posteriormente, foi tentado contato telefônico àqueles que não haviam enviado a resposta. Destes, oito enviaram o questionário preenchido, obtendo um total de 42% de participação.

Para cada uma das comparações, os participantes foram orientados a selecionar o critério/subcritério preferencial e sua intensidade de importância, que pode variar de igual, pequena, grande, muito grande ou absoluta. A conversão dessa intensidade em valor numérico fundamentou-se na escala de comparações definida para o Método de Análise Hierárquica. Sendo assim, para intensidades de importância igual adotou-se valor 1, o valor 3 à pequena intensidade, a uma importância grande de um critério/subcritério comparado ao outro conferiu-se valor 5 e os valores 7 e 9 aplicaram-se às intensidades muito grande e absoluta, respectivamente.

Algumas opções de classificação das categorias foram excluídas após o envio do questionário aos participantes. Pressões estáticas menores ou iguais a 50 mca e velocidades entre 0,6 e 3,5 m/s não foram considerados valores característicos da degradação dos condutos. Da mesma forma, tubos que não apresentam redução do coeficiente de per-

da de carga da equação empírica de Hazen-Williams e trechos sem reclamações dos usuários não devem contribuir para a identificação da tubulação degradada. Considerou-se também que as interrupções já estão contempladas no subcritério *Reclamações dos Usuários*.

Aplicação em escala real

Para aplicação da metodologia de priorização da reabilitação utilizaram-se informações de uma rede de distribuição de água que abastece população da ordem de 31 mil habitantes, operada por Autarquia Municipal. Após etapas de captação, adução por recalque, tratamento e reservação, a distribuição efetua-se por meio de tubos de ferro fundido, PVC e PVC DEFOFO. O diâmetro dos condutos varia de 20 a 250 mm, com comprimento total de 80.176 m. A distribuição em cinco bairros complementa-se por reservatórios alimentados por *boosters*.

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água distribuída – monitorados no laboratório da própria autarquia – estão em consonância às recomendações Portaria 514 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004). Os parâmetros odor e gosto foram não objetáveis e observou-se ao longo de 2008 valor médio de dureza total inferior a 6 mg/L CaCO_3 (para valor máximo permissível de 500 mg/L CaCO_3).

Análise hidráulica da rede de distribuição

Para a aplicação do MAH, selecionaram-se 199 trechos da rede de distribuição. As características dos trechos foram obtidas através da consulta ao arquivo com o cadastro da rede, aos projetos, ao arquivo das fichas de reclamações dos usuários, ao Relatório Anual de Atividades/2008, ao cadastro com a relação dos volumes reais mensais por zona de medição e por informações verbais dos funcionários da autarquia.

- **Pressão estática**

A pressão estática foi determinada através da diferença entre o nível de água máximo do reservatório e a cota de cada um dos nós. Para a adoção da pressão estática em cada trecho considerou-se a situação mais desfavorável, ou seja, a maior delas quando comparados os nós inicial e final.

- **Coefficiente de perda de carga**

Para a estimativa do coeficiente de perda de carga foram considerados o material do tubo, tempo de utilização e qualidade da água transportada. Conforme mencionado, a água distribuída não apresentava características passíveis de intensificar a degradação dos condutos.

O tempo de utilização dos tubos apresentava significativa variabilidade. Os tubos de ferro fundido, localizados principalmente na região central da cidade, eram os mais antigos – anterior à própria criação da autarquia – em operação há mais de 38 anos. Já os tubos de PVC e PVC DEFOFO foram instalados em diferentes datas. Estimou-se seu tempo de utilização tendo em vista as datas dos projetos e a experiência do engenheiro da autarquia, compreendendo o período de 1995 a 2004. Para os tubos de PVC, não foi considerada alteração do coeficiente de perda de carga, já para os tubos de ferro fundido, os coeficientes de perda de carga foram obtidos na Tabela 3.

- **Velocidade**

A velocidade foi estimada por meio da simulação computacional da rede com o *software* EPANET, desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA). O programa permite a execução de simulações estáticas e dinâmicas do comportamento e da qualidade da água em redes de distribuição. Desta forma, a partir da Planta de Referência Cadastral, fornecida pela autarquia, obtiveram-se as coordenadas dos nós, comprimento, material e diâmetro dos trechos. As cotas topográficas dos nós foram obtidas na planta topográfica e semi-cadastral com o cadastro da rede existente (setembro/1986). O consumo-base considerado nos nós foi obtido por meio da vazão média efluente à estação de tratamento (57 L/s), dos volumes reais mensais do período de abril/2009 a agosto/2009 e dos volumes por zona de medição referente ao mês de agosto/2009.

- **Reclamações dos usuários**

Para o estudo utilizaram-se as fichas com o registro das reclamações dos usuários referentes a pressão, qualidade da água, vazamentos e falta de água, no período de setembro/2008 a agosto/2009. De posse do endereço do usuário, foi identificado o trecho afetado no cadastro da rede, e este classificado como principal ou secundário.

Tabela 3 - Valores do coeficiente C segundo dados analisados por Hazen-Williams.
Tubos de ferro fundido sem revestimento interno.

Diâmetro (mm)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	750	900	1050	1500
Anos														
(**)	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
0	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
5	117	118	119	120	120	120	120	120	120	120	121	122	122	122
10	106	108	109	110	110	110	111	112	112	112	113	113	113	113
15	96	100	102	103	103	103	104	104	105	105	106	106	106	106
20	88	93	94	96	97	97	98	98	99	99	100	100	100	100
25	81	86	89	91	91	91	92	92	93	93	94	94	94	95
30	75	80	83	85	86	86	87	87	88	89	90	90	90	91
35	70	75	78	80	82	82	83	84	85	85	86	86	87	88
40	64	71	74	76	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
45	60	67	71	73	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81
50	56	63	67	70	71	72	73	73	74	75	76	76	77	78

(**) O valor 140 correspondente ao início do funcionamento de linhas muito bem executadas, com tubos de boa qualidade.

Fonte: AZEVEDO NETTO (1998).

• Carga de tráfego

Por fim, a identificação dos trechos de tubos instalados sob passeio ou via pública foi obtida similarmente por intermédio de informações dos funcionários da autarquia. A posterior classificação das vias em tráfego intenso e reduzido deu-se pelas mesmas informações e por observações *in loco*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pesquisa de opinião

Conforme recomendado por Saaty (2008), a agregação dos julgamentos dos participantes da pesquisa de opinião em um julgamento único deve ser realizada com a aplicação da média geométrica. Na Tabela 4 apresenta-se, entre parêntese e ao lado da preferência, o resultado da média geométrica das notas atribuídas pelos participantes para cada uma das comparações, tendo em vista a reabilitação das tubulações.

Os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciam a igual relevância dos critérios *Avaliação Hidráulica* e *Inspeção*. Dentre os subcritérios referentes à *Avaliação Hidráulica*, observa-se a priorização do *Coeficiente de Perda de Carga*, seguido pela *Velocidade* e *Pressão Estática*. Já para a *Inspeção*, as *Reclamações dos Usuários* foram significativamente mais relevantes que a *Carga de Tráfego*.

Tabela 4 - Julgamento para as comparações paritárias.

Critério	Subcritério	
Avaliação Hidráulica (1,0)	Pressão estática	Coef. de perda de carga (1,3)
	Pressão estática	Velocidade (1,6)
	Coef. de perda de carga (1,4)	Velocidade
Inspeção (1,0)	Reclamação usuários (6,4)	Carga de tráfego
Categorias		
Pressão Estática	P > 90 mca (4,1)	70 < P ≤ 90 mca
	P > 90 mca (5,7)	50 < P ≤ 70 mca
	70 < P ≤ 90 mca (4,2)	50 < P ≤ 70 mca
Redução do coef. de perda de carga	Acima de 40% (5,3)	Entre 20% e 40%
	Acima de 40% (6,1)	Inferior a 20%
	Entre 20% e 40% (3,4)	Inferior a 20%
Velocidade	U > 3,5 m (1,9)	U < 0,6 m/s
Recl. de usuários	Em rede principal (5,2)	Em rede secundária
Carga de Tráfego	Tráfego intenso (4,8)	Tráfego reduzido
	Tráfego intenso (5,2)	Passeio
	Tráfego reduzido (3,5)	Passeio

Aplicação em escala real

Após a obtenção de um julgamento único para os critérios, subcritérios e categorias procederam-se à determinação dos vetores de prioridade, realizada por meio de planilha eletrônica. Na Figura 4 apresentam-se as matrizes de comparação paritária, juntamente com os vetores de prioridade (VP) obtidos e as razões de consistência (RC).

Objetivo		Avaliação	
		Hidráulica	Inspeção
Avaliação Hidráulica		1,00	1,00
Inspeção		1,00	1,00
VP = (0,50; 0,50)			
		Pressão	Perda
		Estática	de Carga
Avaliação Hidráulica		1,00	0,77
Pressão Estática		1,30	1,00
Perda de carga		1,60	0,71
Velocidade		1,00	1,00
VP = (0,257; 0,400; 0,343) RC = 0,028			
		Rec.Usuários	Carga de Tráf
Inspeção		1,00	6,40
Recl. Usuários		0,16	1,00
Carga de Tráf		1,00	1,00
VP = (0,865; 0,135)			

Figura 4 - Matrizes de comparação paritária dos critérios e subcritérios, vetores de prioridades e razões de consistência.

Para a obtenção da consistência exigida pelo método ($RC \leq 0,10$), foi necessário alterar alguns julgamentos para as comparações. Assim, as notas obtidas através da média geométrica foram acrescidas ou subtraídas de valores múltiplos de 0,10. No entanto, procurou-se conservar o vetor de prioridade obtido. Para as matrizes de ordem 2 não houve inconsistência, já que há somente uma comparação paritária.

Na Figura 5 apresentam-se as matrizes de comparação paritária das categorias, os vetores de prioridades, prioridades idealizadas e razões de consistência, e na Tabela 5 as prioridades para os critérios e subcritérios, e as prioridades idealizadas para as categorias.

De acordo com os julgamentos obtidos, após a aplicação do MAH, ambos critérios com o mesmo peso (0,500), ou seja, a *Avaliação Hidráulica* e a *Inspeção* contribuem igualmente para a avaliação dos trechos degradados. Entre os subcritérios, as *Reclamações dos Usuários* possuem a maior importân-

cia na avaliação da priorização (0,865), seguida pelo *Coefficiente de Perda de Carga* (0,400). A *Velocidade* possui prioridade igual a 0,343, a *Pressão Estática* 0,257 e a *Carga de Tráfego* a menor contribuição (0,135).

Pressão	P>90 mca	70<P≤90 mca	50<P≤70 mca
Estática			
P>90 mca	1,00	4,00	5,80
70<P≤90 mca	0,24	1,00	4,00
50<P≤70 mca	0,18	0,24	1,00
VP = (0,679;0,238;0,083)			
PI = (1,000; 0,351; 0,123) RC = 0,099			
Redução do coef. de perda de carga	Acima de 40%	Entre 20% e 40%	Inferior a 20%
Acima de 40%	1,00	5,20	6,10
Entre 20% e 40%	0,19	1,00	3,20
Inferior a 20%	0,16	0,31	1,00
VP = (0,721;0,194;0,085)			
PI = (1,000; 0,269; 0,117) RC = 0,097			
Velocidade	Superior a 3,5 m/s	Inferior a 0,6 m/s	
Superior a 3,5 m/s	1,00	1,90	
Inferior a 0,6 m/s	0,53	1,00	
VP = (0,655; 0,345) PI =(1,00; 0,526)			
Reclamações	Em rede principal	Em rede secundária	
Em rede principal	1,00	5,20	
Em rede secundária	0,19	1,00	
VP = (0,839; 0,161) PI =(1,00; 0,192)			
Carga de tráfego	Tráfego intenso	Tráfego reduzido	Passeio
Tráfego intenso	1,00	4,60	5,40
Tráfego reduzido	0,22	1,00	3,20
Passeio	0,19	0,31	1,00
VP = (0,696;0,211;0,092)			
PI = (1,000; 0,304; 0,133) RC = 0,097			

Figura 5 - Matrizes de comparação paritária das categorias, vetores de prioridades, prioridades idealizadas e razões de consistência.

Após definição das prioridades, os trechos da rede de distribuição selecionados foram classificados para cada uma das categorias. Determinaram-se as prioridades idealizadas para cada trecho, o total e as prioridades finais, com os trechos ordenados pelas prioridades finais em ordem decrescente. O total é obtido multiplicando-se as prioridades dos

critérios e subcritérios pelas prioridades de cada uma das categorias e somando-as. O total é convertido para prioridades dividindo cada um pela soma dos totais.

Tabela 5 - Prioridades para os critérios e subcritérios e prioridades idealizadas para as categorias.

AVALIAÇÃO HIDRÁULICA VP=0,50	Pressão Estática VP=0,257	Coeficiente de perda de carga VP=0,400	Velocidade VP=0,343
	P>90 mca PI=1,00	Redução acima de 40% PI=1,00	Superior a 3,5m/s PI=1,00
	70<P≤90 mca PI=0,351	Redução entre 20% e 40% PI=0,269	Inferior a 0,6m/s PI=0,526
	50<P≤70 mca PI=0,123	Redução inferior a 40% PI=0,117	
	Recl. usuários VP=0,865	Carga de tráfego VP=0,134	
	Rec. em rede principal PI=1,00	Via de tráfego intenso PI=1,00	
INSPEÇÃO VP=0,50	Reclamações em rede secundária PI=0,192	Via de tráfego reduzido PI=0,304	
		Passeio PI=0,133	

Tabela 6 - Prioridades idealizadas dos trechos, segundo as categorias

Categorias	Número do trecho				
	86	80	81	121	100
Pressão estática	0,351	0,123	0,123	0,123	0,351
Coef. perda de carga	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Velocidade	0,526	0,526	0,526	0,526	0,000
Recl. De usuários	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Carga de tráfego	1,000	1,000	1,000	0,304	1,000
Total	0,835	0,806	0,806	0,759	0,745
Prioridade	0,0147	0,0142	0,0142	0,0134	0,0131

Na Tabela 6 exemplifica-se a priorização de apenas cinco dos trechos da rede de distribuição de água avaliada.

Como os resultados da Tabela 6 evidenciam, os dois trechos (80 e 81) apresentam mesma prioridade (0,0142), ou seja, estão igualmente sujeitos à ação da degradação. Tais trechos distinguem-se do trecho 86 apenas no que tange ao subcritério *Pressão Estática*, na qual estão classificados na faixa compreendida entre 50 e 70 mca.

Os três primeiros trechos selecionados possuem diâmetro variando entre 75 e 200 mm, constituintes de rede principal, com redução do coeficiente de perda de carga maior que 40%, assentados há mais de 38 anos sob via de tráfego intenso.

Análise de Sensibilidade

Este tipo de análise visa a verificar a sensibilidade da classificação obtida, principalmente das primeiras colocações. Para tanto, os parâmetros devem ser variados de forma a se determinar quais são mais sensíveis. Com tal intento, propuseram-se duas formas de comparação dos resultados: com a divisão das intensidades de importância sugeridas pelos participantes em dois grupos e com a variação percentual dos critérios ou subcritérios. No primeiro caso, os participantes da pesquisa de opinião foram divididos em dois grupos: (i) pesquisadores e (ii) operadores + projetistas. Desta forma, cada um dos dois grupos dispunha de quatro participantes que responderam o questionário.

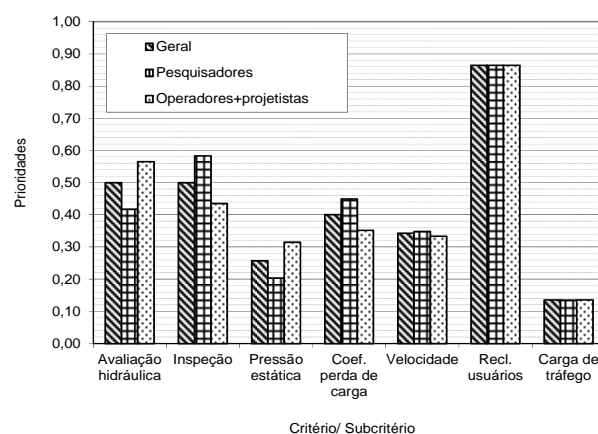


Figura 6 - Prioridades dos critérios e subcritérios antes e após a distinção dos painelistas.

Na primeira análise, com a divisão dos participantes da pesquisa em grupos, o julgamento único foi obtido pela média geométrica das intensidades de importância sugeridas pelos participantes. Na

Figura 6 apresentam-se as prioridades obtidas para os critérios e subcritérios para a classificação obtida anteriormente (denominada como geral) e a resultante desta distinção.

Nesta análise, os subcritérios *Velocidade*, *Reclamações dos Usuários* e *Carga de Tráfego* mantiveram-se praticamente inalterados. Interessante observar que o grupo de pesquisadores conferiu maior relevância ao critério *Inspeção* – atividade desenvolvida pelos operadores na manutenção das redes de distribuição – e estes idem à *Avaliação Hidráulica* (campo de atuação mais usual dos pesquisadores). No mesmo contexto, é compreensível que o subcritério *Coefficiente de Perda de Carga* fosse considerado mais relevante para os pesquisadores, por lhes ser um conceito mais inteligível que aos operadores.

Na Figura 7 apresenta-se o produto entre as prioridades dos critérios e subcritérios, ou seja, uma análise conjunta entre os dois primeiros níveis da hierarquia proposta.

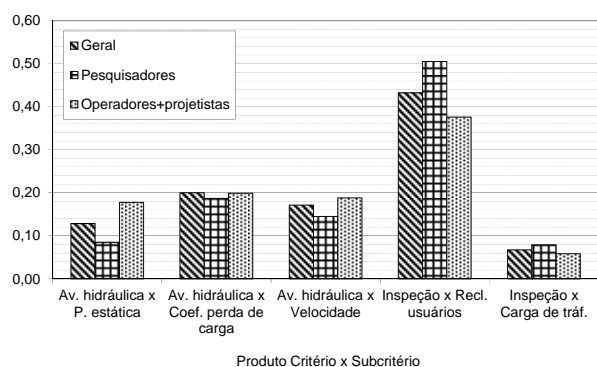


Figura 7 - Produtos das prioridades dos critérios pelos subcritérios antes e após a distinção dos painelistas.

Da análise da Figura 7 depreende-se que houve variação nos valores dos produtos das prioridades dos critérios e subcritérios. No entanto, o produto *Inspeção x Reclamações dos Usuários* é o mais representativo em todas as situações.

Com tais modificações elaborou-se nova ordenação dos trechos para as três situações (geral, pesquisadores e operadores+projetistas). Os dez primeiros trechos mantiveram-se com a mesma ordenação e as alterações evidenciaram a maior premissa na reabilitação dos quatro primeiros em relação aos seis restantes. Para estes, as prioridades

reduziram-se devido à alteração na classificação da *Pressão Estática*. Assim, na avaliação dos pesquisadores há a alteração na 11ª posição. Para a avaliação dos operadores + projetistas há variação apenas na 13ª posição.

Na segunda análise, o julgamento adotado para a comparação dos critérios *Avaliação Hidráulica* e *Inspeção* foram variados do valor inicial 1,0 para os valores 1,1, 1,2 e 1,3. Dessa forma, não há alteração nas prioridades dos subcritérios, e o produto entre estas e as prioridades dos critérios ora eleva a importância da *Avaliação Hidráulica*, ora a da *Inspeção*. A ordenação dos trechos da rede de distribuição somente se modificou a partir do 11º trecho (para *Inspeção* com variação de 1,3).

Novamente a ordenação dos 10 primeiros trechos não foi alterada com a variação nos julgamentos. O método mostrou-se sensível a todas as variações propostas para o critério *Avaliação Hidráulica* na 13ª posição. Para *Inspeção*, a alteração para o valor 1,3 promoveu mudança na ordenação dos trechos na 11ª posição, e para as demais variações, apenas na 23ª posição.

Por fim, os subcritérios foram elevados e reduzidos em 10 e 20%, sendo mantidas as prioridades dos critérios (0,500). Mais uma vez a ordenação praticamente se manteve com pequenas alterações a partir da 13ª posição.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os critérios utilizados para o estudo, *Avaliação Hidráulica* e *Inspeção*, visavam a compatibilizar, respectivamente e equanimemente, a análise teórica e a identificação das irregularidades no funcionamento da rede de distribuição. Conforme denota a Tabela 5, após opinião dos especialistas e aplicação do Método de Análise Hierárquica, os subcritérios e respectivas prioridades foram *Pressão Estática*, (0,128), *Coefficiente de Perda de Carga* (0,200), *Velocidade*, (0,171) *Reclamações dos Usuários* (0,432) e *Carga de Tráfego* (0,068).

Apesar da subjetividade das comparações paritárias inerentes ao método, a análise de sensibilidade mostrou que a variação dos julgamentos promoveu pequena alteração na ordenação dos trechos identificados como os mais



Figura 8 - Localização dos 30 primeiros trechos identificados como mais susceptíveis à ocorrência de falhas.

susceptíveis a falhas na aplicação em escala real da metodologia proposta. Nesta, mantiveram-se os dez primeiros trechos inalterados para todas as variações propostas. Estes trechos constituem-se de tubos de ferro fundido, com diâmetro variando entre 75 e 200 mm, localizados na região central do município e instalados há mais de 38 anos. Para a reabilitação destes trechos, seria necessário intervir em 1.982,6 m de tubos, aproximadamente 6,7% da extensão total de trechos analisados da rede de distribuição. A Figura 8 mostra a planta do sistema estudado e a localização dos 30 primeiros trechos identificados como mais susceptíveis à ocorrência de falhas.

Como os componentes das redes de distribuição de água estão em constante alteração - quer por intervenções realizadas pela concessionária relacionadas à manutenção, quer pela degradação -, torna-se necessária constante reavaliação dos trechos por meio dos parâmetros selecionados. Ressalta-se ainda a importância da calibração da rede de distribuição de água para melhor diagnóstico das tubulações e, em especial, para a obtenção dos coeficientes de perda de carga, pela grande

importância com relação aos demais subcritérios avaliados.

É importante destacar que não foi objetivo deste trabalho a determinação dos tipos de reabilitação que poderiam ser empregados no sistema (simples troca, duplicação, limpeza, instalação de válvula redutora de pressão, boosters, aumento do diâmetro, setorização etc.), sendo esta a etapa seguinte do processo de reabilitação na qual também é levada em consideração a relação custo/benefício.

Por fim, recomenda-se a aplicação da metodologia a outras redes de distribuição de água, e os resultados obtidos comparados à evolução da degradação dos trechos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de mestrado à primeira autora, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do

Estado de Minas Gerais (Fapemig), no contexto do Programa Pesquisador Mineiro.

REFERÊNCIAS

- ALFORD, B. D. - *Two applications involving the analytic hierarchy process*, Thesis. Master of Science (Faculty of the Graduate School of the University of Maryland) - University of Maryland, College Park, 2004.
- AL-KHALIL, M.; ASSAF, S.; AL-ANAZI, F. - Risk-Based Maintenance Planning of Cross-Country Pipelines, *Journal of Performance of Constructed Facilities* – ASCE, v. 19, n. 2, p. 124-131, 2005.
- AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de hidráulica*. 8.^a edição, São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998. 669p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público*, NBR 12218, Rio de Janeiro. 1994.
- GOMES, L. F. A. M. et al. - *Tomada de decisões em cenários complexos*, Ed. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 168 p., 2004.
- KLEINER, Y. - *Water Distribution Network Rehabilitation: Selection and Scheduling of Pipe Rehabilitation Alternatives*. Thesis (Doctor of Philosophy) – Graduate Department of Civil Engineering, University of Toronto, 221 p., 1997.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE - *Normas e Padrão de Potabilidade da Água Destinada ao Consumo Humano*, Portaria 518, Brasília, março 2004.
- ORTOLANO, L. - *Environmental regulation and impact assessment*. Ed. John Wiley & Sons inc. 604p., 1997 *apud* CASTRO, L. M. A. *Proposição de metodologia para avaliação da sustentabilidade da implantação de empreendimentos de desenvolvimento urbano*, Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007
- RENAUD, E. et al. - *SIROCO, a decision support system for rehabilitation adapted for small and medium size water distribution companies*. In: LESAM 2007 – 2nd LEADING EDGE CONFERENCE ON STRATEGIC ASSET MANAGEMENT, Lisboa, 2007.
- SAATY, T. L. - *Método de Análise Hierárquica*, Ed. McGraw-Hill, São Paulo, 367 p., 1991.
- SAATY, T. L. - Decision making with the analytic hierarchy process, *Int. J. Services Sciences*, v. 1, n. 1, p.83–98, 2008.

Application of the Analytic Hierarchy Process Aiming at the Rehabilitation of Water Distribution Networks

ABSTRACT

The water distribution network is commonly responsible for the largest share of financial resources required to implement a water supply system. In this context, the objective of this work is to propose a methodology to prioritize the rehabilitation of water distribution networks, which can provide water supply systems managers with an additional tool to guide their future interventions. For this, criteria and sub-criteria to determine pipe degradation have been selected based on their importance in determining the priorities of rehabilitation and also how easily they can be obtained. Afterwards, specialists in research, operation and design of water distribution networks were asked to evaluate the relative importance of the criteria and sub-criteria. Finally, the methodology was applied to a water distribution network.

Key-words: Water distribution network, Analytic Hierarchy Process, rehabilitation of water distribution networks.