

V-039 - MAPEAMENTO DE RISCO DE ROMPIMENTO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO POR ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP REVISADO) E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Cristiano Gonçalves Nascimento Gouveia⁽¹⁾

Mestrando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos e Especialista em Modelagem de Sistemas Complexos pela Universidade de Brasília – UnB. Especialista em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas – FGV. Analista de Sistemas de Saneamento e Coordenador de Estudos Técnicos de Macrossistemas da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb.

Luiz Carlos Hiroyuki Itonaga

Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília – UnB, Especialista em Engenharia Hidráulica e Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná - UFPR. Analista de Sistemas de Saneamento e Superintendente de Gestão Operacional da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb.

Elvis Pereira de Santana

Mestrando em Estruturas pela Universidade de Brasília – UnB, Especialista em Projetos de Estruturas de Concreto Armado e Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Goiás - UEG. Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb.

João Batista dos Reis Gonçalves

Especialista em Engenharia Sanitária Ambiental pelo Instituto de Pós Graduação de Goiás – IPOG. Engenheiro Civil pela Universidade de Uberaba – UNIUBE. Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb.

Endereço⁽¹⁾: Av. Sibiruna, Lotes 13/21, Centro de Gestão Águas Emendadas, Edifício São Francisco 1º Andar, EPR – Águas Claras - Brasília - DF - CEP: 71928-720 - Brasil - Tel: +55 (61) 3213-7551 - Fax: +55 (61) 3213-7185 - e-mail: CristianoGouveia@caesb.df.gov.br.

RESUMO

As redes são responsáveis por constituir grande parte dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, além de serem ativos que encontram-se, salvo condições especiais, enterradas, além de possuírem a característica intrínseca de dispersão geográfica. Além dessas características, há de se lembrar que as redes operam por décadas, possuem materiais variados, são submetidas às condições operacionais e locais diversas, entre outros fatores, que podem influir na sua predisposição ao rompimento e no seu potencial impacto.

Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma proposta de método para mapeamento e qualificação de riscos dos ativos horizontais de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, sustentado por metodologia multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP revisado) integrada a Sistema de Informações Geográficas, que permita identificar os ativos com maior risco, de forma a servir de ferramenta para auxílio à tomada de decisão para ações preventivas e/ou corretivas na infraestrutura implantada.

O estudo realizado permitiu a qualificação do risco de cada ativo linear dos sistemas de águas e esgotos em termos da probabilidade e do impacto de um rompimento, inclusive em termos da espacialização desta informação, o que permite identificar regiões que apresentam maiores concentrações de redes com elevado risco. Os resultados obtidos poderão ser utilizados como uma ferramenta a mais para subsidiar o processo decisório em termos da gestão de ativos dos sistemas de saneamento.

PALAVRAS-CHAVE: Rompimento de Redes de Saneamento, Análise de Risco, Análise Multicritério, Sistema de Informações Geográficas.

INTRODUÇÃO

A infraestrutura instalada em sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário está sujeita a rompimentos que provocam a interrupção dos serviços prestados à sociedade, gerando inconvenientes sociais, econômicos e ambientais. Estes rompimentos podem ser atribuídos a uma série de fatores cujas causas podem variar entre deterioração da estrutura por antiguidade, pressões operacionais, material, entre outros. Além destes pontos que podem motivar um rompimento, há as questões de localização do rompimento. Um acidente ocorrido em uma área de fragilidade ambiental ou em local próximo a uma via de grande circulação, por exemplo, possuem impactos mais elevados que rompimentos em regiões com menores interferências.

Dessa forma, mostra-se importante sobre o ponto de vista da gestão preventiva dos ativos de sistemas de saneamento realizar a avaliação destes fatores por meio da identificação de risco de rompimento.

Risco é definido como função do produto entre a probabilidade e o impacto ocasionado pela possível ocorrência de um evento.

Objetivando permitir a classificação qualitativa dos riscos dos sistemas de água e esgotos, o presente trabalho propõe método para processar dados geográficos com análise multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP revisado), de forma a possibilitar o mapeamento dos trechos de rede com riscos elevados a fim de subsidiar o processo de tomada de decisão quanto à gestão dos ativos dos sistemas de saneamento. Para subsidiar as análises desenvolvidas, foram utilizadas as redes dos sistemas de água e esgotos do Distrito Federal.

O método proposto permitiu a qualificação do risco de cada ativo linear dos sistemas de águas e esgotos em termos da probabilidade e do impacto de um rompimento, permitindo identificar quais as áreas com maiores fragilidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODO MULTICRITÉRIO ADOTADO

Existem vários métodos para análise multicritério, como os mais amplamente utilizados podemos citar: modelo de soma ponderada (WSM – *Weighted Sum Model*); modelo de produto ponderado (WPM – *Weighted Product Model*); ELECTRE; TOPSIS; processo hierárquico analítico (AHP – *Analytic Hierarchy Process*) e o AHP Revisado. Este último foi utilizado neste trabalho por ser um método mais eficiente e eficaz (TRIANTAPHYLLOU, 2000), além de apresentar características adequadas ao problema estudado, como: capacidade de fazer análise multidimensional, ou seja, é indiferente à unidade de medida adotada para cada critério, entre outras.

Segundo ZOPOUNIDIS (2010), de maneira geral existem três passos na utilização de qualquer técnica de tomada de decisão envolvendo análises numéricas de alternativas:

1 - Determinar os critérios e as alternativas relevantes; 2 - Atribuir medidas numéricas à importância relativa do critério e ao impacto das alternativas nesse critério; 3 - Processamento dos valores numéricos para determinar a classificação de cada alternativa.

O passo 1 acima é autoexplicativo, entretanto, vale ressaltar que não é aconselhável utilizar uma quantidade demasiada de critérios. Recomenda-se que a quantidade máxima não exceda doze critérios, isso, para causar a perda de sensibilidade de análise do tomador de decisão quando da fase seguinte, a derivação dos pesos.

O passo 2 é a fase matematicamente mais rigorosa e mais importante na AMC. A derivação dos pesos a partir do método AHP Revisado se mostra bastante eficaz porque agrega o julgamento e expertise do tomador de decisão quanto à importância relativa dos critérios entre si. Isso dispensa a existência de dados históricos ou estatística pertinentes a cada critério, nessa fase. Além disso, o método AHP permite avaliar a coerência no julgamento das importâncias relativas entre os critérios, feita pelo tomador de decisão, através do índice de consistência (IC), que não deve exceder em mais que 10% o índice randômico (IR, valor tabelado nas bibliografias afins).

Já o passo 3 faz a classificação das alternativas. Para isso, monta-se uma matriz com o desempenho (valores observados) de cada alternativa em relação aos critérios considerados. Na sequência faz-se a normalização desses desempenhos, utilizando-se como base o máximo valor entre todas as alternativas, para cada critério considerado. A partir da matriz de desempenhos normalizados faz-se o somatório dos produtos entre o valor observado em cada critério pelo respectivo peso, para cada alternativa avaliada. A alternativa que obtiver o maior somatório (caso o problema seja de maximização) deve ser a escolhida como melhor opção. A classificação das alternativas pelo citado somatório dá a ordem de prioridade na escolha das mesmas.

Seleção de critérios

As informações de input foram separadas em dois grupos conforme conceito de risco. O primeiro grupo versa sobre Probabilidade de um rompimento; o segundo grupo sobre Impacto, conforme relação apresentada na Tabela 01.

Tabela 01: Relação de critérios para os aspectos Probabilidade e Impacto.

Probabilidade	Impacto
<ul style="list-style-type: none"> • Material • Idade • Pressão de operação • Tipo de solo • Declividade • Interferência com vias, incluindo tipo de tráfego • Interferência com lotes • Interferência com edificações 	<ul style="list-style-type: none"> • Meio ambiente • Interferência com vias incluindo tipo de tráfego • Interferência com lotes • Interferência com edificações • Diâmetro, associação à vazão • Pressão de operação

Alguns critérios pertencem aos dois grupos, tal como pressão de operação, pois no âmbito da análise qualitativa, quanto maior a pressão maior a probabilidade de ocorrer um rompimento, ao passo que altas pressões operacionais proporcionam maior volume de vazamento (impacto).

DEFINIÇÃO DE PESOS DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A definição de pesos passou por duas etapas. A primeira envolveu a classificação interna das subclasses de cada critério, conforme descrições apresentadas a seguir.

Material. Pesos classificados conforme susceptibilidade qualitativa a rompimentos, da seguinte forma: Cimento Amianto (100); materiais plásticos (70); materiais desconhecidos ao cadastro técnico (50); ferro (30); e, aço (20).

Idade. Pesos classificados conforme tempo de operação da rede, conforme apresentado na Figura 01 para a rede de esgotos.



Figura 01: Classificação da idade das redes de esgotos.

Pressão de operação. Pesos segundo pressão operacional, conforme Figura 02.



Figura 02: Pressões operacionais por zonas de pressão.

Tipo de solo. Gleissolo (90); água (100); e, demais solos (50).

Declividade. Grau do declive, conforme ilustrado na Figura 03

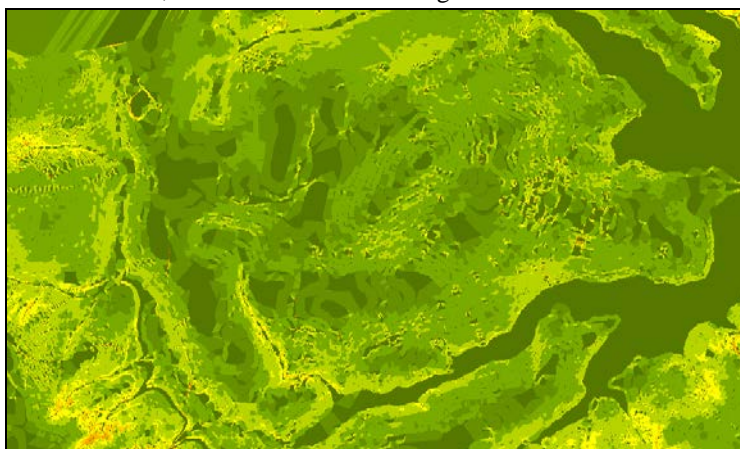


Figura 03: Pressões operacionais por zonas de pressão.

Interferência com vias. Aplicou-se *buffer* de 2 metros nas feições geográficas e atribuiu-se os seguintes pesos: Ponte, viaduto, metro ou ferrovia (100); rodovia (90); via (30); e, estrada vicinal ou caminho (20), Figura 04.

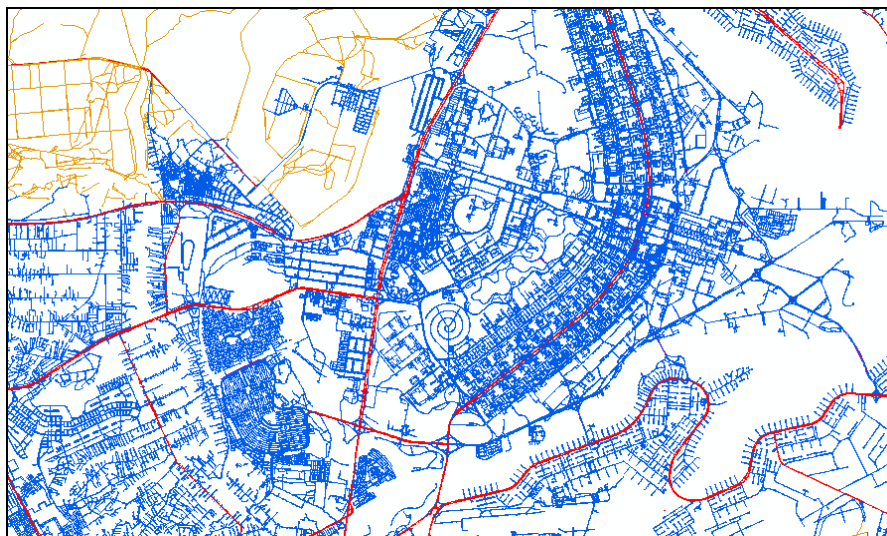


Figura 04: Vias.

Interferência com lotes. Lote de equipamento público (100); e, demais lotes (80), Figura 05.



Figura 05: Lotes.

Interferência com edificações. Qualquer edificação (100).

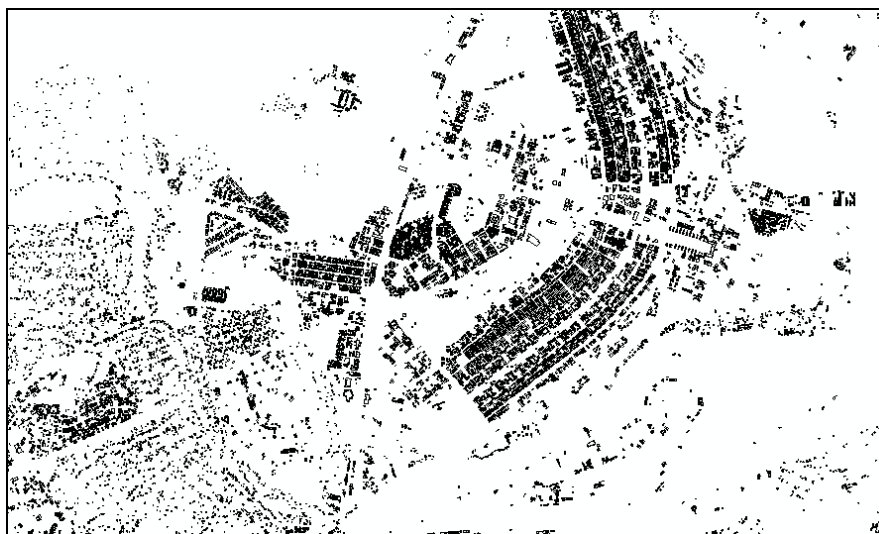


Figura 06: Edificações.

Meio ambiente. Utilizou-se a sobreposição espacial das seguintes camadas: córrego; Área de Preservação Permanente (APP) de córrego; Área de Proteção de Mananciais (APM); Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE); Unidade de Conservação de Uso Sustentável; Unidade de Conservação de Proteção Integral; Área de Preservação Permanente (APP) de Lagos; e, Parques. Cada camada possui peso igual a 10, de forma que áreas com sobre posição de temas ambientais obtiveram maiores pesos, por possuírem mais interferências. Figura 07.

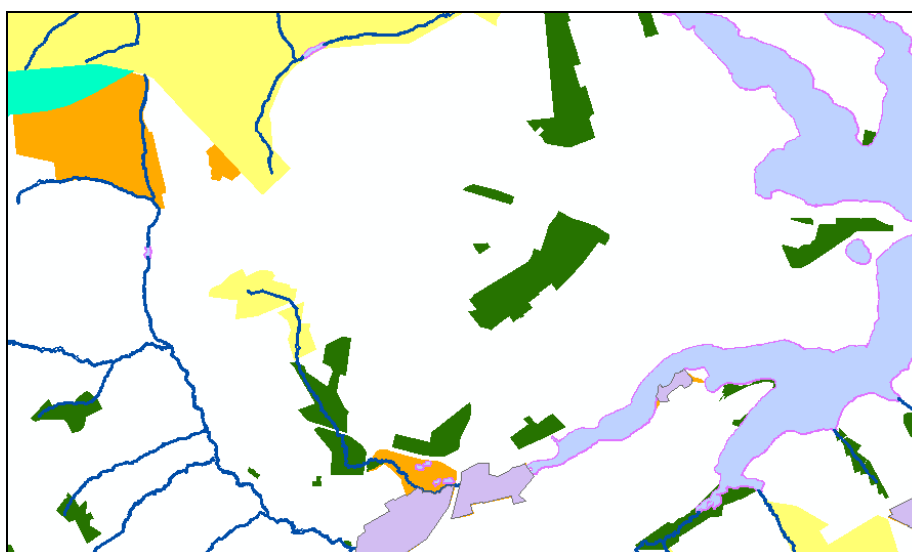


Figura 07: Interferências ambientais.

Diâmetro. Pesos classificados proporcionalmente ao diâmetro disponível no cadastro técnico.



Figura 08: Diâmetro das redes.

A segunda etapa abordou a comparação entre os critérios, segundo a metodologia adotada para a utilização do AHP revisado. Esta comparação foi realizada com base na experiência de técnicos que atuam na área de saneamento, apresentada nas Tabelas 02 e 03.

Tabela 02: Comparação dos critérios de probabilidade segundo a metodologia AHP.

Probabilidade									
Critério	1	2	3	4	5	6	7	8	Descrição
1	1,00	5,00	3,00	3,00	3,00	5,00	7,00	5,00	Pressão na rede
2	0,20	1,00	0,33	0,20	0,20	0,33	5,00	3,00	Idade da rede
3	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	Material da rede
4	0,33	5,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	Edificação
5	0,33	5,00	1,00	0,33	1,00	3,00	5,00	3,00	Lote
6	0,20	3,00	0,33	0,20	0,33	1,00	3,00	1,00	Via
7	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	1,00	0,20	Tipo de solo
8	0,20	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	5,00	1,00	Declividade do solo

Para os critérios de probabilidade, obteve-se razão entre índice de consistência (IC) e índice randômico (IR) igual a 8,13%, inferior a 10%, portanto, adequado aos preceitos do método AHP revisado.

Tabela 03: Comparação dos critérios de impacto segundo a metodologia AHP.

Impacto							
Critério	1	2	3	4	5	6	Descrição
1	1,00	5,00	0,20	0,20	0,33	0,20	Diâmetro da rede
2	0,20	1,00	0,14	0,14	0,20	0,20	Pressão na rede
3	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	1,00	Edificação
4	5,00	7,00	0,33	1,00	3,00	1,00	Lote
5	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	0,33	Via
6	5,00	5,00	1,00	1,00	3,00	1,00	Meio ambiente

Para os critérios de impacto, obteve-se razão entre índice de consistência (IC) e índice randômico (IR) igual a 8,14%, inferior a 10%, portanto, adequado aos preceitos do método AHP.

PROCESSAMENTO DOS DADOS NO SIG

As informações geográficas para cada um dos critérios e suas respectivas classes foram consistidas em um SIG sustentado pela plataforma ArcGIS.

Utilizou-se a técnica de geoprocessamento conhecida como *overlay*, sobreposição de camadas, de forma a cruzar espacialmente as informações de todos os critérios, acrescentando estes dados ao traçado dos ativos horizontais dos sistemas de saneamento.

PROCESSAMENTO DOS DADOS POR AHP MODIFICADO

Após o processo de sobreposição de camadas, cada ativo passou a possuir uma relação de informações por critério. Esse resultado foi utilizado como *input* de uma planilha automatizada externa ao SIG, desenvolvida pelos autores para a classificação multicritério. Essa planilha realizou os cálculos com base no AHP modificado, para Probabilidade e para Impacto separadamente, atribuindo a cada combinação possível de resultados entre o cruzamento das camadas um resultado.

CLASSIFICAÇÃO DAS INFORMAÇÕES PRODUZIDAS

Concluído os cálculos da análise multicritério, obteve-se o produto entre Probabilidade e Impacto para cada ativo. O resultado deste produto proporcionou a hierarquização dos trechos dos sistemas pelo risco.

RESULTADOS

Obteve-se a classificação em termos de risco para os ativos horizontais dos sistemas de saneamento, permitindo a identificação espacial dos trechos com maior risco, que carecem de maior monitoramento ou de medidas de mitigação de risco, conforme ilustrado na Figura 01.

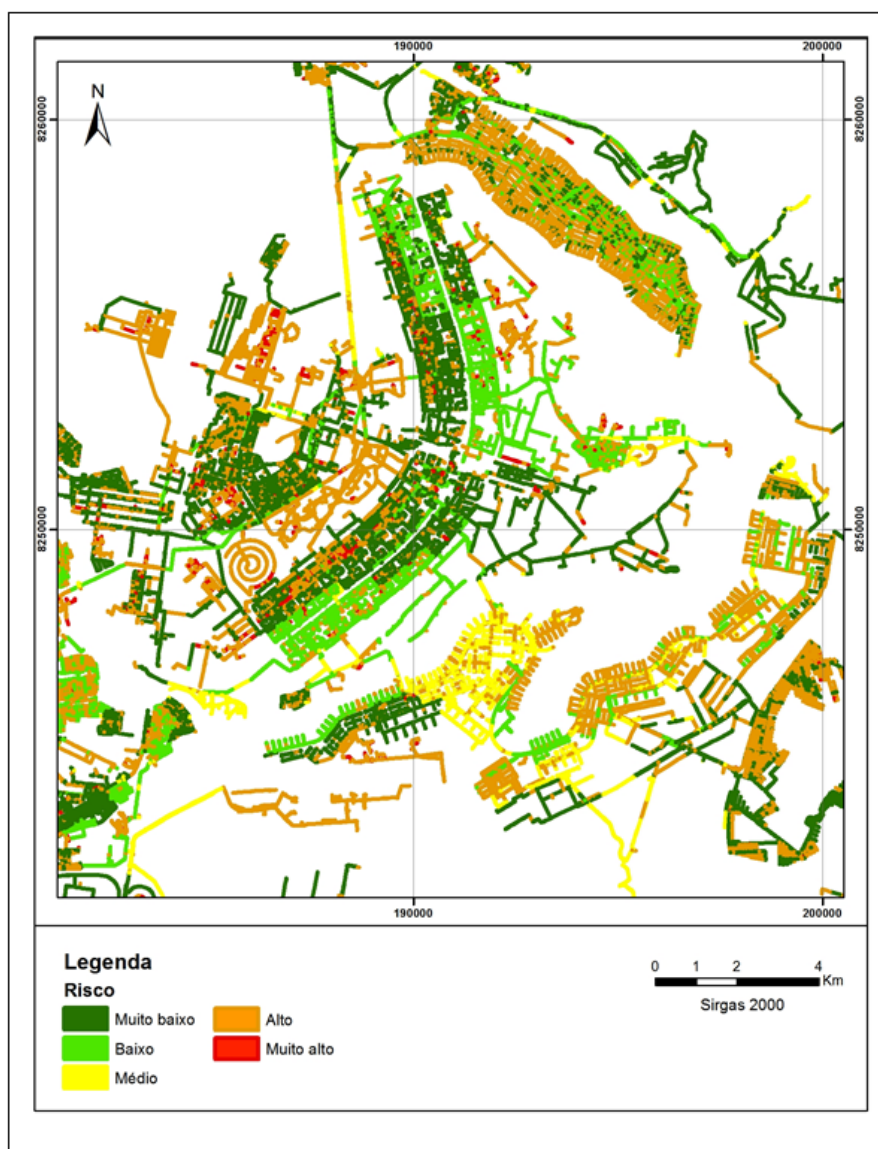


Figura 01: Exemplo de classificação de risco para o sistema de água da região central de Brasília, DF.

CONCLUSÕES

O método proposto permitiu a qualificação do risco de cada ativo linear dos sistemas de águas e esgotos em termos da probabilidade e do impacto de um rompimento.

Um aspecto muito importante da análise é a espacialização desta informação, o que permite identificar regiões que apresentam maiores concentrações de redes com elevado risco.

A utilização de Sistema de Informação Geográfica como instrumento de suporte à gestão de riscos agrega muito valor às análises realizadas, o que pode melhorar a precisão das decisões a serem tomadas no âmbito da administração dos ativos de Companhias de Saneamento, permitindo agir com maior assertividade nas ações de melhoria dos sistemas de saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TRIANTAPHYLLOU, E. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study, 1st edition, Ed. Springer Science + Business Media Dordrecht, Louisiana - USA, 2000.
2. ZOPOUNIDIS, C.; PARDALOS, P. M. Handbook of Multicriteria Analysis, Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin - Germany, 2010.
3. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 1ª edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.