



## Utilização da análise multicriterial (AHP) como ferramenta de seleção para tratamento de esgoto doméstico na região Nordeste do Brasil

Ana Karine Portela Vasconcelos<sup>1</sup>, Shayane de Oliveira Moura<sup>2</sup>, José Effison Batista<sup>3</sup>, Marisete Aquino<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (POSDEHA/UFC) e-mail: [karine\\_portela@hotmail.com](mailto:karine_portela@hotmail.com)

<sup>2</sup>Prof. do IF Sertão Pernambucano, Campus Ouricuri. e-mail: [shayane.moura@ifsertao-pe.edu.br](mailto:shayane.moura@ifsertao-pe.edu.br)

<sup>3</sup>Aluno do IF Sertão Pernambucano, Campus Ouricuri. e-mail: [effison17@gmail.com](mailto:effison17@gmail.com)

<sup>4</sup>Prof. da Universidade Federal do Ceará (UFC). e-mail: [marisete@ufc.br](mailto:marisete@ufc.br)

**Resumo:** No Brasil, no período de 1995-2005, o percentual de esgoto tratado, em relação ao coletado, passou de 8,7% para 61,6%, mantendo-se nesse patamar, de 2006 a 2008, quando atingiu 66,2%. Mas qual é o melhor sistema de tratamento de esgoto? Para contribuir com a subjetividade inerente ao processo decisório em questão, utiliza-se o método de múltiplos critérios mais reconhecido cientificamente como o Método da Análise Hierárquica. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo utilizar a análise multicriterial como ferramenta para selecionar a melhor alternativa de tratamento de esgoto no Nordeste brasileiro. A pesquisa baseou-se nas eficiências dos sistemas descritos pela Agência Nacional das Águas. Organizaram-se os sistemas de tratamento de esgoto priorizando os parâmetros Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio Total e Fósforo Total que determina as condições e padrões de lançamento de efluentes e o maior impacto econômico. Obteve-se que os critérios que mais impactam são: Demanda Química de Oxigênio e custo inicial para implantação do sistema de tratamento. Como melhor resultado na seleção de sistema para tratamento de esgoto na região do Nordeste brasileiro, obteve-se a disposição no solo (*wetland* e plantas aquáticas) levando em consideração grande área e a seca existente nessa região.

**Palavras-chave:** método multicritério, processo decisório, tratamento de esgoto

### 1. INTRODUÇÃO

Dados do IBGE (2012) aponta que no Brasil, durante o período 1992 a 2009, cerca de 80% dos moradores se concentravam em áreas urbanas e 25% na área rural eram providos de rede geral coletora de esgoto ou fossa séptica. Observou-se ainda o contínuo crescimento de domicílios urbanos atendidos por rede coletora, vindo, à frente, no último ano do período, São Paulo (91,1%), Distrito Federal (89,4%) e Minas Gerais (89,1%), e, nas últimas colocações, Rondônia (5,2%), Pará (2,7%) e Amapá (1,1%).

Nas zonas rurais, onde predomina - e ainda aumenta (7,3% em 1992 e 19,5% em 2009) - o atendimento por fossa séptica, São Paulo, Distrito Federal e Rio de Janeiro têm os maiores percentuais de rede coletora: 44,3%, 22,6% e 17,9%, respectivamente. Os menores, de apenas 0,5%, encontraram-se no Rio Grande do Sul, Tocantins e Paraíba (IBGE, 2012).

A escolha dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários analisados aqui utilizou os dados do IBGE (2010) e considerou a fácil acessibilidade e a existência de estudos sobre eficiência dos mesmos. Entre os mais de 5500 municípios brasileiros, dos quais 1793 municípios pertencem à região nordestina, somente 308 municípios realizam tratamento de seus esgotos IBGE (2010). Os sistemas de tratamento mais utilizados no Nordeste brasileiro são: Lagoa Facultativa (130), Lagoa de Maturação (90), Valo de Oxidação (84), Lagoa Anaeróbia (68), Filtro Biológico (67), Disposição no Solo - *wetland* e plantas aquáticas - (33), Fossa Séptica (5) e outros (147). O sistema de lodos ativados, variante do processo aeróbio, representa apenas 0,2% do total de municípios nordestinos e, por esse motivo não foi citado nesse estudo.

Com tudo, não basta coletar o esgoto, é preciso tratá-lo, pois, entre outros danos, a ausência de tratamento adequado favorece a emissão de gases de efeito estufa, especialmente de metano. Em dez



anos (1995-2005), o percentual de esgoto tratado, em relação ao coletado, passou de 8,7% para 61,6%, mantendo-se nesse patamar, de 2006 a 2008, quando atingiu 66,2% (IBGE, 2012).

Essas informações ratificam a necessidade da implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Porém, surge um questionamento: qual é o melhor sistema de tratamento de esgoto?

Entretanto, decidir sobre a melhor escolha entre os diversos sistemas de tratamento de esgoto é uma tarefa complexa e dependente de vários critérios e objetivos, que na maioria das vezes são concorrentes. Como por exemplo: ao mesmo tempo em que um sistema tenha baixo custo de implantação, deve atender aos padrões de emissões de lançamento de esgoto, deve ocupar pequena área para funcionamento e ou ter facilidade operacional (ZANIN, 2011).

Para contribuir para o tratamento da subjetividade inerente ao processo decisório em questão, utiliza-se o método de múltiplos critérios mais reconhecido cientificamente como o Método da Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* - AHP).

O método AHP desenvolvido por Saaty, na década de 80, sendo um dos métodos multicritério mais utilizados. Baseando-se em três princípios: a construção de hierarquias; a definição de prioridades: comparação dos critérios, subcritérios e alternativas e; consistência lógica, através do índice de consistência (FREITAS *et al.* 2008).

As principais vantagens desse método são apontadas Bevilacqua e Braglia (2000): uso em diversas aplicações; a possibilidade de medir a consistência no julgamento do decisor; não é somente método de auxílio a tomada de decisão, pois também orienta o analista em sua tomada de decisão; e possível realizar uma análise de sensibilidade.

Segundo Malinowski (2006), este método também tem limitações, são elas: desempenho do objetivo da análise pode ser afetado pela má identificação dos níveis de hierarquia; como existe comparação par a par, sugerem-se no máximo nove alternativas, já que conduz a um elevado número de julgamentos.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo utilizar o AHP como ferramenta para selecionar a melhor alternativa de tratamento de esgoto no Nordeste brasileiro.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa baseou-se nas eficiências dos sistemas descritos pelos dados da ANA (2001), de um projeto de caráter técnico em nível nacional com a finalidade de criar instrumentos para gestão integrada da água em áreas urbanas, desta forma fornecendo subsídios ao Programa Nacional de Despoluição das Bacias Hidrográficas (PRODES).

É importante frisar que não existe um método melhor que outro, pois cada problema pode ser analisado de maneiras diferentes por cada método. No entanto, esta escolha pode ocorrer para o método que o analista considere de mais fácil entendimento (LIMA *et al.*, 2007).

Nessa pesquisa, organizaram-se os sistemas de tratamento de esgoto priorizando os parâmetros que constam nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 - Nitrogênio Total, Fósforo Total, Demanda Química de Oxigênio (DQO) - que determina as condições e padrões de lançamento de efluentes e o maior impacto econômico.

No entanto, somente a análise destes critérios não é suficiente para a escolha de um sistema de tratamento, sendo necessária também a inclusão de critérios econômicos. Desta forma, se consegue fugir da limitação de uma análise estritamente técnica, partindo-se para uma visão mais ampla da escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário.

Nas matrizes de desempenho/matriz de comparação entre os critérios, os índices de importância entre os critérios foram estabelecidos de acordo com o critério que mais contribui para atingir o objetivo da análise. Nas matrizes de desempenho/matriz de comparação dos critérios nas alternativas, os índices de preferência/importância foram estabelecidos conforme o desempenho de cada critério nas alternativas, sempre em consonância com o objetivo do cenário proposto.

Nessa fase, procedeu-se a definição dos pesos de importância de cada critério considerando os cenários analisados. Esse procedimento levou em consideração os principais objetivos desejados em cada cenário.

Como o objetivo é escolher um sistema de tratamento eficiente e com baixo custo definiu-se que os critérios de maior impacto econômico como o custo de implantação (CI); custo de operação e manutenção (COM) e área demandada (AD) devem ter importância maior, enquanto a eficiência de remoção deveriam ter importância intermediária (DQO,  $N_{Total}$ ,  $P_{Total}$ ) e os demais critérios teriam menor importância.

Os dados utilizados foram coletados do projeto URBAGUA, a partir da Agência Nacional de Águas (ANA). Em seguida, os dados foram aplicados em planilhas eletrônicas do EXCEL, componente do Pacote Office da MicroSoft.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a matriz de comparação paritária entre os critérios, também conhecida como matriz de julgamento. Os valores das comparações foram estabelecidos conforme escala de comparação de pares AHP, usando a escala de Saaty, de acordo com os padrões de descarte do efluente tratado, norteado pela legislação vigente e sistemas de tratamento de baixo custo.

Tabela 1 - Matriz de comparação paritária entre os critérios

	N	P	DQO	CI	COM	DA
N	1	1	1/5	3	3	3
P	1	1	1/5	1/3	1/3	3
DQO	5	5	1	1/3	3	3
CI	1/3	3	3	1	3	3
COM	3	3	1/3	1/3	1	3
DA	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1

Depois de concluída a operacionalização da matriz de julgamento obteve-se o vetor de prioridade escala de prioridades dos critérios, ou seja, quais critérios tem mais peso na análise. A Figura 1 apresenta o comportamento dos critérios avaliados.

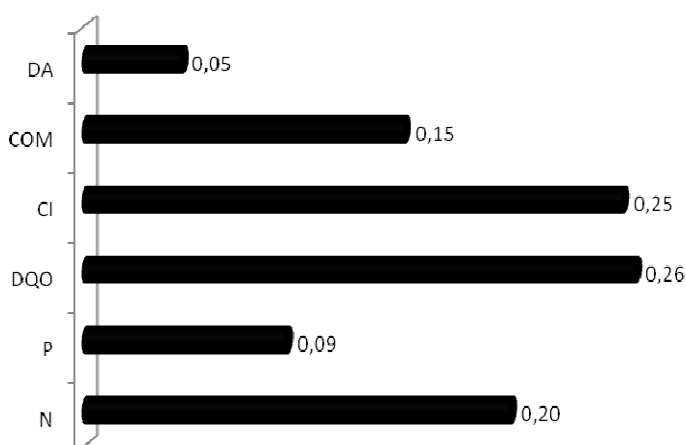


Figura 1 – Critérios avaliados

Percebeu-se que dos seis critérios avaliados, os que assumem maior peso são CI e DQO, a seguir a remoção de N e, com menor influência DA. Os critérios que assumem maior peso são os que mais contribuem para o cumprimento do objetivo desta situação.

Após a avaliação dos critérios, os tipos de tratamento são analisados para cada critério. Para cada análise é gerado um vetor de prioridade do grau de influência de cada alternativa no critério

avaliado. A influência dos seis critérios avaliados nas alternativas gera uma matriz de prioridade que esta apresentada na Tabela 2.

Os dados que constam na Tabela 2 demonstram, por exemplo, que no critério DQO, o sistema que possui maior grau de influência neste critério ou tem melhor desempenho na remoção é a combinação de UASB com pós-tratamento, pois e o componente de maior valor no vetor DQO.

Tabela 2 - Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas

	$N_{total}$	$P_{total}$	DQO	CI	COM	DA
<b>Disposição no Solo</b>	0,48	0,24	0,57	0,04	0,08	0,25
<b>Fossa Séptica</b>	0,16	0,24	0,15	0,04	0,08	0,25
<b>UASB + Pós Tratamento</b>	0,18	0,13	0,16	0,15	0,28	0,09
<b>Lagoa Facultativa</b>	0,15	0,17	0,15	0,13	0,09	0,30
<b>UASB</b>	0,04	0,10	0,04	0,52	0,46	0,05

A partir da multiplicação do vetor prioridade dos critérios e matriz de prioridade dos critérios nas alternativas, tem-se o vetor prioridade composto. O gráfico 2 apresenta a hierarquização ou ordenação final das alternativas de tratamento em análise.

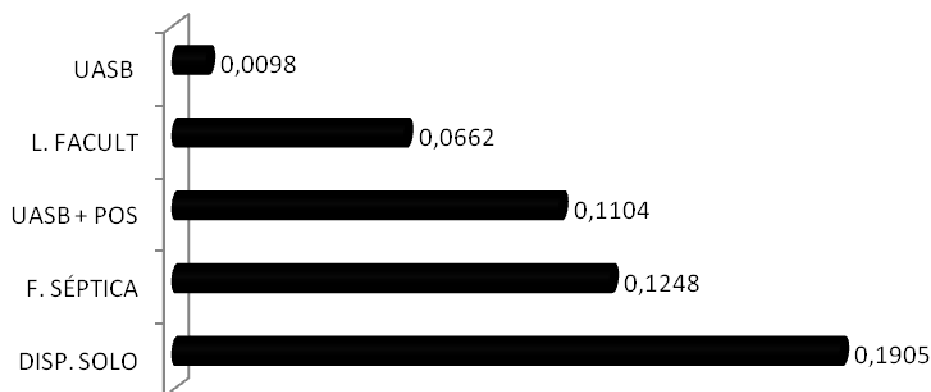


Gráfico 2 – Ordenação final

Frente a este contexto, a alternativa de tratamento de disposição no solo, apresentou-se como a mais viável de acordo com as análises. Sendo os melhores resultados para a remoção de  $P_{total}$  e  $N_{total}$ , foi a melhor alternativa, pois tem baixo custo de implantação e gera um baixo volume de lodo, sendo que estes representam 19,6% da importância dos critérios avaliados (conforme Gráfico 2).

O sistema de fossa séptica apresenta pequena diferença de desempenho em relação ao UASB + pós-tratamento, cerca de 1,44%. Apesar do sistema de fossa séptica possuir maior importância relativa na maioria dos critérios, a diferença entre eles consiste na remoção de  $P_{total}$  e na demanda de área, sendo este último o que praticamente determina a superioridade desta em relação ao UASB + pós-tratamento.

A quarta posição na escala hierárquica é ocupada pelo sistema de Lagoa Facultativa. Embora possua baixo custo de implantação e operação, a remoção de nutrientes não é satisfatória. Assim, ocupa posição intermediária na escala.

O sistema UASB é a última colocada entre os sistemas estudados. Apresenta uma diferença significativa de posicionamento com a Lagoa Facultativa, na escala hierárquica, representando aproximadamente 5,6%. Isto se deve ao fato de que possuir baixo desempenho na remoção de  $N_{total}$ ,  $P_{total}$  e matéria orgânica (MO). Além de apresentar elevado custo de implantação, operação e manutenção.



## 6. CONCLUSÕES

Conclui-se que a seleção de sistemas de tratamento de esgoto através de uma metodologia análise multicritério (AHP) pode ser utilizada para diferentes municípios na região do nordeste brasileiro, apresentou-se adequado dentro de um contexto multidisciplinar, para que decisões não sejam tomadas somente com análises econômicas, pois essas abordagens são incapazes de lidar com o problema com a mesma amplitude e robustez necessária nesse tipo de abordagem.

Essa metodologia mostrou-se muito vantajosa, pois possibilitou que o processo de decisão fosse de caráter técnico, econômico e político.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução (CONAMA) n° 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar 2005.

BEVILACQUA, N.; BRAGLIA, M. **The Analytic Hierarchy Applied to Maintenance Strategy Selection**. Reliability Engineering & System Safety. v. 70, p. 71-83, 2000.

FREITAS, Andre Luis Policani; TREVIZANO, Waldir Andrade; COSTA, Helder Gomes. **Uma abordagem multicritério para problemas decisórios com múltiplos grupos de avaliadores**. Investigação Operacional (2008)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=2161&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=2161&id_pagina=1) Acesso: em 20/06/2012

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; NEVES, Carolina de Lima; SANTOS, Ronaldo Medeiros dos; VERGARA, Fernan Enrique; SOUZA, Marco Antonio Almeida de; CORDEIRO NETTO, Oscar de Moraes. **Desenvolvimento de aplicativo para uso do método multicritério Electre-Tri**. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste. Cuiabá: 2007.

MALINOWSKI, Adriana. **Aplicação de Metodologia para a Estruturação de Diretrizes para o Planejamento do Reúso de Água no meio Urbano**: 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná.

ZANIN, Rafael Antonio. **Seleção de processos de tratamento de esgoto sanitário utilizando análise multicritério**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Processo – Universidade da Região de Joinville, Santa Catarina, 2011.