

## II-389 - DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM REATOR UASB-FAN – INCLUSÃO DE INTERPRETAÇÃO FUZZY

**Dayane de Andrade Lima<sup>(1)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Doutoranda em Engenharia Civil - Saneamento pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professora do Instituto Federal do Pará (IFPA).

**Fernando José Araújo da Silva<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Mestre em Engenharia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor da Universidade Federal do Ceará (UFC).

**Jéssyca de Freitas Lima<sup>(3)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Doutoranda em Engenharia Civil - Saneamento pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

**Israel Nunes Henrique<sup>(4)</sup>**

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo PRODEMA (UEPB/UFPB). Doutor em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professor da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

**José Tavares de Sousa<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Coronel José Nunes, Limoeiro do Norte - CE - CEP: 62.930-000 - Brasil - Tel: (88) 99983-9406 - e-mail: [dayane\\_eld@hotmail.com](mailto:dayane_eld@hotmail.com)

### RESUMO

O presente estudo trata da aplicação da aritmética *fuzzy* para avaliar o desempenho de um reator biológico do tipo anaeróbio. E dessa forma mostrar o estado de variação a partir de variáveis desempenho operacional, como eficiência (E%), taxa de remoção volumétrica (Lrv) de poluente e constante de decaimento com base em cinética de primeira ordem. O sistema em estudo era do tipo composto e tinha em sua parte inferior um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) recebia esgoto doméstico bruto e parte superior efluente passava por um filtro anaeróbio (FAN). A avaliação baseada em NFT se deu através da *fuzzyficação* das funções de estudo e as representações funcionais foram baseadas no princípio de extensão. A eficiência de remoção média par composto pela DQO no EB e a DQOF no efluente do FAN o desempenho alcançou 77,7%. Para SST a remoção atingiu 83,2% no efluente do FAN. As taxas de remoção volumétrica de DQO e DQOF foram, respectivamente, de 0,552 e 0,636 kg/m<sup>3</sup>.dia. Para o parâmetro SST o valor médio de Lrv foi de 0,232 kg/m<sup>3</sup>.dia. As constantes de decaimento em cinética de primeira ordem foram de 2,346 e 3,138 dia<sup>-1</sup> para DQO e DQOF, respectivamente. O mapeamento *fuzzy* mostrou os resultados sobre a variação intervalar das taxas de remoção volumétrica (DQO, DQOF e SST) e das constantes de decaimento. Os resultados demonstraram a flutuação destes registros ao longo do tempo, que refletem uma avaliação mais realística.

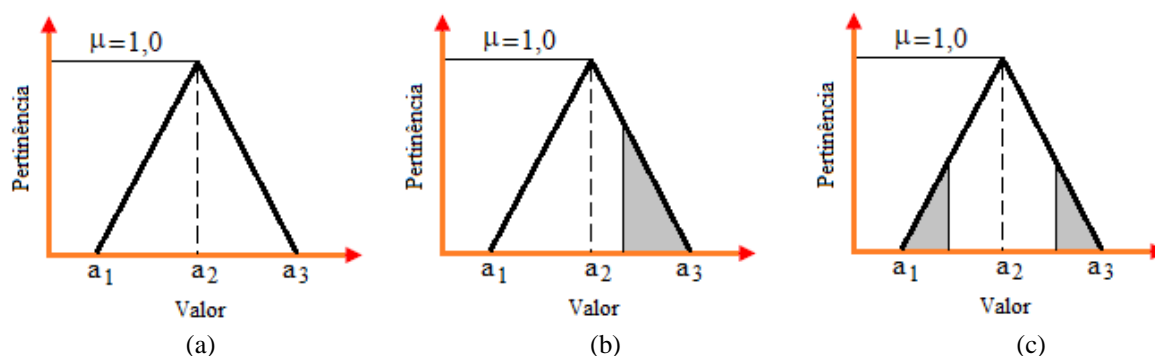
**PALAVRAS-CHAVE:** Reator anaeróbio, Matéria orgânica, Matemática intervalar.

### INTRODUÇÃO

A qualidade do efluente tratado nas diferentes tecnologias e configurações de estações de tratamento de esgotos (ETE) é examinada com base em programas de monitoramento. O desempenho de estações de tratamento de esgotos (ETE) é usualmente considerado sob ótica simples, conforme destaca Santos (2007). Leva em conta os valores médios de entrada e a saída de alguns parâmetros mais representativos do conteúdo dos efluentes (e.g. DBO, DQO, sólidos, amônia total e coliformes termotolerantes).

Os sistemas de tratamento de esgotos funcionam como filtros, em que o sinal de saída (i.e. o efluente tratado) pode apresentar variabilidade considerável quando comparada aos resultados preconizados em projeto e aos exigidos pela legislação. O controle permite avaliar o desempenho dos sistemas de tratamento. O estabelecimento de graus de garantia desejados ou de falha tolerados somente pode ser considerado quando considerada a variação ao longo do tempo. A partir disto é possível empreender ações modificadoras na operação ou mesmo estruturais, com o fim de obter melhores resultados.

Crítérios mais minudentes permitem uma avaliação mais crítica. Entretanto, há sempre limitações ordem financeira e técnica, de maneira que a representatividade estatística de dados seja igualmente restrita (McBEAN; ROVERS, 1998). Uma abordagem interessante é oferecida pela matemática intervalar, através de aritmética fuzzy. A partir desse recurso é possível expor a variação da qualidade do efluente e o desempenho do tratamento. Uma vantagem destacada é o fato da aritmética fuzzy exigir número pequenos de dados (KAUFMANN; GUPTA, 1988). A representação mais frequente é dada através de número fuzzy triangular (NFT), admitido com representação de um intervalo composto de valores mínimo (inferior), médio (mais provável) e máximo (superior), de maneira que os resultados sejam interpretados no intervalo ou a partir de um valor de referência. A representação de um NFT está na Figura 1.

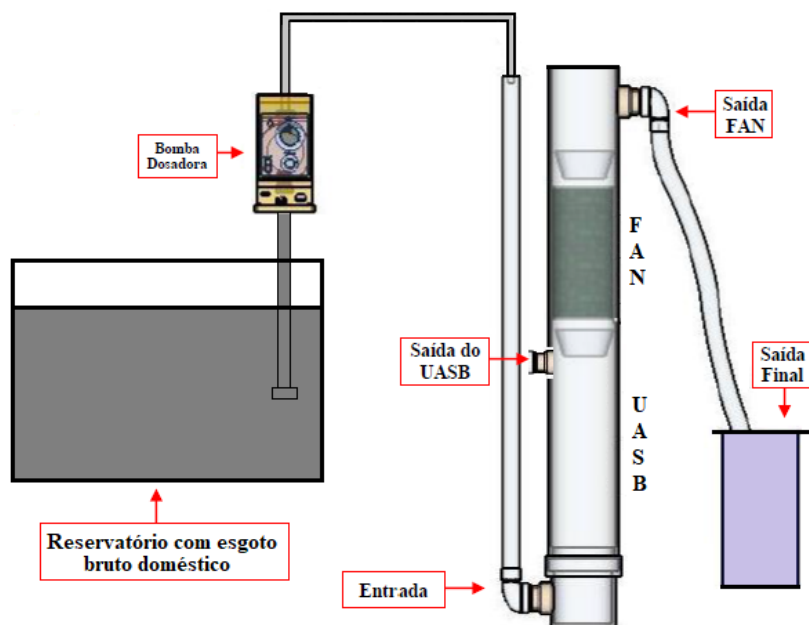


**Figura 1. Representação de um NFT (a), com valor de referência à direita (b) e à direita e esquerda (c).**

O presente estudo trata da aplicação da aritmética fuzzy para avaliar o desempenho de um reator biológico do tipo anaeróbio. Enseja-se assim mostra o estado de variação a partir de variáveis desempenho operacional, como eficiência (E%), taxa de remoção volumétrica (Lrv) de poluente e constante de decaimento com base em cinética de primeira ordem.

## METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em um sistema anaeróbio para tratamento de esgoto doméstico. O meio suporte era constituído de cubos de esponja de poliuretano (3 cm de aresta). O tempo de detenção hidráulica (TDH) do UASB era de 6,0 horas e o do FAN era de 5,5 horas. A Figura 2 mostra uma representação esquemática do conjunto anaeróbio do estudo.



**Figura 2. Reator anaeróbico (UASB-FAN) utilizado no estudo.**

A avaliação baseada em NFT se deu através da *fuzzyficação* das funções de estudo, conforme mostrado nas equações de números 1 e 2. As representações funcionais foram baseadas no princípio de extensão.

$$\tilde{L}_{rv} = \left[ \frac{Q \cdot (\tilde{C}_o - \tilde{C})}{Vol} \right] \quad (1)$$

$$\tilde{k} = \left[ \frac{[Ln(\tilde{C}_o) - Ln(\tilde{C})]}{TDH} \right] \quad (2)$$

O sistema anaeróbico foi monitorado ao longo de 250 dias, a temperatura operacional era de  $26,5 \pm 1,8$  °C, semanalmente eram coletadas amostras de esgoto bruto (EB), efluente do UASB e efluente do FAN. Foram analisados os seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio (DQO), demanda química de oxigênio em amostra filtrada (DQOF), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos totais voláteis (SSTV), pH e alcalinidade total (Alca). Os procedimentos analíticos seguiram os métodos descritos em APHA (2012)

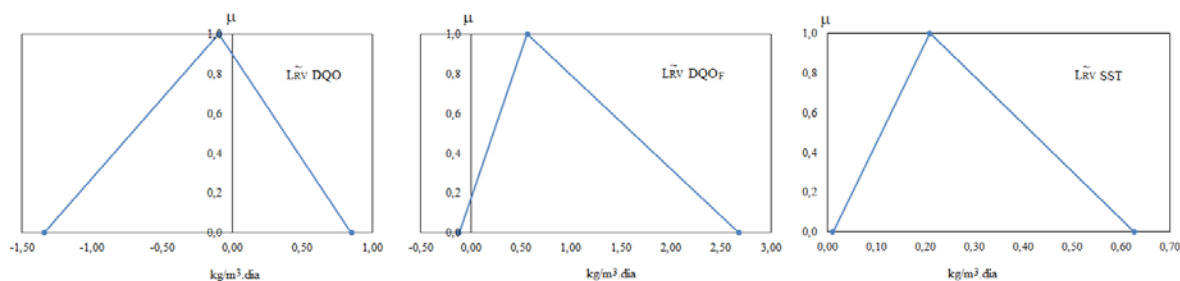
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 contém os resultados relativos à estatística descritiva dos dados do estudo. A remoção média de DQO alcançou 67,5% no efluente do FAN. No caso do par composto pela DQO no EB e a DQOF no efluente do FAN o desempenho alcançou 77,7%. Para SST a remoção atingiu 83,2% no efluente do FAN. As taxas de remoção volumétrica de DQO e DQOF foram, respectivamente, de 0,552 e 0,636 kg/m<sup>3</sup>.dia. Para o parâmetro SST o valor médio de  $L_{rv}$  foi de 0,232 kg/m<sup>3</sup>.dia. As constantes de decaimento em cinética de primeira ordem foram de 2,346 e 3,138 dia<sup>-1</sup> para DQO e DQOF, respectivamente. O sistema carbônico inorgânico este bastante estável, conforme mostram o pH e a alcalinidade.

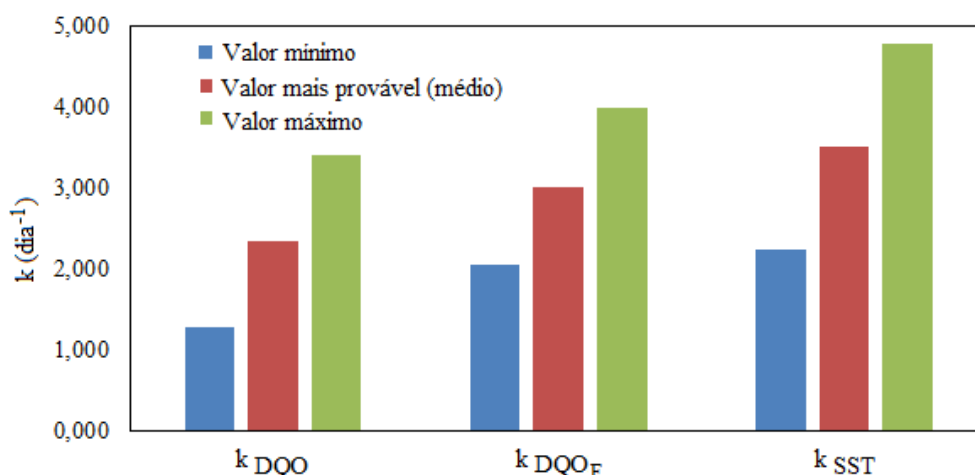
Na Figura 3 são mostrados os NFT relativos às taxas de remoção volumétrica (DQO, DQOF e SST), entre EB e o efluente do FAN. Cabe ressaltar a ocorrência de valores negativos. Esses acontecem como possibilidade real, e dizem respeito ao momento em que a concentração afluente pode ser menor que a efluente. Já a Figura 4 contém os resultados de cômputo das constantes de decaimento. Os valores retratam a variação de  $k$  ao longo do período de estudo.

**Tabela 1. Estatística descritiva dos parâmetros investigados no estudo do sistema anaeróbio.**

Descritor estatístico	EB	UASB	FAN	EB	UASB	FAN
	<i>DQO (mg/L)</i>			<i>DQO<sub>F</sub> (mg/L)</i>		
$\mu$	394	238	128	180	99	88
Q <sub>50</sub>	364	207	119	165	99	86
MG	350	222	115	160	87	80
$\sigma$	218	96	70	104	42	35
Q <sub>25</sub>	276	186	88	144	76	67
Q <sub>75</sub>	450	280	150	200	127	103
CV	0,554	0,402	0,546	0,577	0,426	0,393
Mín.	113	85	45	29	15	15
Máx.	1304	514	438	693	200	170
-	<i>SST (mg/L)</i>			<i>SSTV (mg/L)</i>		
$\mu$	137	93	23	109	71	16
Q <sub>50</sub>	118	73	22	94	59	15
MG	122	85	21	95	65	14
$\sigma$	70	45	10	59	34	8
Q <sub>25</sub>	80	63	17	61	49	12
Q <sub>75</sub>	167	116	28	146	91	20
CV	0,511	0,485	0,418	0,542	0,469	0,493
Mín.	58	36	8	40	25	3
Máx.	310	241	53	270	170	39
-	<i>pH</i>			<i>Alcalinidade (mg CaCO<sub>3</sub>/L)</i>		
$\mu$	7,64	7,58	7,79	370,2	413,3	401,2
Q <sub>50</sub>	7,65	7,56	7,80	384,3	418,1	403,7
MG	7,64	7,58	7,79	365,9	411,7	398,4
$\sigma$	0,27	0,25	0,23	54,0	37,0	45,8
Q <sub>25</sub>	7,52	7,42	7,65	335,0	390,8	382,9
Q <sub>75</sub>	7,75	7,83	7,90	407,4	435,1	427,2
CV	0,035	0,033	0,030	0,146	0,089	0,114
Mín.	7,13	6,99	7,40	232,1	345,3	280,1
Máx.	8,37	8,00	8,40	450,3	487,2	491,1



**Figura 3. Representação das taxas de remoção volumétrica (DQO, DQO<sub>F</sub> e SST) com número fuzzy triangular no reator anaeróbio do estudo.**



**Figura 4. Intervalos dos valores das constantes de decaimento de primeira ordem computados com base em NFT, para DQO, DQOF e SST no reator anaeróbio do estudo.**

## CONCLUSÕES

Um reator anaeróbio, com composição UASB-FAN foi acompanhado ao longo de 250 dias quanto à remoção de matéria orgânica. As remoções médias foram de 67,5%, 77,7% e 83,2%, para DQO, DQOF e SST, respectivamente. As taxas de remoção volumétrica foram de 0,552 kg/m<sup>3</sup>.dia, 0,636 kg/m<sup>3</sup>.dia e 0,232 kg/m<sup>3</sup>.dia, para os parâmetros já referidos. As constantes de decaimento (primeira ordem) foram de 2,346 e 3,138 dia<sup>-1</sup> para DQO e DQOF, respectivamente.

O mapeamento fuzzy mostrou os resultados sobre a variação intervalar das taxas de remoção volumétrica (DQO, DQOF e SST) e das constantes de decaimento. Os resultados evidenciaram a flutuação destes registros ao longo do tempo, que refletem uma avaliação mais realística.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th edition. American Public Health Association. Washington, DC. 2012. 1100p.
2. KAUFMANN, A.; GUPTA, M.A. Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science. North-Holland, Amsterdam, 1988. 338p.
3. McBEAN, E. A.; ROVERS, F. A. Statistical procedures for analysis of environmental monitoring data & risk assessment. Environmental Management & Engineering Series. Volume 3. New Jersey: Prentice-Hall PTR, 1998. 313p.
4. SANTOS, A.B. Avaliação Técnica dos Sistemas de Tratamento de Esgotos. Banco do Nordeste (BNB), Ambiente de Gestão dos Serviços de Logística. Fortaleza, CE, 2007. 2005p.