



Determinação do Coeficiente de Degradação (k_1) em amostras de resíduos esgotados de fossas na cidade de Juazeiro do Norte-CE

Maria Carolina da Silva Oliveira¹, Iacy Maria Pereira de Castro¹, Joana Paula Menezes Gomes¹, Higo Tavares Barbosa¹, Jefferson Queiroz Lima², Yannice Tatiane da Costa Santos³

¹Graduandos de Engenharia Ambiental e Sanitária – *Campus* Juazeiro do Norte – IFCE . e-mail: carolinasioliveira@gmail.com

²Professor Dr./Depto. de Eng. Ambiental e Sanitária - *Campus* Juazeiro do Norte – IFCE. e-mail: jeffersonlima@ifce.edu.br

³Professora Msc./Orientadora - Dept. de Eng. Ambiental e Sanitária - *Campus* Juazeiro do Norte – IFCE. e-mail: yannice@ifce.edu.br

Resumo: A matéria orgânica carbonácea é causadora de um dos principais problemas de poluição de águas: o consumo de oxigênio pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. O presente trabalho tem por objetivo determinar o coeficiente de desoxigenação (k_1) em amostras de resíduos esgotados por carros limpa-fossas da cidade de Juazeiro do Norte. Quatro amostras foram coletadas oriundas de bairros distintos e exclusivos da cidade, e realizados o teste de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) em um equipamento específico (respirômetro), a temperatura padrão (20°C) sendo considerado o valor de DBO exercida (y) em sete dias consecutivos. A concentração de matéria orgânica biodegradável das amostras encontrou-se significativamente superior as descritas na literatura em que para esgotos domésticos varia entre 100 e 400 mg/L, devendo-se possivelmente ao fato de serem despejados nas fossas majoritariamente os resíduos sanitários aumentando de forma considerável o nível de matéria orgânica. Dentre as amostras, C2 foi a que mais se aproximou de uma possível estabilização da matéria orgânica, observando-se a partir do 5,5 dias, suaves aumentos de DBO ao longo dos dias, bem como o k_1 (0,346) desse resíduo em que se verificou o mais elevado. Já a amostra C1 se comportou de forma atípica em relação às demais, com o k_1 (0,085) bastante inferior. Observou-se que os valores de k_1 calculados foram bem abaixo das faixas típicas, se comparados com esgotos brutos tipicamente domésticos e efluentes de tratamento primário. Além da DBO₅ e DQO, deverá ser considerada para aplicação no dimensionamento de estações de tratamento de esgoto ou avaliação de autodepuração de corpos aquáticos receptores de efluentes, a DBO_{última}, calculada apenas caso se determine os valores de k_1 específicos para esses resíduos, principalmente pelo fato de que o mesmo necessita, em alguns casos, de mais dias para sofrer degradação completa.

Palavras-chave: coeficiente de desoxigenação, DBO, fossas, matéria orgânica

1. INTRODUÇÃO

As substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídas principalmente por compostos de proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, além de ureia, surfactantes, fenóis, pesticidas, metais e outros (em menor quantidade), segundo Metcalf & Eddy (2003). A matéria orgânica presente nos esgotos é uma característica de primordial importância uma vez que o principal efeito ecológico da poluição em um curso d'água é o decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido, causado pela respiração dos microrganismos heterótrofos e quimioautótrofos, aeróbios e facultativos, que se alimentam da matéria orgânica.

De modo semelhante, no tratamento de esgotos por processos aeróbios, é fundamental o adequado fornecimento de oxigênio para que os microrganismos possam realizar os processos metabólicos conduzindo a estabilização da matéria orgânica. A forma de medição da degradação da matéria orgânica está associada à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), onde se encontra padronizada pelo “Standard Methods of Examination of Water and Wastewater”, na qual mede a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente numa amostra.

De acordo com Stamer et al. (1982), avaliações confiáveis de DBO são a principal ferramenta para o projeto de estações de tratamento de esgoto e para prever o impacto de um lançamento de



efluentes em corpo receptores, tendo em vista que o fato de está presente em águas residuárias apresenta uma variabilidade muito grande, sendo em função do clima da região, fatores sócio-econômicos e culturais da população, estações do ano, comprimento de redes coletoras de esgoto, dentre outros fatores. Tão importante quanto estimar o montante de OD consumido pela matéria orgânica em cinco dias, período padrão da DBO_5 , é conhecer a demanda total de consumo de oxigênio dessa amostra, a $DBO_{última}$, e principalmente a velocidade com que esse mecanismo se processa: o coeficiente de desoxigenação k_1 .

O valor de k_1 é necessário quando a DBO_5 vai ser usada para se obter a $DBO_{última}$, bem como de se descobrir em que velocidade esse efluente irá retirar o oxigênio presente no meio, de forma a não prejudicar a vida aquática. O conhecimento da $DBO_{última}$ é importante para o dimensionamento de ETE's e na determinação da autodepuração de corpos aquáticos (MENDONÇA, 1990).

Existem técnicas e modelagens matemáticas para se determinar o valor do k , através dos métodos de Thomas, mínimos quadrados, inclinação, dos momentos e da diferença de logaritmos.

Os modelos conhecidos abordam como procedimento geral a determinação de uma série de análises de DBO exercida (y) em dias consecutivos, variando entre 7 a 20 dias, de acordo com a origem da amostra (esgoto doméstico, industrial, hospitalar, comercial, tratado e etc.)

Esse valor depende das características da matéria orgânica, além da temperatura e da presença de substâncias inibidoras, de forma que, quando a taxa de consumo é superior à taxa de produção, a concentração de oxigênio tende a decrescer, ocorrendo o inverso quando a taxa de consumo é inferior à taxa de produção (VON SPERLING, 2005).

A pesquisa foi realizada na cidade de Juazeiro do Norte, esta que é a maior cidade do interior cearense, possuindo de acordo com IBGE (2010), 249.939 habitantes e apenas 38,63% de cobertura pelo esgotamento sanitário dos 97,6% da rede de abastecimento de água IPECE (2011). Dessa forma, os moradores, setores comerciais e industriais são obrigados recorrerem pela destinação dos despejos sanitários e domésticos em fossas e tanques sépticos, necessitando de esgotamento de forma esporádica, ficando a cargo das empresas imunizadoras esse despejo, sendo este feito na estação de tratamento da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), sendo composta por um tratamento preliminar seguido de lagoas de estabilização em série (duas lagoas anaeróbias, duas facultativas e uma de maturação). Porém acredita-se que essa lagoa tenha sido dimensionada para tratar efluentes apenas com características tipicamente domésticas, contudo conforme Ratis (2009), Santos (2009) e Andreoli et al, (2009) retrataram em pesquisas de caracterização desses resíduos em todo o Brasil, esse tipo de efluente se diferencia, em termos de carga orgânica, sólidos, material nitrogenado e patógenos, de efluentes domésticos.

Admitindo-se a hipótese de que esse resíduo apresenta o k_1 bem superior ao de efluentes domésticos, quando este é lançado em corpos aquáticos, desoxigenará o ambiente mais violentamente.

Baseado nos fatos acima a presente pesquisa visa a determinação do coeficiente de degradação (k_1) em amostras de resíduos esgotados por carros limpa-fossas atuantes na cidade de Juazeiro do Norte, adotando-se o método matemático de Thomas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

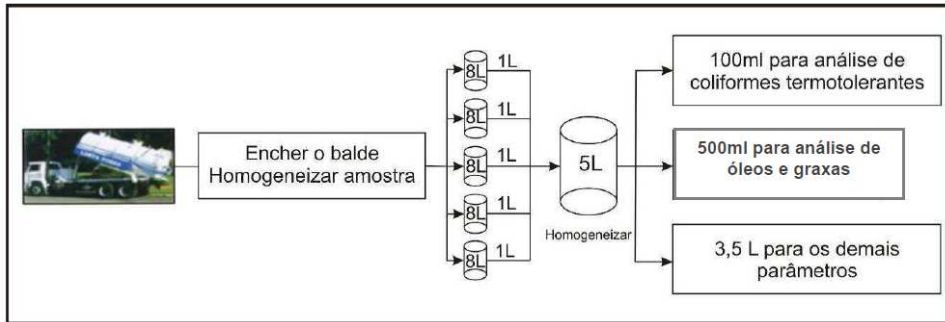
As coletas dos resíduos esgotados por carros limpa-fossas foram feitas em duas semanas, e os procedimentos de amostragem, no momento da descarga do caminhão no sistema preliminar da ETE Malvas. As coletas seguiram as orientações de Ratis (2009), da seguinte forma:

Foram coletados cinco baldes de 8L cada, durante a descarga de todo o volume do caminhão, acreditando-se dessa forma está retirando uma amostra de cada nível de esgoto do interior do caminhão, uma vez que a descarga ocorre geralmente por um escape que fica na parte inferior do caminhão.

Quatro amostras foram coletadas oriundas de bairros distintos e exclusivamente da cidade de Juazeiro do Norte, uma vez que a ETE recebe caminhões de toda a região metropolitana.

De cada balde de oito litros foi retirado 1L, e acumulado em outro recipiente maior (10 L), formando assim 5L de amostra composta, oriunda de cada balde de oito litros. O grande volume de amostra garante uma representação da homogeneidade da amostra.

As análises de DBO foram realizadas no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LEAS), situados no IFCE campus Juazeiro do Norte.



Fonte: Ratis (2009)

Figura 1 - Esquema de coleta dos resíduos

O teste de DBO foi realizado no equipamento específico (respirômetro) modelo BOD Hach TM II incubado a temperatura padrão (20°C) em incubadora microprocessada, sendo considerado o valor de DBO exercida (y) nos dias 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, onde será considerado o consumo de oxigênio via degradação de matéria orgânica carbonácea (primeiro estágio), não incluindo o consumo pelo processo de nitrificação.

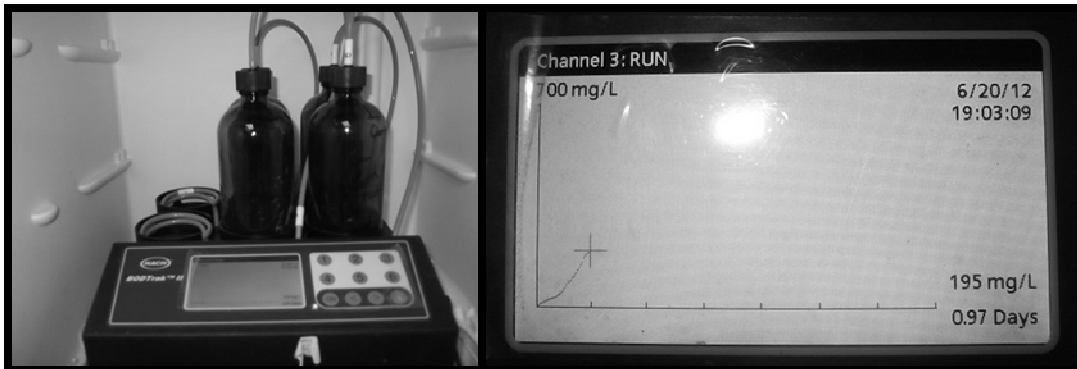


Figura 2 – Teste de DBO em execução a 20°C em respirômetro

O método utilizado para o cálculo da constante k_1 foi de Thomas, conhecido como Método gráfico de Thomas, baseado na similaridade da função $(1-10-k_1t)$ com a função $2,3k_1t[1+(2,3/6)k_1t]-3$. Após passar por diversos rearranjos é elaborado um gráfico do valor de $(t_i/Y_i)^{1/3}$ vs t_i . A reta de melhor ajuste é obtida pelo ajuste da regressão dos mínimos quadrados e o valor de k_1 gerado a partir do coeficiente angular da referida reta (MENESES, 2006). A opção em escolher este método se dá pelo fato de ser de fácil aplicação, apesar de não apresentar boa precisão no valor do k possui uma boa aceitação na literatura para a determinação da constante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 e figura 3 apresentam os valores de DBO exercida, em mgO_2/L , durante os 7 dias de incubação.

Tabela 1 – Resultados de DBO exercida ao longo dos sete dias de incubação

AMOSTRA	C1	C2	C3	C4
COLETA	1		2	
DIAS	DBO(mgO ₂ /L)			
1	172	396	558	566
2	426	660	1234	846
3	616	798	1540	1320
4	744	1006	1698	1632
5	852	1094	1806	1756
6	948	1122	1894	1854
7	1064	1158	1960	1928

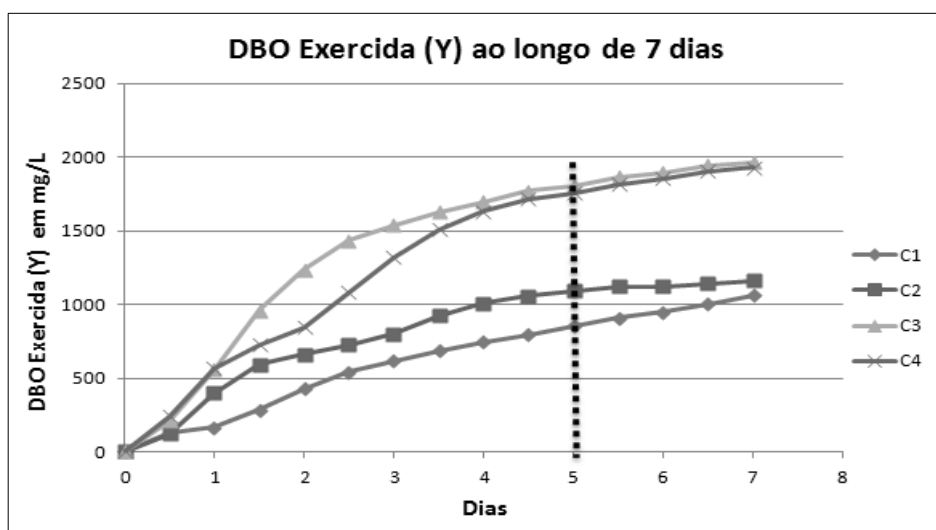


Figura 3 – Concentrações de DBO exercida (y), em mgO₂/L, durante os 7 dias de incubação a 20°C em amostras de resíduos esgotados de fossas

Conforme pode ser visto, as amostras tiveram comportamento distinto ao longo dos sete dias. Percebe-se que no quinto dia, as amostras C1 e C2, referentes à primeira coleta obtiveram concentrações da ordem de 852,0 e 1094,0 mg/L, respectivamente, valores inferiores aos dos caminhões C3 e C4 (27/06/12), com DBO₅ de 1806,0 e 1756,0 mg/L, respectivamente.

Dentre as amostras analisadas, o caminhão C2 foi o que mais se aproximou de uma possível estabilização da matéria orgânica, sendo possível observar a partir do 5,5 dias, suaves aumentos de DBO exercida ao longo dos dias.

Como se esperava, as DBO₅ foram superiores às concentrações verificadas para esgotos tipicamente domésticos, segundo Von Sperling (1996).

A determinação do k_1 pelo método de Thomas gerou os seguintes resultados:

Tabela 2 – Resultados da primeira equação matemática $((t/DBO)^{0,333})$ para a determinação de k_1 pelo método de Thomas.

Dias (t)	$(t/DBO)^{0,333}$			
	C1	C2	C3	C4
0,99	0,179521	0,135992	0,121315	0,120742
2	0,167745	0,144989	0,117715	0,133484
2,99	0,169616	0,155608	0,125012	0,131597
3,99	0,175343	0,158584	0,133215	0,134986
5	0,180684	0,166251	0,140692	0,142014
5,99	0,185185	0,175080	0,147067	0,148116
7	0,187692	0,182475	0,152850	0,153544

Com esses valores foram gerados gráficos de dispersão e encontrada a equação da reta obtida pela linha de tendência com os valores obtidos na tabela 2.

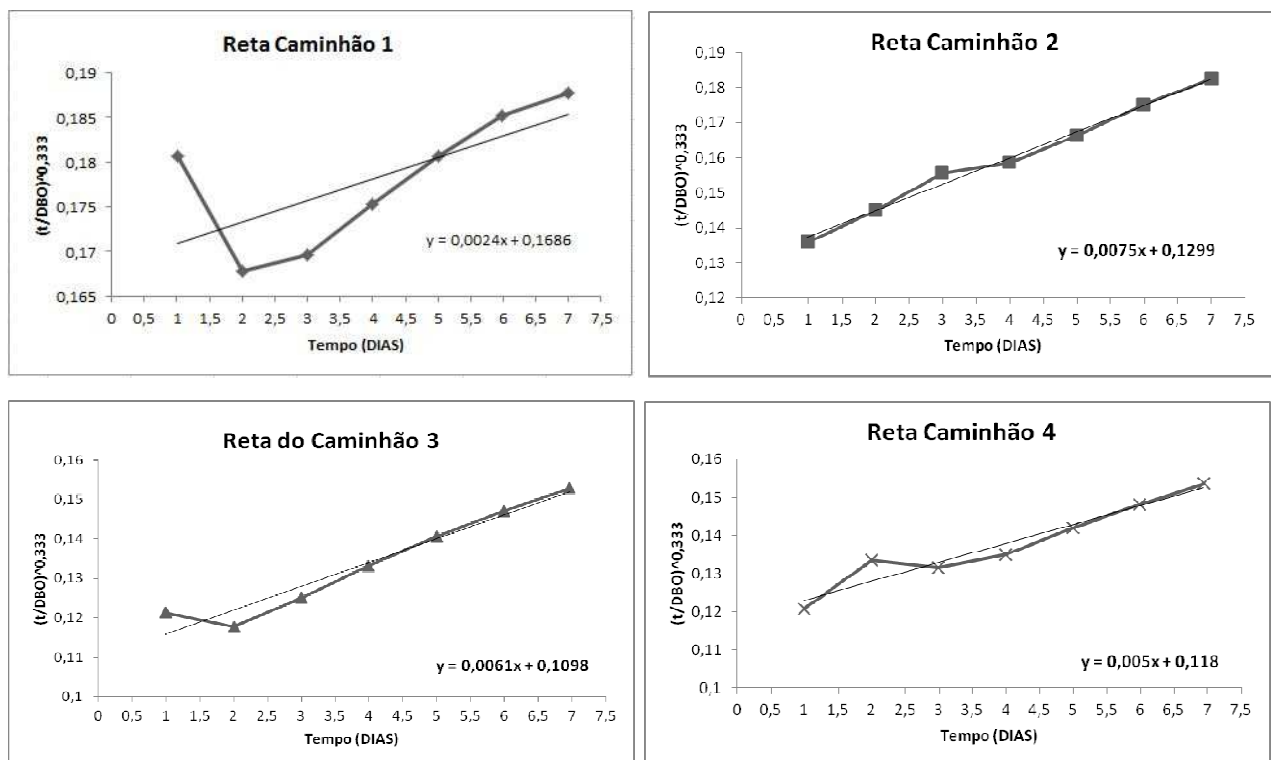


Figura 3 – Equações das retas encontradas mediante a análise de regressão linear das amostras de resíduos esgotados de fossas.

A partir das equações encontraram-se os valores de A e B, sendo A o ponto de interseção da reta e B a inclinação (ângulo). Para o cálculo de k_1 , multiplica-se por seis, a razão de B/A. os cálculos podem ser vistos na tabela 3.

Tabela 3 – Valores da constante k_1 , $DBO_{\text{última}}$ e % DBO degradada, das amostras analisadas

Amostra	C1	C2	C3	C4
A	0,1686	0,1299	0,1098	0,118
B	0,0024	0,0075	0,0061	0,005
$k_1 = 6 \times (B/A)$	0,085	0,346	0,333	0,254
$DBO_{\text{última}}$ (estimada) (mgO_2/L)	2.469,5	1.306,8	2.266,1	2.406,3
DBO 7º dia (mgO_2/L)	1064	1158	1960	1928
% DBO degradada até o 7º dia	43,1%	88,6%	86,5%	80,1%

O C2 apresentou maior coeficiente de todas as amostras analisadas, seguido de C3 e C4. A amostra C1 se comportou de forma atípica em relação às demais. Ao analisar a DBO exercida (Tabela 1) no primeiro dia de incubação, a concentração desta amostra de 172 mg/L foi a mais baixa entre todas (C2- 396, C3 -558, C4 – 566 mg/L), iniciando o processo com degradação lenta. Por esse fato, foi o único caso em que no cálculo da equação $(t/DBO)^{0,333}$ (Tabela 2 e Figura 3), iniciou com valor de 0,179521, superior aos cálculos dos dias seguintes. Essa primeira DBO exercida foi suficiente para lançar o valor de k_1 para baixo (0,085).

Observou-se que os valores de k_1 calculados foram bem abaixo do que se esperava, uma vez que devido ao aporte de matéria orgânica encontrada na literatura e sobre seu potencial poluidor elevado, acreditava-se que a taxa, ou a velocidade de degradação desse material fosse rápida proporcional à concentração.

Considerando a tabela elaborada por Von Sperling (1996) para valores de k_1 de diversos tipos, o resíduo estudado se classificaria como água residuária de baixa concentração e efluente primário. Isso não se aplica para este resíduo, pois, considerando a DBO última, bem como a fração nitrogenada, fosfatada e de sólidos, com concentração elevada, essa classificação não o caracteriza como efluente de tal categoria.

Porém, os baixos valores podem ser relacionados ao fato de que os resíduos passam meses, e até anos sendo acumulados e sofrendo decomposição no interior das fossas, mesmo com a alimentação de esgoto constante, a parte inerte, ou mineralizada é significativa considerando o todo. Logo, a taxa de degradação se comporta quanto maior for a concentração de matéria orgânica, bem como o tipo em que ela se encontra. Pode-se dizer que os resíduos do interior desses sistemas são semelhantes aos esgotos “negros”, velhos, com uma parcela bem estabilizada.

Oliveira et al (2005) encontrou coeficientes reduzidos ao longo de um sistema de lagoas de estabilização, onde a fração orgânica decresce ao longo do sistema. Os autores recomendam inclusive que talvez não seja aplicável a cinética de primeira ordem.

Apesar dos resíduos esgotados apresentarem um grau de mineralização alto, ainda apresenta matéria orgânica remanescente, de importante interesse para o dimensionamento de sistemas de tratamento desses resíduos. Este fato faz com que a velocidade e cinética sejam realmente diferentes e particulares para esse tipo de esgoto. Não é apenas o valor de DBO_5 ou de DQO que deverá ser considerado, e sim a DBO última, que só poderá ser calculada caso se determine os valores de k_1 específicos.

Como pôde ser visto na tabela 3, das quatro amostras, a que apresentou o menor coeficiente (C1) obteve a maior $DBO_{\text{última}}$, visto que a respectiva DBO_7 apresentou-se relativamente distante da DBO Total diferentemente do que aconteceu com as demais amostras que já apresentavam mais de 80% do seu material biodegradável consumido (C2 - 88,6%, C3 - 86,5% e C4- 80,1%).

Mesmo com a intensa e vasta utilização dos sistemas de tanques sépticos e fossas durante anos, a preocupação com os resíduos esgotados surgiu há pouco tempo através da inserção do Tema Lodo de Fossa no Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), onde estudos de caracterização



deram início ao conhecimento desse tipo de efluente. Ademais, raras são as publicações da determinação do coeficiente para com esse tipo de esgoto.

Os resíduos de fossas coletados por caminhões em Juazeiro do Norte despejam seu conteúdo em lagoas de estabilização, que foram dimensionadas para tratar efluentes tipicamente domésticos. Mesmo o valor de k_1 sendo relativamente baixo, como verificado neste estudo prévio, e até inferior ao esgoto bruto concentrado, considerando a literatura, concluiu-se que a $DBO_{\text{última}}$ é mais elevada do que os demais, demandando mais tempo (dias) para a decomposição completa da parte biodegradável.

6. CONCLUSÕES

Os valores de k_1 encontrados para as quatro amostras de resíduos esgotados de fossas foram abaixo do que se esperava se equiparando com esgotos brutos tipicamente domésticos e efluentes de tratamento primário, conforme citado na literatura.

Associa-se este fenômeno ao fato de que os resíduos passam meses, e até anos sendo acumulados e sofrendo decomposição no interior das fossas, mesmo com a alimentação de esgoto contínua, a parte mineralizada é significativa considerando o todo.

Pode-se dizer que os resíduos do interior desses sistemas são semelhantes aos esgotos “negros” ou velhos, com uma parcela orgânica bem estabilizada, reduzindo desta forma a velocidade de degradação da fração biodegradável.

Das amostras analisadas, a que apresentou menor coeficiente (degradação mais lenta) foi a que obteve maior $DBO_{\text{última}}$, insinuando a presença de elevado teor de matéria orgânica remanescente que ainda está por ser degradada.

O fato da presença significativa da fração estabilizada faz com que a velocidade e cinética sejam realmente diferentes e particulares para esse tipo de esgoto. É importante salientar que não é apenas o valor de DBO_5 ou de DQO que deverá ser considerado na aplicação de dimensionamento de ETE's ou avaliação de autodepuração de corpos aquáticos receptores de efluentes, e sim a $DBO_{\text{última}}$, que só poderá ser calculada caso se determine os valores de k_1 específicos para esses resíduos, principalmente pelo fato de que o mesmo necessita, em alguns casos, de mais dias para sofrer degradação completa.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20.ed. Washington D C. 1998.

ANDREOLI, C. V. (Coord.). et al. **Lodo de fossa séptica**. Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados da Amostra do Censo Demográfico 2000 - Malha municipal digital do Brasil: situação em 2001. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 4 jul. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). Perfil Municipal: Juazeiro do Norte. Fortaleza, 2011.

MENDONÇA, S. R. et al. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos**, João Pessoa, 1990.

MENESES, C. G. **Evolução da biodegradabilidade da matéria orgânica em um sistema de lagoas de estabilização**. 2006. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.



METCALF & EDDY. **Wasterwater engineering: treatment and reuse**. Metcalf & Eddy, Inc. 4. ed, 1819 p.

OLIVEIRA, E. C. A.; ARAÚJO, G. M.; ARAÚJO, A. L. D.; BEDA, J. N.; INGUNZA, M. P. D.. Caracterização e verificação das variações das taxas de degradação de matéria orgânica em diferentes temperaturas de incubação na ETE Ponta Negra/RN. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

RATIS, A. N. F. A. **Caracterização dos resíduos esgotados de sistemas de tratamento individual de esgotos domésticos de Natal**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – Rio Grande do Norte, 2009.

SANTOS, Y.T.C. **Caracterização do conteúdo de fossas e tanques sépticos na cidade de Natal**. 2009. 204f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

STAMER, J. K.; BENNETT, J. P.; MCKENZIE, S. W. **Determination of ultimate carbonaceous BOD and the specific rate constant (K1)**. U.S. Geological Survey. Open-File Report 82-645. 1983.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. In: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, vol.1. 3ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 452 p.

_____. Princípios básicos do tratamento de esgotos. In: **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, vol.2. Belo Horizonte: DESA / UFMG, 1996.