

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

**II-066 - AVALIAÇÃO DA RESPIROMETRIA PARA DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO****M. Sc. Ernesto Batista da Silva Filho**

Formado em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Pará em 2000, concluiu o curso de Mestrado em Engenharia Civil (especialidade Saneamento e Meio Ambiente) na Universidade Federal de Campina Grande em 2003. Atualmente trabalha como pesquisador no Laboratório de Engenharia Ambiental do DEQ/UFPE.

**Prof. Dr. Adrianus C. Van Haandel**

Engenheiro Químico em 1968 e Mestre em Eng. Química em 1971 pela Eindhoven University of Technology (Holanda). Doutor em Engenharia Civil pela University of Cape Town (África do Sul) em 1981 e Pós-doutorado pela Agricultural University – Wageningen (Holanda) em 1991. Professor do Depto. de Eng. Civil da UFCG. Coordenador do PROSAB-CG, Consultor em Tratamento de Efluentes. Pesquisador 1B do CNPq.

**Profa. Dra. Paula Fracinetti F. Cavalcanti**

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba em 1972. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba em 1976. Doutora pela Agricultural University - Wageningen (Holanda) em 2003. Professora do Departamento de Engenharia Civil da UFCG.

**Prof. Dra. Valdinete Lins da Silva**

Química pela Universidade Católica de Pernambuco em 1972. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco em 1977. Doutora em Química pela UNICAMP em 1991. Coordenadora do Lab. de Engenharia Ambiental e da Qualidade do DEQ/UFPE. Pesquisadora 2B do CNPq.

**Prof. Dr. Mauricio da Motta <sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco em 1992. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba no Campus II (atual UFCG) em 1995. Doutor em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (França) em 2001. Professor do Departamento de Engenharia Química da UFPE e Pesquisador 2C do CNPq

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ) - Departamento de Engenharia Química - CTG - Universidade Federal de Pernambuco - Cidade Universitária – 50740-521 - Recife - Pernambuco – Brasil - Tel.: (+55 81) 3274-7268 – Fax: (+55 81) 3271-3992

 [mottas@ufpe.br](mailto:mottas@ufpe.br)

**RESUMO**

Uma das práticas fundamentais quando se deseja avaliar o grau de poluição em um determinado ambiente, ou a capacidade poluente de um determinado despejo, é a determinação da quantidade de matéria orgânica biodegradável. Quando se trata de uma estação de tratamento de efluentes, este dado se torna quase que imprescindível tanto ao seu projeto como a sua operação. Portanto, a determinação da DBO é uma prática comum aos laboratórios de análises ambientais. Todavia, a determinação da DBO<sub>5</sub>, método consagrado para a determinação da matéria orgânica biodegradável, é uma análise de longa duração (5 dias) o que representa um inconveniente técnico para a operação de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs). Por outro lado testes mais rápidos como a DQO e COT, não são capazes de avaliar especificamente a matéria orgânica biodegradável. Este trabalho investiga a utilização respirometria através da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO), como forma de determinar a matéria orgânica biodegradável presente em águas residuárias. Os ensaios experimentais foram realizados utilizando substratos sintéticos e efluentes reais, para os quais foram determinadas a DQO, DBO<sub>5</sub> e a DBO através do método respirométrico DBO<sub>r</sub>. Utilizou-se duas técnicas para a obtenção dos dados respirométricos: um método mais sofisticado envolvendo a utilização de um respirômetro

responsável pelo gerenciamento da aeração e agitação e aquisição dos dados do ensaio, e um método em o gerenciamento da aeração e agitação bem como, a aquisição de dados era feita de forma manual. Os resultados obtidos indicaram uma boa correlação  $DBO_r/DQO$ , com desvio dentro de um limite máximo de 10%, porém o mesmo não foi alcançado para a  $DBO_r/DBO_5$ . Os resultados apesar de ainda não serem conclusivos indicam a aplicabilidade da metodologia aqui proposta na determinação da DBO.

**PALAVRAS-CHAVE:** Respirometria, DBO, Matéria Orgânica, Lodo Ativado, ETE.

## INTRODUÇÃO

Em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) é fundamental para uma correta operação e monitoramento do sistema que se começa concentração de matéria orgânica presente na água residuária afluenta a estação de tratamento.

Os métodos tradicionais de determinação de matéria orgânica para fins de controle ambiental são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO), sendo a DBO o parâmetro mais comumente adotado por representar a matéria orgânica biodegradável. Todavia, a DQO não faz distinção entre a matéria orgânica biodegradável e não biodegradável, e o método para determinação da DBO mais difundido, o teste da  $DBO_5$ , não representa todo o material carbonáceo biodegradável, além de requerer um período excessivamente longo para sua conclusão (5 dias) e não ser um teste tão preciso quanto a DQO. Também é utilizado para o mesmo fim o método do Carbono Orgânico Total (COT), esse teste pode ser realizado em poucos minutos, mas requer equipamento sofisticado e caro, o que dificulta a utilização deste teste como um teste rotineiro.

Por outro lado, a remoção de matéria orgânica em ETE's é feita primordialmente em unidades que utilização processos biológicos, e em sua maioria processos aeróbios, em particular os sistemas com lodo em suspensão (lodo ativado e suas variantes, valo de oxidação, lagoa aerada, etc.). Estes sistemas utilizam uma comunidade mista de microrganismos aeróbios residentes para oxidar a matéria orgânica. A medição da velocidade com que o oxigênio é consumido dentro do sistema de tratamento, isto é, a Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) ao longo do tempo. Também conhecida como respirometria, a TCO pode fornecer valiosas informações a respeito do sistema de tratamento e do efluente tratado. Entretanto, é necessária para que a TCO seja representativa que a distribuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD) seja a mesma em todos os pontos no interior do reator, portanto o teste da TCO não é indicado para sistemas de lodo fixo.

A respirometria é fundamentada na teoria cinética desenvolvida pelo Prof. Marais e sua equipe para sistemas de tratamento com lodo em suspensão (MARAIS & EKAMA, 1976). O teste respirométrico é um teste simples e de curta duração. A forma mais simples de determinar a TCO é através da medição da redução da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no licor misto após interrupção no fornecimento de oxigênio (Equação 1).

$$TCO = \frac{dOD}{dt} = \frac{OD_{max} - OD_{min}}{t_1 - t_0} \quad (1)$$

Na determinação da TCO podem ser utilizados aparelhos denominados de respirômetros que monitoram a concentração de OD dentro do sistema e calculam a TCO, transmitindo on-line esses dados para um computador. Todavia o teste respirométrico pode ser realizado de forma manual somente com a utilização da Equação 1, com o auxílio de um oxímetro e um cronômetro (VAN HAANDEL & CATUNDA, 1982). Apesar do teste da DBO respirométrica ( $DBO_r$ ) ser um teste reconhecido pelo Standard Methods for Examination of Water em Wastewater (SMEWW) não existe ainda uma metodologia padrão para sua realização, sendo as técnicas atuais desenvolvidas pelos fabricantes de equipamentos, o que as tornam dependentes de seus produtos.

Marais e Ekama (1976), estabeleceram que, independente da natureza do material biodegradável, no metabolismo bacteriano uma fração igual a  $\alpha$  é oxidada ou catabolizada e a fração restante,  $\beta$ , é utilizada para a síntese de material celular (anabolizada).

Neste contexto o método respirométrico, através da determinação da TCO é apresentado como uma alternativa aos métodos tradicionais de determinação da concentração de matéria orgânica em águas residuárias. Este artigo compara os resultados obtidos na determinação da concentração de matéria orgânica presente em dois efluentes sintéticos e em um efluente real (coletado a entrada da ETE Cabanga em Recife-PE), através dos métodos de DQO,  $DBO_5$  e  $DBO_r$ .

comparando a acuracidade e precisão dos mesmos. Buscando fundamentar as bases para um método alternativo para a determinação da matéria orgânica em águas residuárias.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

Os ensaios experimentais foram realizados em duas etapas. Inicialmente avaliou-se a  $DBO_T$  unicamente em relação a DQO, e na segunda etapa buscou-se relacioná-la com da  $DBO_5$ . Para a realização dos testes respirométricos iniciais utilizou-se um reator em batelada de bancada formado por um recipiente com 2L de capacidade, um agitador magnético, um aerador, um respirômetro (Beluga 3.33C) e um microcomputador, conforme apresentado na Figura 1. Os testes complementares foram realizados utilizando a técnica manual, sem a utilização do respirômetro, e consistiu em aerar um Becker contendo licor misto de sistema de lodo ativado, até aproximadamente 3 mg de  $O_2/L$  e registrar a depleção da concentração até aproximadamente 1 mg de  $O_2/L$ ; citada anteriormente, sendo utilizados, apenas um oxímetro (Handylab OX 1, fabricado pela SCHOTT), um cronômetro e um compressor de ar para aquário, conforme o apresentado pela Figura 2a e 2b. Em todos os testes houve monitoramento do pH antes e após os ensaios experimentais, verificando-se uma variação na faixa de 6,8 a 7,6.

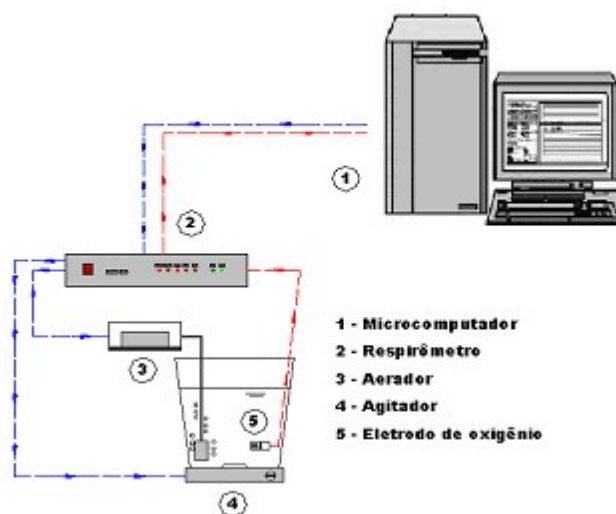


Figura 1 : Representação esquemática dos equipamentos utilizados na 1ª etapa do experimento.

### Método respirométrico.

A metodologia aplicada consistiu em determinar a concentração de matéria orgânica presente em águas residuárias através da DQO,  $DBO_5$  e  $DBO_T$  e compara-las entre si, verificando o desvio padrão em cada determinação e procurando estabelecer correlações. Os testes de DQO e  $DBO_5$  foram realizados segundo a metodologia padronizada por SMEWW (APHA, 1995).



Figura 2: Determinação da TCO através da técnica manual.

O método empregado para a realização dos testes respirométricos da 1ª etapa foi a mesma metodologia utilizada por Silva Filho (2003). Porém, na realização dos testes na 2ª etapa foram introduzidas modificações. A metodologia completa é descrita a seguir:

1. Coleta-se um determinado volume, 500mL, de licor misto e transfere-se para um recipiente dotado de agitação (reator) acoplado ao elétron de OD (conforme Figura 2);
2. Como deseja-se medir somente a matéria orgânica carbonácea, faz-se necessária a inibição de qualquer eventual atividade autotrófica nitrificante, portanto a adicionou-se Piridina a uma taxa de 1 g/L Como forma de inibir a atividade das bactérias nitrificantes;
3. Inicia-se a aeração e aguarda-se o estabelecimento do estado endógeno, após aproximadamente 30 minutos, em que os microrganismos oxidam sua própria biomassa por não haver matéria orgânica disponível para oxidação no meio (matéria orgânica exógena);
4. A aeração é interrompida e o cronômetro ligado para registrar uma redução de aproximadamente 2mg/L na concentração de OD do meio, repetindo-se o procedimento para se obter a quantidade de dados que represente o estado endógeno;
5. A agitação era desligada e o licor misto posto a decantar, sendo então retirada uma alíquota de sobrenadante (100 mL);
6. Em seguida adiciona-se um substrato (Efluente), na mesma quantidade em que foi retirada a alíquota de sobrenadante, que é oxidado pelos microrganismos, resultando em um aumento da TCO. Quando o substrato está completamente oxidado a TCO decai e se estabelece novamente o estado endógeno;
7. Cada leitura de TCO gerada é plotada em um gráfico em função do tempo (Figura 3).
8. A integração da área do gráfico fornece a quantidade de oxigênio utilizada para oxidar o substrato, mais detalhes sobre o processo de integração podem ser visto em Fogler (2002). Sabendo-se que está representa ? da matéria orgânica total, pode calcular a quantidade total de matéria orgânica utilizada através da Equação 2:

$$S = A \cdot 3(V_T/V_S) \quad (2)$$

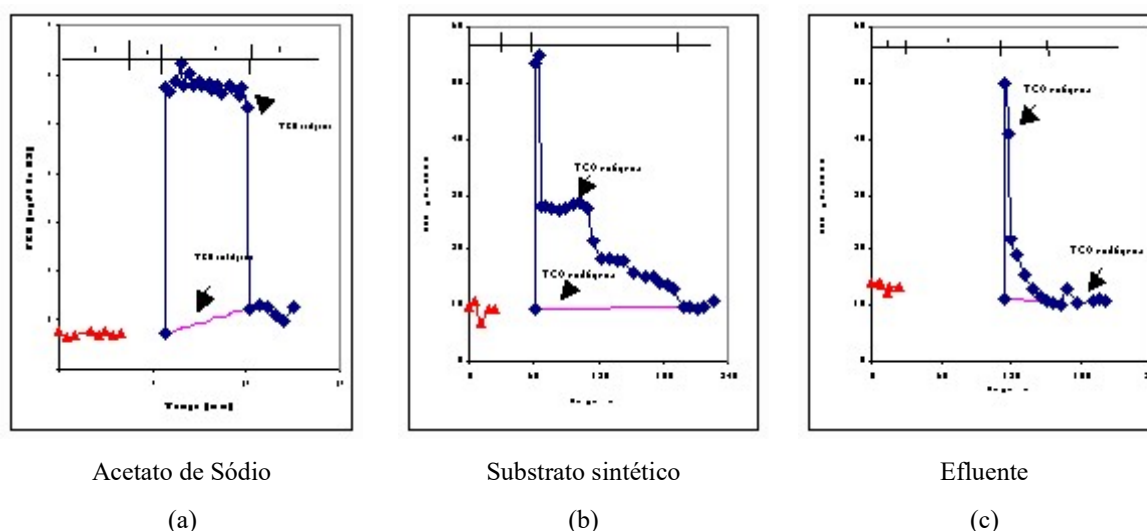
Em que: S - Quantidade total de matéria orgânica utilizada;

A - Área sob a curva (matéria orgânica oxidada);

V<sub>T</sub> - Volume total do reator;

V<sub>S</sub>:- Volume de substrato adicionado.

A Figura 3 apresenta gráficos obtidos para cada um dos substratos estudados na 2ª etapa. Nota-se que a forma do gráfico variou em função da composição da matéria orgânica na Figura 3a o substrato era composto por uma única substância e entrava-se completamente dissolvido, portanto, permeável a membrana celular, sendo oxidado a uma alta taxa, gerando uma valores altos de TCO e ao terminar caia a bruta mente. Já na Figura 3b há uma mistura de vários tipos de substâncias (aminoácidos, carboidratos, etc.), que por sua vez, encontravam-se tanto dissolvidos, quanto em estado particulado, há existência de matéria orgânica dissolvida bem como em estado sólido ou semi-sólido é mais comum para a maioria dos efluentes reais. Observa-se que ocorre um pico na TCO, em função do material rapidamente biodegradável, uma queda para um patamar intermediário em que ocorre a degradação do material particulado, isto é, lentamente biodegradável, decaindo gradativamente até se estabelecer a TCO endógena. A Figura 3c é muito semelhante em forma da Figura 3b, porém devido a relação entre a população microbiana presente no lodo e a quantidade de efluente fornecida não estar bem ajustada o gráfico não se desenvolveu por completo.



**Figura 3 : Gráfico TCO x Tempo (A área sob a curva representa a matéria orgânica oxidada).**

A Nota-se também pela Figura 3 a rapidez do teste pois em nenhum dos testes realizados, a duração, desde o seu início até o término, foi superior a 3 horas.

### Discussão dos Resultados

A Tabela 1 apresenta valores de matéria orgânica determinados através da DQO e da DBO<sub>r</sub> em vários substratos. Nota-se a boa correlação obtida, com a grande maioria dos resultados obtidos dentro de um limite de 0,10 de variação.

**Tabela 1 : Relação entre DQO e DBO<sub>r</sub> para vários substratos.**

| Substrato Utilizado | DQO (biodegradável)<br>(mg de O <sub>2</sub> /L) | DBO <sub>r</sub> (respirometria)<br>(mg de O <sub>2</sub> /L) | DBO <sub>r</sub> /DQO |
|---------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Acetato de sódio    | 356                                              | 331                                                           | 0,93                  |
|                     | 356                                              | 329                                                           | 0,93                  |
| Amido de milho      | 435                                              | 421                                                           | 0,97                  |
|                     | 435                                              | 419                                                           | 1,06                  |
| Esgoto doméstico*   | 467                                              | 495                                                           | 1,03                  |
|                     | 519                                              | 535                                                           | 0,97                  |
| Vinhoto tratado     | 5713                                             | 5640                                                          | 0,99                  |
|                     | 4200                                             | 4080                                                          | 0,97                  |

(\*) Esgoto doméstico da cidade de Campina Grande, PB.

A Tabela 2 apresenta dados obtidos para a determinação de DQO, DQO<sub>5</sub> e DBO<sub>r</sub>, para os seguintes substratos: Acetato de Sódio, um substrato sintético e um efluente real (coletado na entrada na ETE do Cabanga em Recife – PE). O substrato sintético foi preparado segundo o descrito por Silva (2004).

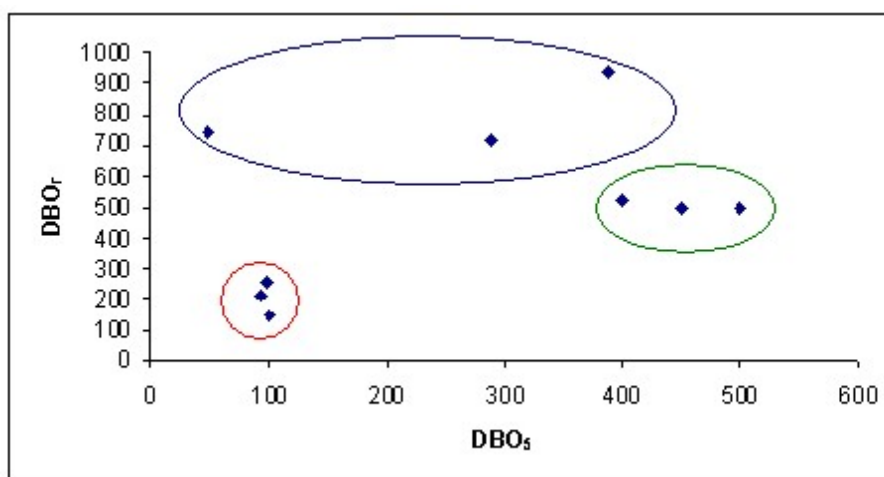
O procedimento experimental adotado para a realização destes experimentos foi completamente manual sem a utilização dos recursos computacionais utilizados anteriormente.

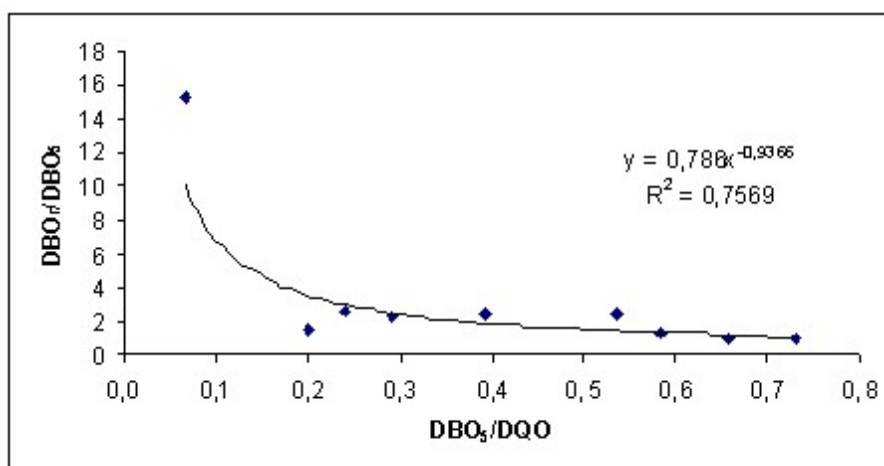
Nota-se que as relações obtidas nesta segunda série de experimentos (DBO/DQO, DBO<sub>r</sub>/DQO, DBO<sub>r</sub>/DBO<sub>5</sub>) da Tabela 2, não apresentaram os resultados esperados, sendo que para nenhum dos substratos estudados houve uma relação DQO<sub>r</sub>/DBO<sub>5</sub> satisfatória. Da mesma maneira, a relação DBO<sub>r</sub>/DQO não reproduziu os resultados anteriormente obtidos mesmo quanto o substrato estudado era o mesmo, conforme pode ser observado através da comparação da relação DBO<sub>r</sub>/DQO na Tabela 1 e na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre DQO, DBO<sub>5</sub> e DBO<sub>r</sub>.

| Substrato Utilizado | DQO<br>(mg de O <sub>2</sub> /L) | DBO<br>(mg de O <sub>2</sub> /L) | DBO <sub>r</sub><br>(mg de O <sub>2</sub> /L) | DBO <sub>5</sub> /DQO | DBO <sub>r</sub> /DQO | DBO <sub>r</sub> /DBO <sub>5</sub> |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Acetato de sódio    | 685                              | 399                              | 519                                           | 0,58                  | 0,76                  | 1,30                               |
|                     | 685                              | 499                              | 496                                           | 0,73                  | 0,72                  | 0,99                               |
|                     | 685                              | 450                              | 489                                           | 0,66                  | 0,71                  | 1,09                               |
| Substrato Sintético | 726                              | 388                              | 933                                           | 0,53                  | 1,28                  | 2,40                               |
|                     | 736                              | 288                              | 716                                           | 0,39                  | 0,97                  | 2,49                               |
|                     | 731                              | 48                               | 743                                           | 0,07                  | 1,02                  | 15,42                              |
| Efluente            | 319                              | 94                               | 211                                           | 0,29                  | 0,66                  | 2,25                               |
|                     | 512                              | 103                              | 155                                           | 0,20                  | 0,30                  | 1,51                               |
|                     | 416                              | 99                               | 257                                           | 0,24                  | 0,62                  | 2,59                               |

Pode-se perceber a partir da Figura 4 que os substratos estudados apresentaram diferentes níveis de concentração, denotado pela formação de agrupamentos de dados. Com exceção dos dados obtidos para o substrato sintético os demais apresentaram pouca dispersão o que indica que apesar de não satisfatória a correlação entre DBO<sub>r</sub>/DBO<sub>5</sub> é significativa e que a DBO<sub>r</sub> apresenta alguma precisão para a determinação da matéria orgânica, mas necessita ser melhor ajustada. Por outro lado, a Figura 5 indica que houve um melhor ajuste entre DBO<sub>r</sub>/DBO<sub>5</sub> para os valores mais altos de matéria orgânica biodegradável (DBO<sub>5</sub>/DQO). Este fato indica de forma preliminar a pouca precisão da DBO<sub>5</sub> para baixas concentrações de matéria orgânica.

Figura 4 – Correlação entre DBO<sub>r</sub>/DBO<sub>5</sub>



**Figura 5: Tendência da DBO<sub>r</sub>/DBO<sub>5</sub>**

Dentre as possíveis causas para a não obtenção dos resultados esperados estão:

- Preparação inadequada da semente para as amostras de Acetato de Sódio e Substrato sintético, levando a um valor incorreto para a DBO<sub>5</sub>.
- O equipamento utilizado para promover a agitação oscilava acarretando, dificultando a completa mistura do licor misto ou formando vortex na superfície e introduzindo oxigênio do ar.
- A relação entre a população microbiana presente no licor misto e quantidades de amostra introduzidas devem ser mais bem avaliadas. Se por um lado uma maior população microbiana aumenta a TCO e, por conseguinte a velocidade do teste, por outro lado, diminui a quantidade de medidas, o que dificulta uma correta observação das frações rapidamente biodegradáveis da matéria orgânica, fato que pode ter prejudicado as observações realizadas a partir do efluente real.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho indicaram que a respirometria tem aplicabilidade para determinação da DBO, e que a metodologia adotada pode vir a ser adotada com sucesso, porém para tal serão necessários novos testes, conduzidos com maior rigor experimental, visando principalmente melhorar o desempenho do teste respirométrico na determinação da DBO<sub>r</sub>, no que tange a sua precisão e acuracidade, para alcançar o objetivo desejado, assim como na determinação da DBO<sub>5</sub>.

Um outro aspecto que deve ser levado em consideração futuramente é a concentração de lodo, bem como, sua atividade, para a realização de ensaios respirométricos que permitam uma reprodução com fidelidade da matéria orgânica biodegradável, principalmente a fração de se encontra dissolvida e, portanto, rapidamente biodegradável.

A capacidade de sedimentação do lodo é importante, haja vista, lodos com sedimentabilidade ruim podem aumentar sobremaneira o tempo total de ensaio.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe do programa de saneamento básico (PROSAB-CG); à equipe do Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ/DEQ/UFPE) e a FACEPE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – AWWA – WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, D.C. 1995.
2. MARAIS, G. v. R. e G. A. EKAMA. "The activated sludge process part I: steady state behaviour." Water S.A 2. 1976. p.163-200.
3. SILVA FILHO, E. B. Aplicação da respirometria na determinação da composição da matéria orgânica em águas residuárias. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande,

- Campina Grande, 2003.
4. VAN HAANDEL, A. C. e CATUNDA, P. F. F. Determinação da taxa de consumo de oxigênio. Revista Engenharia Sanitária 21.4 pp.481-488.
  5. FOGLER, S. H. Elementos de engenharia das reações químicas. 3ª ed. LTC. Rio de Janeiro, 2002.
  6. SILVA, M. C. F. 2004. Avaliação e recuperação da qualidade hídrica do canal Dery-Tacaruna (Recife-PE). Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.