

# DO LABORATÓRIO ATÉ À ESCALA REAL: COMPARAÇÃO DE RESULTADOS E COMPORTAMENTO DE UM FILTRO ANAERÓBIO HÍBRIDO.

**Santino DI BERARDINO**

Engº Químico e Sanitário, INETI-DER, Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038, Lisboa, +351.21.7127207,  
[Santino.diberardino@ineti.pt](mailto:Santino.diberardino@ineti.pt)

## RESUMO

A realização de um reactor de demonstração à escala real tipo a partir de experiências de laboratório, apresenta sempre diversas incógnitas relacionadas com a mudança da escala, com o regime de alimentação e também com as características do efluente.

No presente artigo, apresenta-se comparativamente o comportamento e os resultados obtidos com o sistema de laboratório e à escala real, fazendo referência a um filtro Anaeróbio Híbrido, parcialmente ocupado com tubos de PVC cortados e colocados ao acaso, que se encontra em funcionamento para o tratamento de águas residuais de uma fábrica de lacticínios.

A comparação do comportamento e estabilidade do filtro anaeróbio em escala real e laboratório permite realçar que as condições operacionais do sistema em escala real são muito mais desfavoráveis e bem distantes em relação aquelas que são proporcionadas em laboratório, facto este que dá origem a períodos de arranque bastante mais prolongados. Contudo o sistema de escala real consegue atingir uma situação de estabilidade e eficiência bem elevada, devido à progressiva adaptação das populações bacterianas às condições reais de alimentação e, no caso presente, também aos altos valores do pH. Alguma inibição moderada e pontual ocorre apenas em situações extremas (pH >11,5). O reactor trabalha sem correcção prévia do pH, o que permite a economia de uma grande quantidade de produtos químicos. Produz também um gás muito rico em metano (>90% de CH<sub>4</sub>) devido à utilização do dióxido de carbono para acidificação. A eficiência de remoção da CQO (em média 72%) não se desvia muito das previsões feitas na escala de laboratório. Todo o biogás produzido (125 –200 m<sup>3</sup>/dia) é consumido num motor-gerador de 15 kW (TOTEM) e o gás do motor é absorvido no líquido a tratar para diminuir o pH, economizar produtos químicos, recuperar calor e minimizar a emissão de gases com efeito estufa.

**PALAVRA-CHAVE:** Tratamento esgotos, efluentes indústria lacticínios; digestão anaeróbia; filtro anaeróbio híbrido; biogás.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

O principal objectivo do projecto consistiu na realização em escala real de um digestor de demonstração com 700 m<sup>3</sup> de capacidade do tipo “filtro anaeróbio híbrido” para tratar o efluente de uma fábrica de lacticínios. O papel do digestor foi o de aumentar a capacidade de tratamento do existente sistema de lamas activadas, em situação de sobrecarga que, nos últimos anos, teve que utilizar oxigénio puro para estar de acordo com os parâmetros de descarga ambientais. Este encontrava-se no

limite da sua capacidade, era incapaz de estabilizar as lamas e de tratar qualquer quantidade adicional de caudal ou carga orgânica.

Os objectivos principais do projecto eram: melhorar a qualidade do efluente tratado, produzir biogás e energia eléctrica, reduzir o consumo de energia e oxigénio, e minimizar os custos de investimento.

O projecto foi concebido pelo INETI e financiado pelo programa europeu, THERMIE. A parte inovadora consistiu na utilização de uma tecnologia específica, um filtro anaeróbio híbrido, cheio parcialmente com tubos de PVC cortados em forma de anéis, foi estudado à escala laboratorial e piloto pelo INETI. Os tubos utilizados são um resíduo industrial.

Nas experiências de laboratório foram utilizados 4 filtros anaeróbios híbridos com 10 litros de capacidade útil, cheios parcialmente (20%) na parte superior com pedaços de tubo de PVC, cortados previamente, para avaliar a eficiência de remoção da CQO e a produção de biogás em diversas condições de operação e carga, para avaliar a possibilidade de utilizar as lamas activadas como inoculo e também para estimar o efeito do pH durante o arranque. Os resultados principais dos trabalhos laboratoriais encontram-se sintetizados num artigo (Pires dos Santos P. and Di-Berardino S., 1992).

## 2. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

As operações e processos unitários introduzidos no existente sistema de tratamento, consistiram no seguinte:

Grelhagem e Desarenamento e crivagem;	Homogeneização;
Correcção de pH do esgoto;	Flutuação com ar pressurizado;
Pré-tratamento anaeróbio;	Utilização do biogás.

Depois de passar pelo filtro anaeróbio o efluente segue para o sistema de lamas activadas existente. As lamas em excesso do processo biológico secundário são enviadas para o digestor, para serem estabilizadas. Daí são periodicamente enviadas para os leitos de secagem existentes.

O Filtro anaeróbio tem forma cilíndrica e com fluxo ascensional. O efluente a tratar entra num primeiro compartimento em que está instalado um sistema de aquecimento que eleva a temperatura do esgoto que entra, por cogeração, e passa para o segundo compartimento, junto ao fundo, por meio de tubos dispostos radialmente, de modo a garantir uma boa distribuição do líquido e permitir um movimento circular. No interior deste compartimento podem estar instalados dois ou mais agitadores submersíveis, para incrementar o movimento circular. A saída do efluente tratado realiza-se na parte superior do tanque, por meio de descarregadores de superfície colocados ao longo da parede lateral exterior do tanque, e igualmente espaçados. O movimento ascensional em espiral, promove a separação das bactérias e do líquido, minimiza a perda de material celular e promove a permanência das bactérias no interior do reactor. Este reactor foi objecto de registo de invento.

Na parte superior do compartimento exterior existe o meio de enchimento com a dupla função de promover a fixação de bactérias e expulsar o gás do interior das células. Tem uma altura de cerca 0,7

m (estava previsto 1m), sendo constituído por tubos de PVC com 5 cm de diâmetro e 6,5 cm de comprimento, colocados duma forma casual.

O digester foi nominalmente dimensionado para um tempo de retenção de cerca de 24 horas para o valor mais alto do caudal médio diário, mas tem vindo a funcionar com 12 horas de TRH. A carga orgânica recebida pelo digester varia na gama de 0,6 a 6 kg de CQO/m<sup>3</sup>-dia.

As características geométricas do tanque são:

- diâmetro: 13 m;
- diâmetro do cilindro central: 2,0 m;
- altura de líquido: 5,4 m;
- altura máxima: 6,0 m.

Os detalhes do tanque e das entradas constam na figura 1.

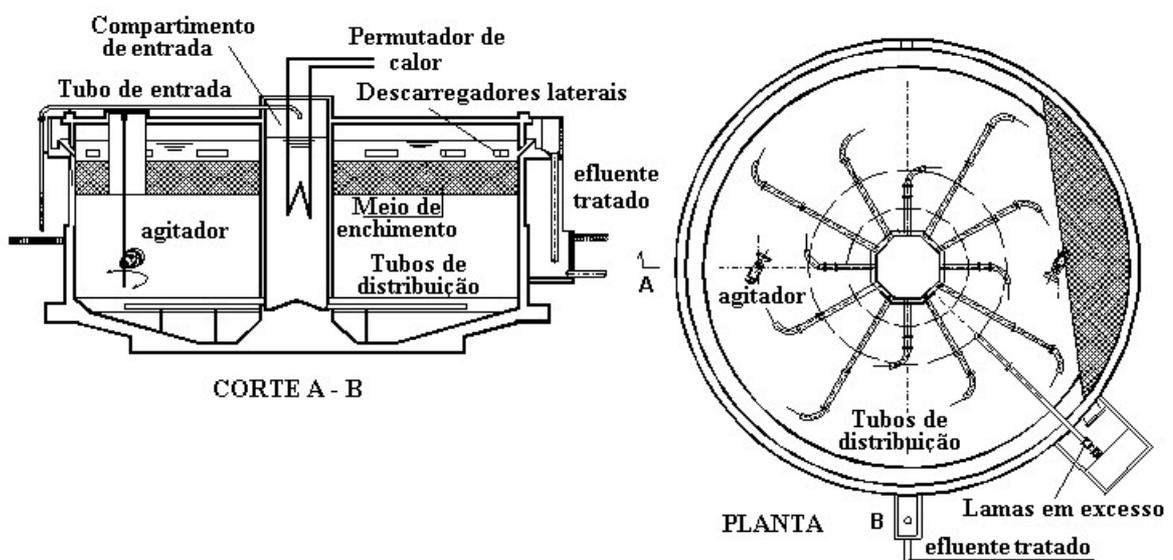


Figura 1: Características do Filtro Anaeróbio

Na figura 2 constam as características do reactor de laboratório utilizados para as experiências.

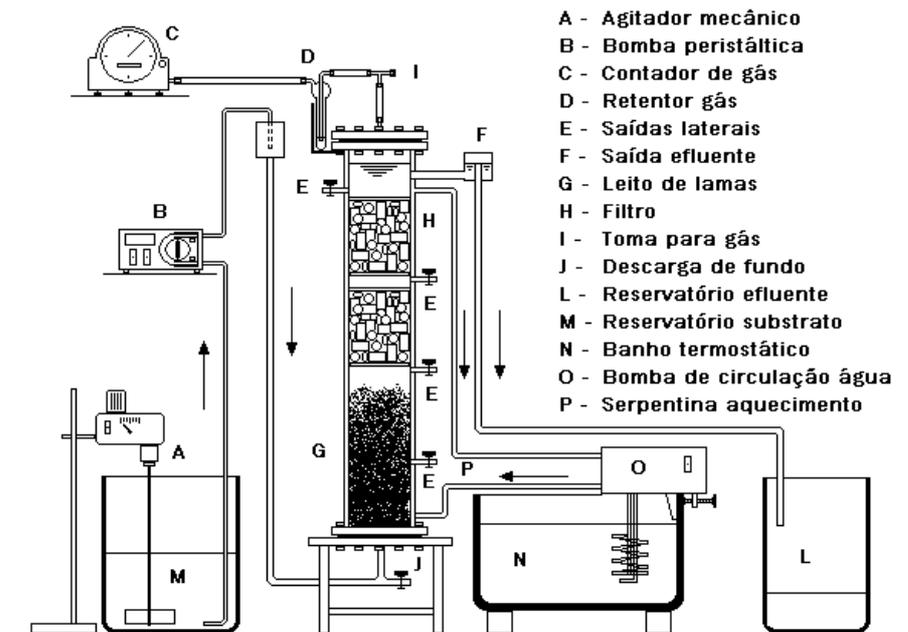


Figura 2: Instalação laboratorial

### 3. ARRANQUE DO PROCESSO

No início do arranque, devido a atraso na montagem do transformador, a electricidade não estava disponível e todos os novos órgãos de tratamento não eram alimentados. Não querendo aumentar o atraso do projecto decidiu-se partir, mesmo nestas condições, para o arranque. De acordo com os resultados de estudos de simulação laboratorial, a inoculação do reactor foi efectuada utilizando as lamas em excesso do decantador secundário, que foram deixadas sedimentar no interior do digestor, até o seu completo enchimento, durante 2 meses, visto tratar-se duma população bacteriana adaptada ao efluente e aos seus altos valores de pH. Nos flocos aeróbios encontram-se bactérias anaeróbias que se desenvolvem nas condições anaeróbias do digestor.

Depois o efluente industrial, que tem uma concentração moderada de matéria orgânica (COD = 0,8 - 3,8 g/l) e uma temperatura de cerca 30 °C, mesmo no Inverno, começou a ser enviado para o tanque usando uma bomba auxiliar, sem que a homogeneização e o sistema de correcção de pH estivessem a funcionar. Para atenuar o efeito negativo do efluente industrial muito alcalino (pH = 10,5 em média), que afecta as populações bacterianas metanogénicas, foi planeado um regime de alimentação gradual do digestor, seguindo os resultados obtidos em ensaios laboratoriais. Para efectuar alguma atenuação do valor do pH e ajudar o processo em situações de dificuldade, quando o pH do efluente do digestor tinha um valor do superior a 7,8 – 8,0, a alimentação era interrompida e o seu pH corrigido, despejando manualmente alguns bidões de sumos de fruta concentrado bastante ácido (pH = 3,9 pH), fora de validade. Durante os fins de semana o sistema não foi alimentado. Esta metodologia foi seguida durante cerca de 3 meses, até se consumir todo o sumo disponível, havendo uma evolução muito lenta do processo. Frequentemente o sistema de alimentação era interrompida para permitir o auto-ajuste do pH.

Cerca de 4 meses depois do arranque o sistema de homogeneização e as outras componentes, com excepção do sistema de correcção de pH, entraram em funcionamento exercendo um efeito favorável no comportamento do reactor, na medida em que reduzia as flutuações de cargas. A

alimentação do digestor foi progressivamente aumentada atingindo o valor de 700 m<sup>3</sup>/dia, considerando-se então concluído o arranque que demorou cerca de 5 meses.

O tecto do digestor era incapaz de reter o biogás devido ao facto de o betão ser permeável ao gás, provavelmente devido à deficiente vibração durante a construção. O problema foi ultrapassado 6 meses mais tarde, com a aplicação de um produto polimérico que se colou ao betão e criou uma camada impermeável. Esta solução é muito económica, fácil de aplicar, eficaz e tem provado que elimina qualquer fuga de biogás.

Desta forma puderam ser recolhidos os dados sobre a produção de biogás. O dióxido de carbono exerceu um importante e favorável efeito sobre o controlo do pH, devido ao equilíbrio carbónico, melhorou a estabilidade do processo e tornou possível incrementar a alimentação do reactor até 1130 m<sup>3</sup>/dia (1100 m<sup>3</sup>/dia de efluente industrial mais 30 m<sup>3</sup>/dia de lamas em excesso). Esta carga hidráulica é muito mais alta que a prevista no projecto (700 m<sup>3</sup>/dia). A Figura 3 mostra a evolução do sistema depois da reparação do tecto.

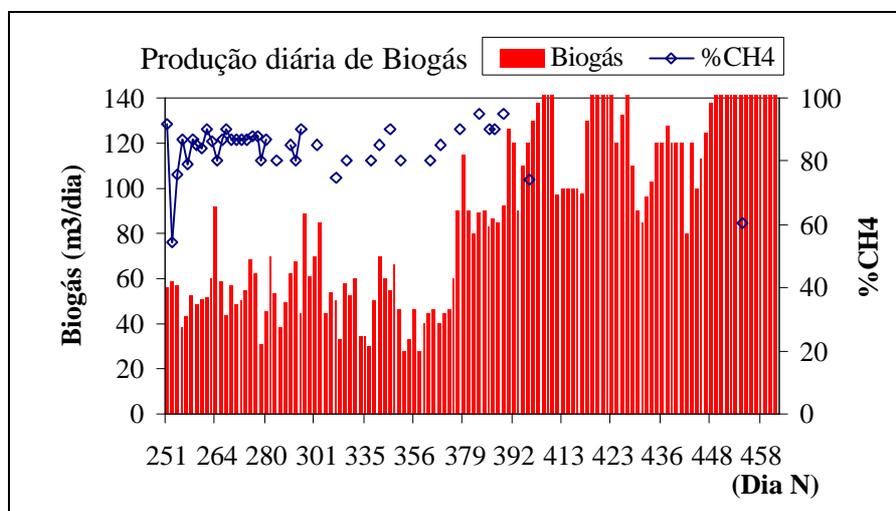


Figura 3 – Evolução da produção de Biogás

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Adaptação Bacteriana

Durante os primeiros 3 meses, foi absolutamente necessário manter o valor do pH no interior do digestor para menos de 8, para prevenir situações de inibição. O efluente industrial era desviado para o tanque de lamas activadas quando o pH de entrada era superior a 9,5. Gradualmente ocorreu a aclimatização e adaptação das bactérias ao substrato e o sistema foi capaz de trabalhar com um pH interno de 9,5-10 e receber o efluente industrial com um valor de pH até 11,3 unidades, sem revelar grandes perturbações. Acima deste valor o operador desviava o efluente para o tanque de lamas activadas.

A duração do período de aclimação não é clara, dado que a evolução mais importante ocorreu depois de o tecto do digestor ter sido reparado, o que indica a existência de um contributo substancial do dióxido de carbono. Uma população bacteriana rica em *methanotrix* cresceu no fundo do reactor. As

bactérias anaeróbias facultativas das lamas criaram as condições ambientais necessárias para a predominância das estirpes anaeróbias.

Devido a este comportamento, o sistema de controlo do pH por adição de ácidos, nunca chegou a ser posto em funcionamento, economizando dinheiro (o custo do ácido para levar o efluente a condições neutras é estimado em cerca de 3000 EURO/mês). No lugar disso foi colocado um motor gerador e um sistema de absorção de gases para baixar o pH. A produção de energia eléctrica é de cerca 400 kwh/dia.

#### 4.2 Remoção de CQO

A concentração de CQO do efluente do digester era, durante a maior parte do tempo na gama 250 – 600 mg CQO/l, que corresponde a uma eficiência de remoção de CQO de 64-85% (Valor médio igual a 72 %). Esta redução, que é significativa, tendo em atenção as condições de funcionamento do sistema, permite que o tanque de lamas activadas funcione correctamente e que a concentração dos poluentes na descarga da ETAR sejam inferiores aos limites definidos pelos regulamentos ambientais.

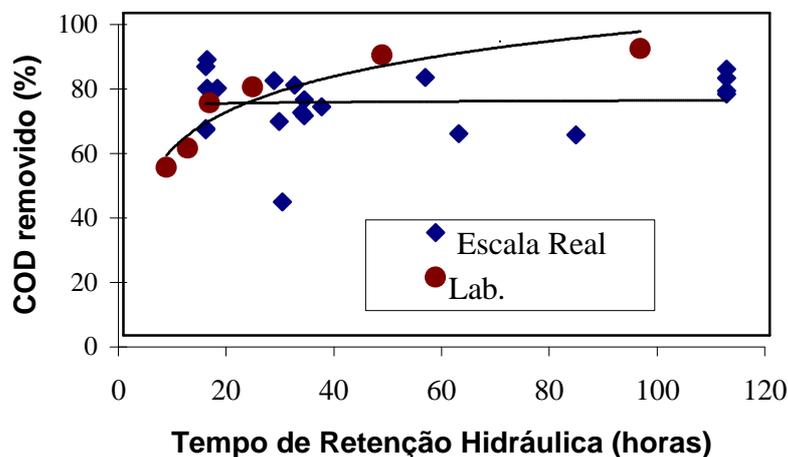


Figura 4 – Remoção da CQO em função do TRH

A figura 4 apresenta o efeito do Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) sobre a eficiência de remoção da CQO, no reactor de laboratório e no sistema em escala real. No sistema em escala real a eficiência, em média, é independente do TRH e não baixa fortemente para TRH inferior a 20 horas, o que ocorre no reactor de laboratório. Por outro lado a eficiência é inferior ao do laboratório, facto este que pode estar relacionado com o valor desfavorável do pH.

Na figura 5 constam os gráficos que relacionam a carga orgânica com a eficiência de remoção de CQO. O reactor em escala real resulta pouco dependente da carga orgânica na gama de valores estudados. Ao contrário, o reactor de laboratório resulta muito mais sensível ao valor da carga orgânica, baixando a eficiência de tratamento de 84 % para 54 %.

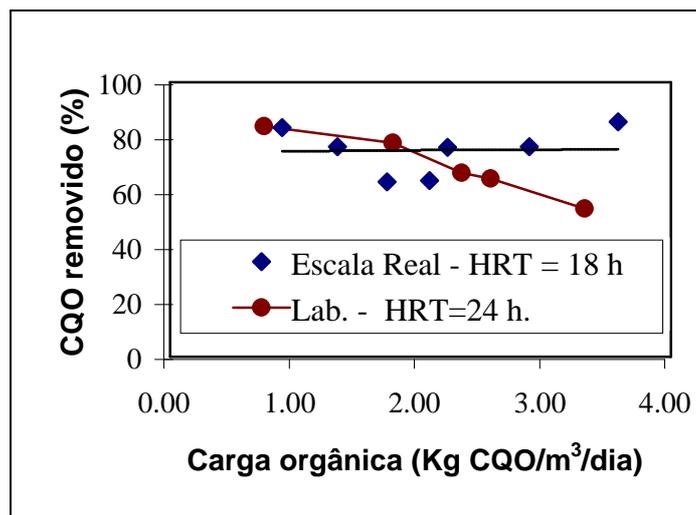


Figura 5 – Eficiência de Remoção da CQO em função da Carga Orgânica

### 4.3 Produção de biogás

O biogás produzido à escala real continha mais de 90 % metano, devido à dissolução de dióxido de carbono no líquido para tamponar o pH. Nos testes de laboratório em que o efluente era neutralizado a concentração de metano era de 80%.

O sulfídrico contido no gás era muito pouco, apenas com valores traço difíceis de quantificar, o que indica uma boa prevalência das bactérias metanogêneas sobre as redutoras de sulfatos. O rendimento em biogás depende do TRH e diminui fortemente aos pequenos valores de pH, como resulta na figura 6, o que é consequência da maior perda de metano dissolvido no efluente. À escala real o rendimento é maior que nos reactores de laboratório, o que é devido à adição das lamas activadas em excesso do tanque de arejamento. A produção de metano atingiu o valor máximo de 180 m³/dia, o que está de acordo com as previsões do projecto

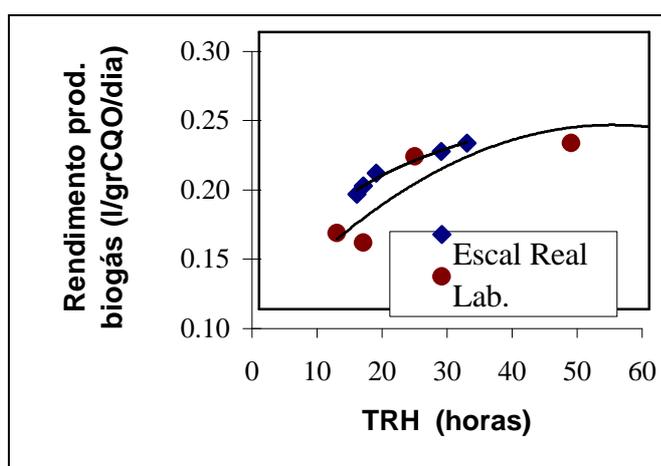


Figura 6 – Rendimento de produção do biogás vs. TRH

## 5 CONCLUSÕES

O comportamento do sistema em escala real está razoavelmente de acordo e até excede as previsões feitas em durante os ensaios laboratoriais. As diferenças encontradas são derivadas das condições operativas mais que do comportamento do reactor. No entanto a maior altura do digestor em escala real proporciona energia disponível pela libertação do gás, o que provavelmente beneficiou o sistema em escala real.

O filtro anaeróbio híbrido provou ser uma tecnologia robusta e eficaz, com capacidade de adaptação a condições operacionais muito difíceis e a efluente muito alcalino. Garante eficiências remoção de CQO bastante elevadas, sobretudo em face das condições as quais foi submetido.

A absorção dos gases provenientes do motor gerador alimentado a biogás dá origem a uma considerável economia de reagentes químicos para corrigir o pH e também impede o escape de gases com efeito estufa para a atmosfera.

## REFERÊNCIAS

Dos Santos P. P. and Di-Berardino S. (1997): Performance of an Anaerobic Hybrid Filter Treating Milk Processing Wastewater. *Proc 8 Int. Congress Anaer. Dig.* (poster session) May 25-29, Sendai, Japan.