

RELATÓRIO BPC

HEROS – Holanda

Piloto de Biorremediação de Água



Abril, 2008

Tópico: Resumo de Estudo Piloto BPC

1. Apanhado Executivo –

i. Base Geral -

Tenho a honra de apresentar o presente relatório de resumo de atividades. Por favor, note que ela contém informações que já foram discutidas, bem como novas informações provenientes da análise final de dados, realizada depois que todo o estudo piloto foi concluído.

Agradecemos a oportunidade de realizar este estudo e estamos confiantes de que as informações acumuladas e as conclusões analíticas serão valiosas para as futuras decisões da HEROS.

ii. Propósito do Piloto -

O objetivo deste piloto foi provar que a inovadora tecnologia patenteada do Tratamento Quimiostático Automatizado (ACT™) é capaz de tratar água de lastro típica e que isso nos permite a possibilidade de aumentar as cargas hidráulicas e orgânicas na planta de efluentes existente. Devido aos regulamentos mais críticos e à natureza desta contaminação específica da água, o MWH-BPC procedeu em um tratamento de duas etapas. O primeiro passo foi o processo ACT™ (tecnologia de biorremediação) e, como etapa final de polimento, foram testadas diferentes alternativas: ultrafiltração e filtração de areia. Nós amostramos cada etapa dos tratamentos, e testamos suas vantagens econômicas usando os dados de pós-tratamento.

iii. Especificações para o efluente ACT™ -

(verificar Apêndice 1, Acordo do Piloto)

- Reduzir DQO, Total-N, DBO em 90%;
- Total-P abaixo de 2 ppm;
- Fenol, TPH < 1 ppm;
- Partículas não-solúveis < 25 ppm;
- Nenhum efeito necessário para cloretos, metais pesados e sais;
- Alcançar conclusões em relação à implementação ideal de um sistema completo.

iv. Resumo de Resultados -

As águas de lastro altamente contaminadas foram tratadas em modo contínuo durante 8 semanas com um tempo de retenção de 60 horas. Por fim, os resultados apresentados são muito bons e altamente encorajadores quanto à customização do processo BPC para a água de lastro na HEROS.

- Carga orgânica no sistema de 1,5 kg/h > 35 kg/dia;
- 93% de redução de óleos e graxas (média < 5 ppm);
- Redução de 88% da DQO (média < 700 ppm);
- 90% de TOC (reduzido para 171 ppm);
- 100% de degradação do fenol (em média < 0,1 ppm);
- 63% de redução do nitrogênio total (média < 70 ppm);
- 95% de degradação de DBO (média < 150 ppm);
- 13% Conversão de DQO para TSS.

Os resultados desses testes se demonstraram muito promissores, destacando-se os valores impressionantes da redução de fenol e TPH, em 100% e 93%, respectivamente. Esses resultados demonstram a eficácia geral da solução de tratamento BPC. Além de fornecer água de alta qualidade,

nosso sistema oferece o tratamento em menos de metade do tempo de retenção de outros métodos disponíveis hoje (Fig. 3.11.a). Além disso, conseguimos obter uma conversão de 13% de DQO para TSS, que é um terço dos métodos paralelos disponíveis hoje (Tab. 4.1).

v. Pós-Tratamento -

Durante a execução do piloto, dois métodos de pós-tratamento foram experimentados, enquanto um terceiro método foi testado em laboratório.

a. Ultrafiltração (UF) -

Tal processo apresentou a melhor qualidade nos parâmetros de água, bem abaixo dos valores desejados¹ (Tabela 3.9.a).

b. Filtração de Areia (FA) -

Ao tentar esta alternativa, os resultados recebidos foram inconclusivos já que mostraram uma flutuação, que variava constantemente entre resultados muito bons e resultados pobres, ao longo do piloto. No entanto, podemos assumir que se o filtro de areia correto for escolhido, ele pode alcançar os resultados desejados (Tabela 3.9.a).

c. H₂O₂ -

Alguns experimentos foram realizados no pós-tratamento com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em nosso laboratório. Usando um processo patenteado especial, oxidamos amostras do biorreator usando peróxido de hidrogênio, demonstrando-se ser uma técnica altamente eficaz (por exemplo, o TOC foi ainda reduzido para níveis de 10ppm e o Total-N reduzido em mais de 90%) e cujo custo² pode diminuir uma vez que aumentamos a experiência.

¹ O custo total do tratamento pós-UF é estimado inferior a € 2,00 (incluindo o floculante e sedimentação feita antes da UF).

² O custo total do tratamento pós-H₂O₂ é inferior a € 3,00 (incluindo o floculante e a sedimentação feita antes do H₂O₂).

d. Conclusão -

É visível que foram alcançados os valores desejados na implementação de um pós-tratamento (um dos métodos acima) e o piloto demonstrou claramente que mais de uma opção pode ser adotada para alcançá-los, tal decisão, de qual seria o mais adequado, exigirá alguma atividade adicional.

vi. Vantagens BPC-ACT™ na HEROS -

Existem vários benefícios para a integração do sistema ACT™ na planta de tratamento de água HEROS:

- Capacidade de tratar cargas orgânicas elevadas;
- Tratamento eficiente da contaminação com fenol e óleo;
- Baixa geração de lodo;

Esperamos que este relatório detalhado proporcione informações suficientes nas mãos da gestão HEROS, para que possam ditar o próximo passo na pesquisa de soluções futuras.

Foi um prazer trabalhar com a equipe profissional da HEROS, especialmente com a amável hospitalidade que recebemos do time.

Estamos ansiosos para expandir nossas atividades mútuas e encontrar uma maneira de trabalhar em conjunto.

Atenciosamente,

Yael Barash
BioPetroClean

Daniel Van Cauter
MWH

Relatório Detalhado do Estudo

2. Dados de Setup: Configuração do Piloto –

Para cumprir os objetivos acima, o BPC montou a seguinte configuração:

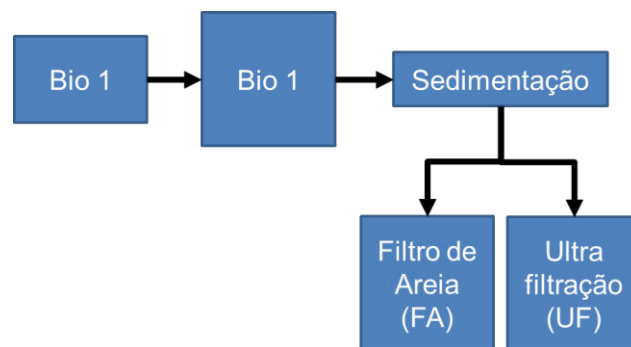


Figura 2.1 – Ilustração do Processo – Desenho esquemático representando de maneira genérica os processos segundo a configuração verificada.

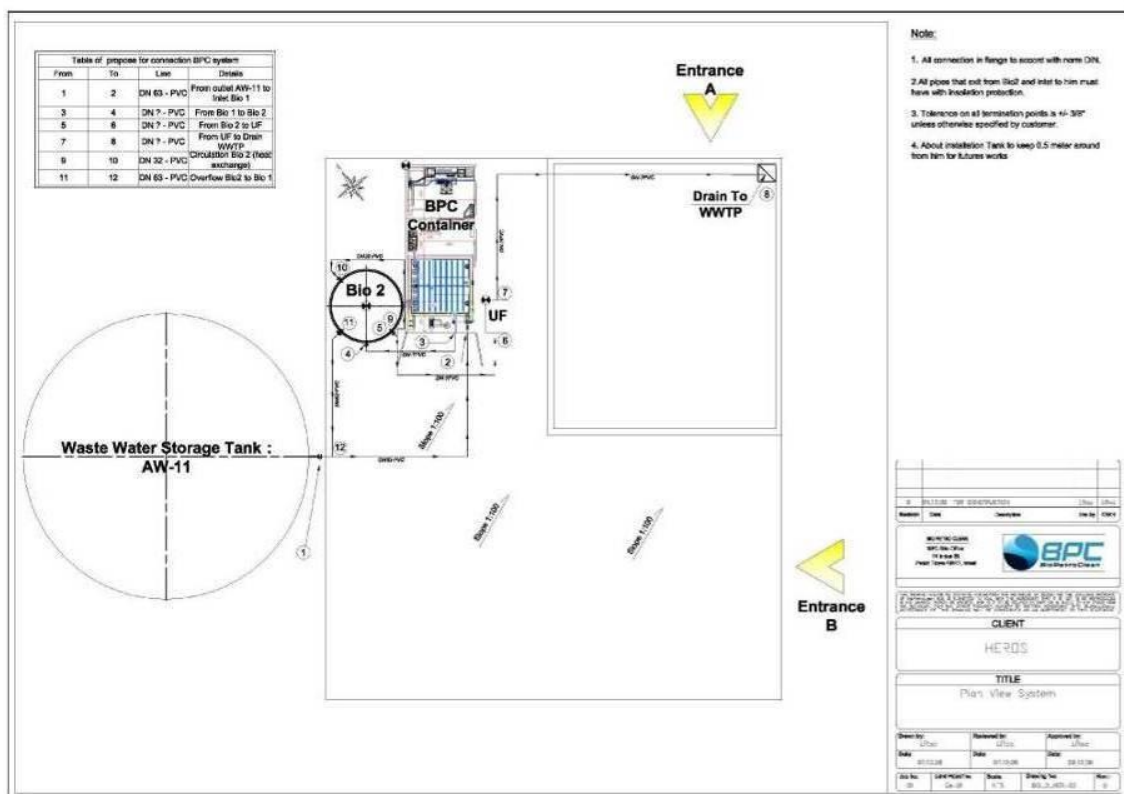


Figura 2.2 – Esboço de Engenharia – Esboço demonstrativo do processo.

Segundo o melhor *setup* verificado, o piloto será dividido em duas partes:

- **Parte 1: Instalação** - O sistema foi instalado em uma orientação específica, dedicada ao tratamento da água de lastro proveniente de um acidente de incêndio. Assim, esta água específica apresentava características diferentes da água de porão "normal" (maiores níveis de DQO e Total-P);
- **Parte 2: Tratamento** - Oito semanas de operação contínua na água de lastro típica;

3. Resultados –

3.1. Dados Gerais –

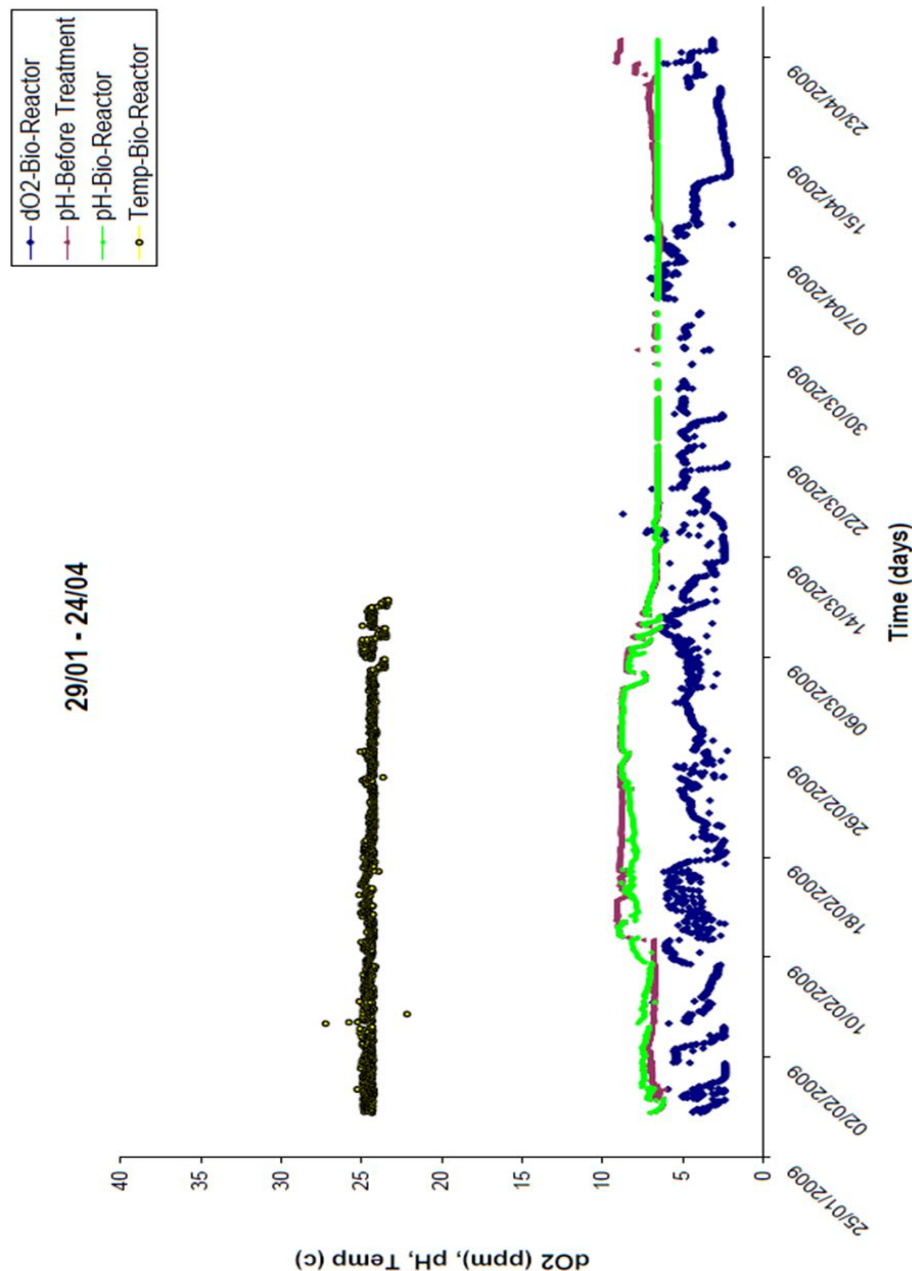


Figura 3.1 – Resultados Gerais Compilados – Parâmetros experimentais medidos continuamente ao longo do processo. Os níveis de dO₂, pH e temperatura no biorreator e o pH influente estão todos representados no gráfico.

A temperatura foi medida até 10 de março, e permaneceu constante durante todo o período do piloto.

3.2. Tratamento da DQO –

As amostras do processo ACT também foram analisadas no laboratório SGS (laboratório certificado), no Laboratório HEROS e no laboratório BPC-MWH (no local). Os resultados em todos os três laboratórios foram significativamente similares.

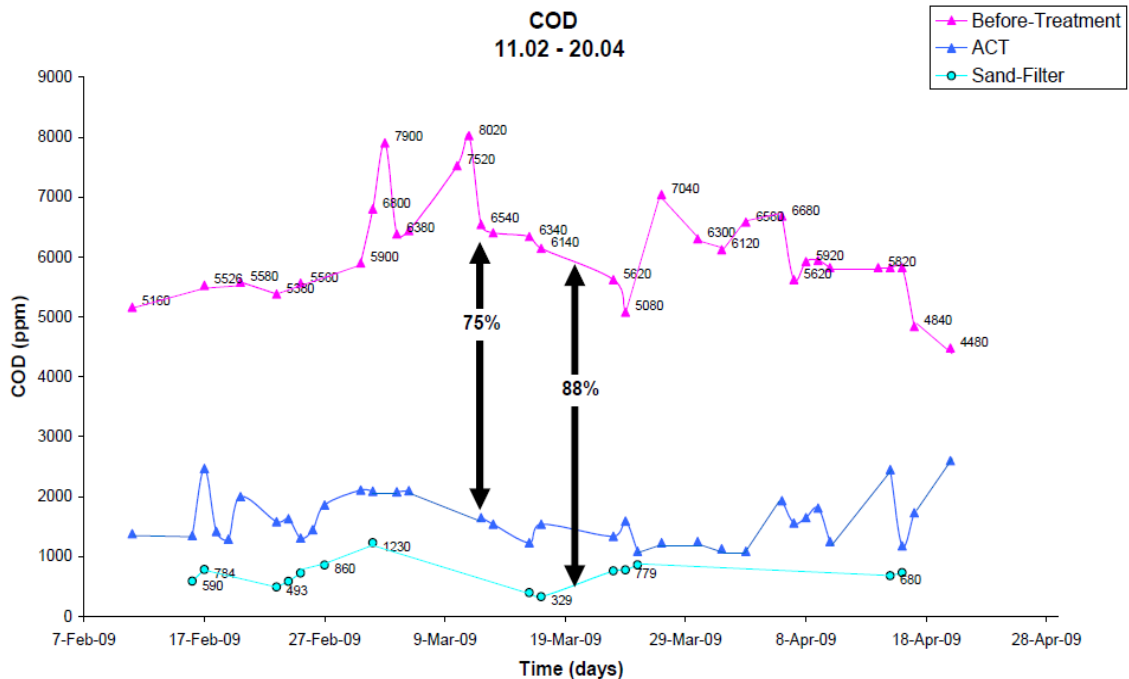


Figura 3.2 – Resultados redução de DQO – Os resultados das análises contínuas de DQO estão representados no gráfico acima. A linha rosa indica antes do tratamento, a linha azul escuro representa o resultado no biorreator e a linha azul claro é o resultado após o filtro de areia. Podemos ver que a redução média de DQO foi de 75% referindo-se somente ao bioprocessamento. A filtração de areia adicionou uma redução média adicional de 16%, dando uma redução total de 88%.

Método de medição: a DQO foi medida no site por BPC-MWG e Heros usando o método Fotométrico EPA 410.4

3.3. Tratamento de Óleos e Graxas (O&G) –

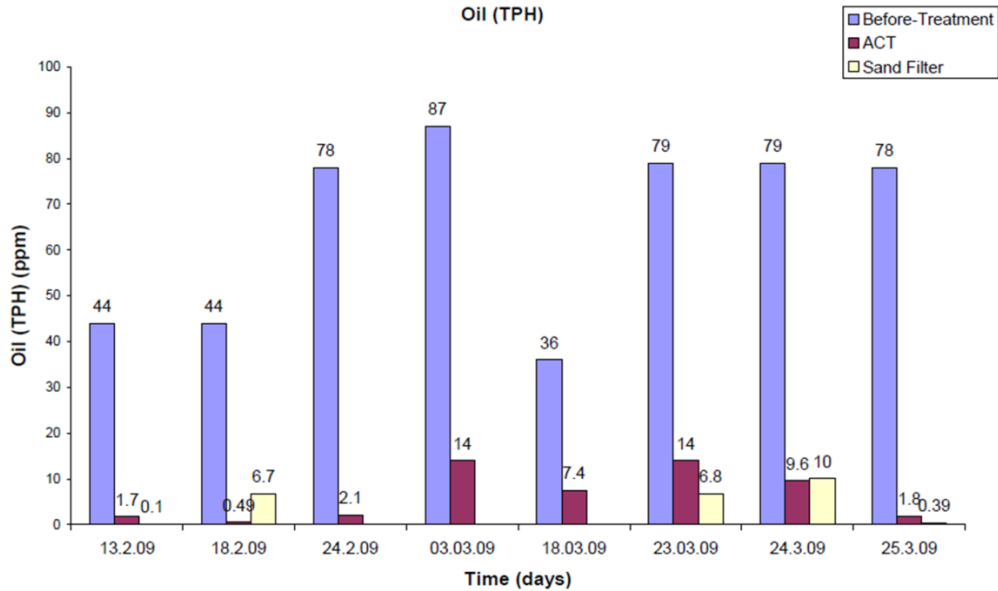


Figura 3.3.a – Resultados redução de O&G – Os resultados semanais SGS estão representados no gráfico acima. As barras azuis claro representam antes do tratamento, o vermelho representa os resultados do biotratamento ACT™, enquanto o amarelo representa os resultados para o filtro de areia. A principal redução ocorreu no biorreator, de uma média de 65 ppm a uma média de 6,4 ppm, enquanto o efeito adicional do filtro de areia foi menor, redução de uma média de 6,4 ppm para 4,8 ppm.

Método de medição: Todas as medições de O&G foram realizadas no laboratório externo SGS, com base no cons. SIKB3001 ana. Método NEN-EN-ISO 9377-2.

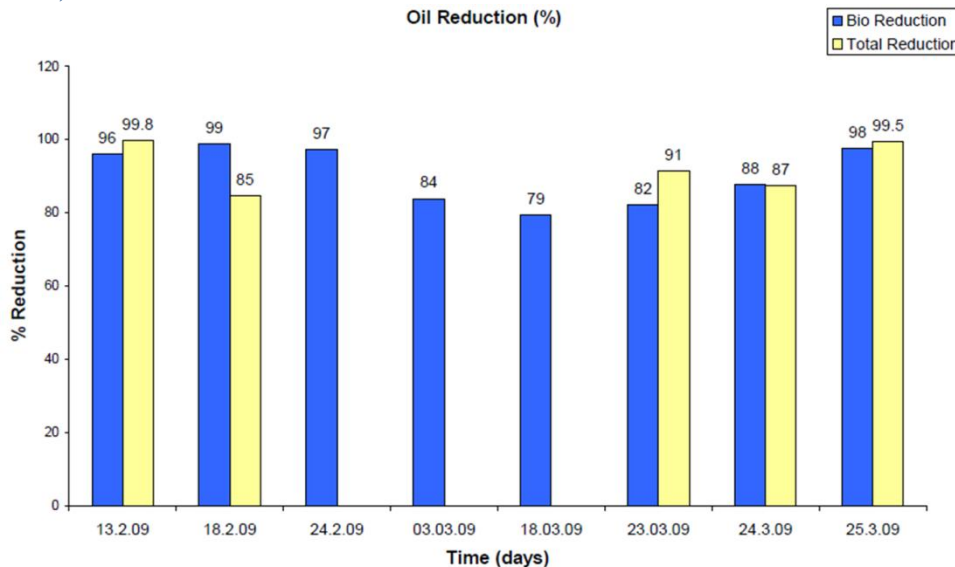


Figura 3.3.b – Resultados redução de O&G – A redução de óleo e graxa foi de 90% na média do biorreator, enquanto o processo de filtração de areia aumentou 3% para obter uma redução de 93%. As barras azuis representam os resultados do biotratamento sozinho, enquanto as barras amarelas representam resultados na conclusão de todo o processo.

3.4. Tratamento de Fenol –

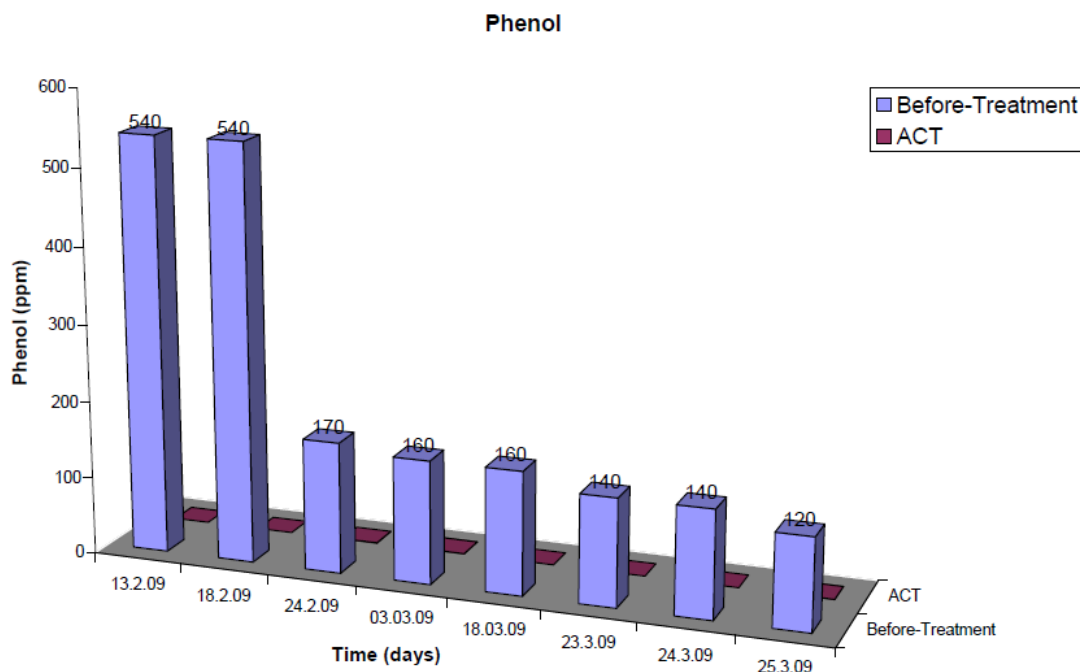


Figura 3.4.a – Resultados redução de Fenóis – O fenol foi reduzido de uma média de 246 ppm para uma média de 0,1 ppm no bioprocesso sozinho.
 Método de medição: Todas as medições de fenol foram realizadas no laboratório externo SGS, com base no método NEN-EN-ISO 14402 conforme.

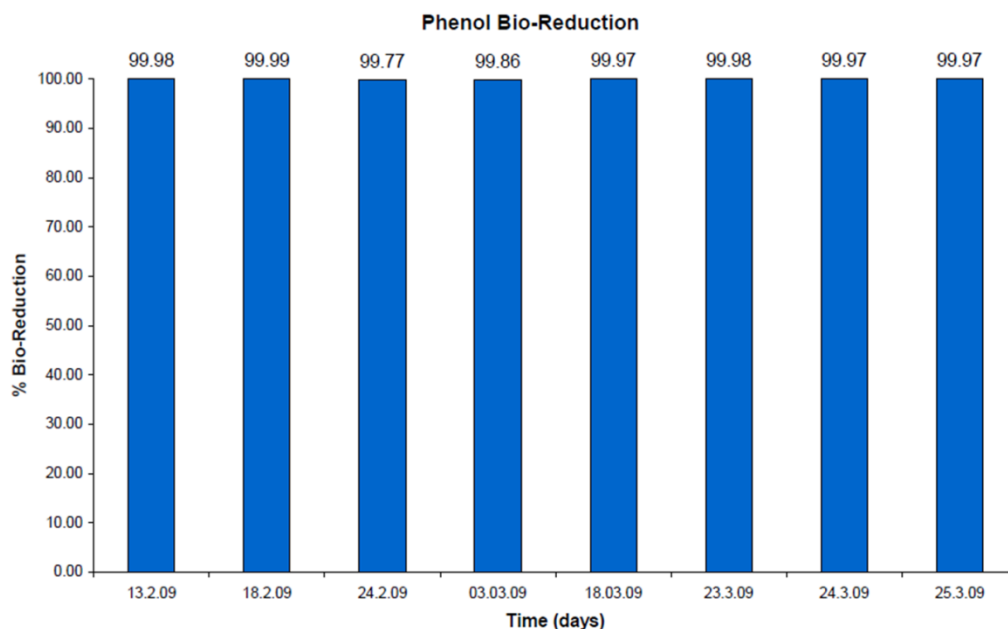


Figura 3.4.b – Resultados redução de Fenóis – O fenol foi completamente removido por redução de 99,9% no bioprocesso sozinho ao longo de todo o teste.

3.2. Tratamento de Nitrogênio –

Durante o bioprocesso foram medidas diferentes formas de nitrogênio (nitrato, nitrito, Kjeldahl, Total-N). As concentrações de nitrato e nitrito foram negligenciáveis e, portanto, $Kj-N \approx Total-N$. As medições foram feitas tanto no local quanto por um laboratório externo (SGS).

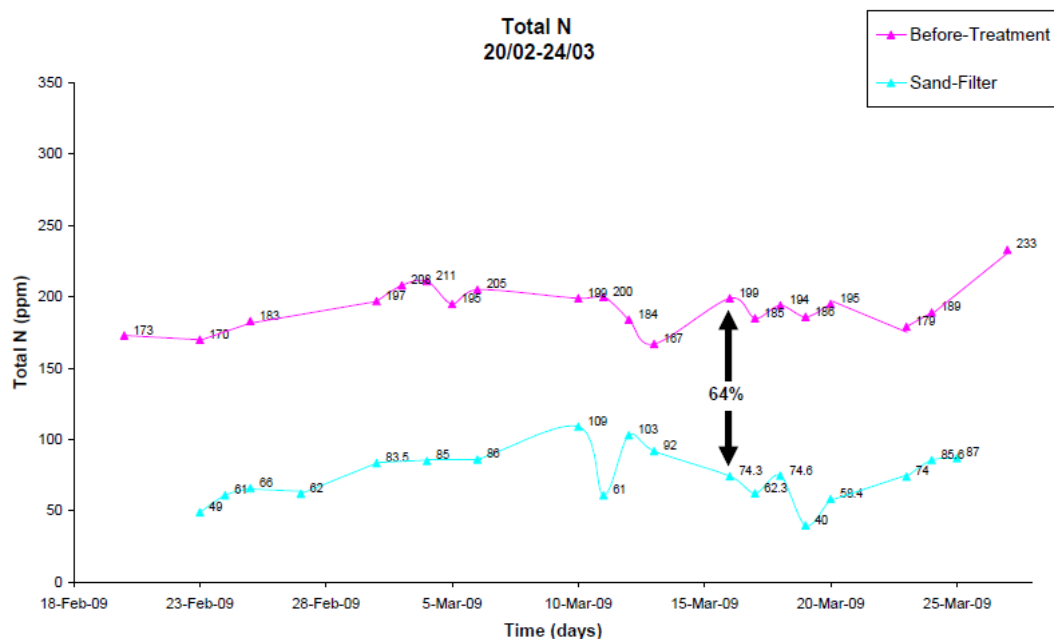


Figura 3.5.a – Resultados redução de Nitrogênio – Redução de Total-N antes do tratamento e filtração de areia, como feito no local. Conforme apresentado acima, encontramos que a redução total após filtração de areia foi de 64% (média) de 207 ppm antes do tratamento para 74 ppm após o filtro de areia.

Método de medição: Kjeldahl como N foi medido com base em conformidade NEN 6646 pelo laboratório externo SGS, o Total-N foi medido no local utilizando o Fotométrico ISO 11905-1 ISO 7890/1.

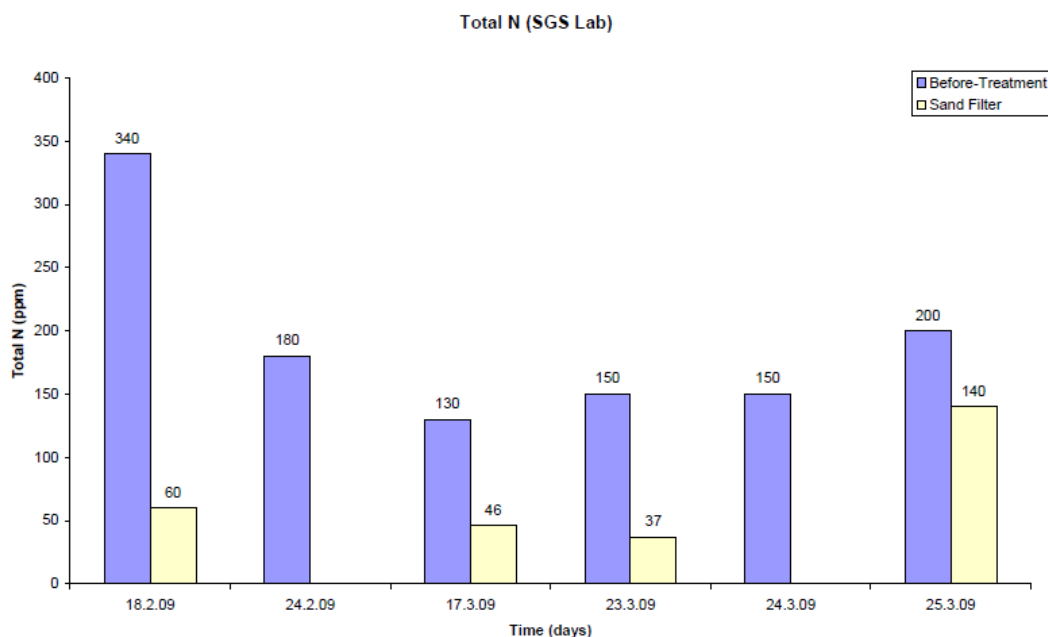


Figura 3.5.b – Resultados redução de Nitrogênio – Resultados de Total-N, medidos pelo laboratório SGS, referem-se ao tratamento anterior (média = 191 ppm) e após o filtro de areia (média = 70 ppm)

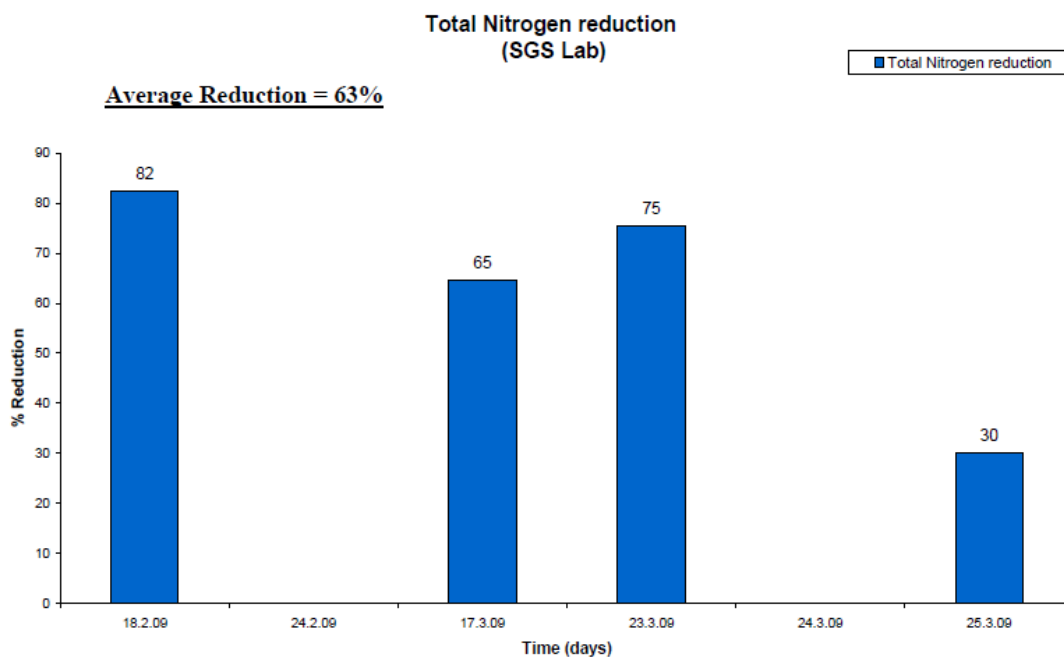


Figura 3.5.c – Resultados redução de Nitrogênio – Medição N total feita pelo laboratório SGS. A redução do N-total foi reduzida em 63%, em média, após o filtro de areia.

Os níveis totais de nitrogênio foram similares por ambos os métodos de análise. Houve uma redução média de Total-N de 64% com base na me-

didada fotométrica no local (gráfico 3.5.a) e redução total média de 63% pelo laboratório SGS (gráfico 3.5.b).

Para melhorar a remoção de Total-N, realizamos experiências de pós-tratamento com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em nosso laboratório. Usando um processo patenteado especial, oxidamos amostras do biorreator com peróxido de hidrogênio. Essas experiências resultaram na redução total de N em uma média de 15ppm. H₂O₂ feito não só contribui para a redução do N-total, mas também diminui os níveis de TOC (redução adicional para uma média de 10 ppm).

3.2. Tratamento de Total-P –

	Total P (ppm)			Total P (ppm)	
	BT	sand-filter		BT	sand-filter
17-Feb-09	6	2.1	5-Mar-09	7.7	
18-Feb-09			6-Mar-09	9.5	4.1
19-Feb-09			10-Mar-09	14.6	
20-Feb-09	6.45	2.69	11-Mar-09	11.6	2.5
23-Feb-09	7	0.77	12-Mar-09	12	
24-Feb-09			13-Mar-09	12	
25-Feb-09	6.7	2	16-Mar-09	11	2.2
26-Feb-09			17-Mar-09	11	2.1
27-Feb-09			18-Mar-09	12	4.5
2-Mar-09	9.3	1.9	19-Mar-09	14	3.4
3-Mar-09			20-Mar-09	11	4
4-Mar-09	14.7	4.9			
Average			8.4	2.4	

Figura 3.6 – Resultados redução de Fósforo – O Total-P médio antes do tratamento foi de 8,4 ppm, que foi reduzido para 2,4 ppm após o filtro de areia. Isso mostra uma redução média de 71% no Total-P.

3.7. Tratamento de DBO –

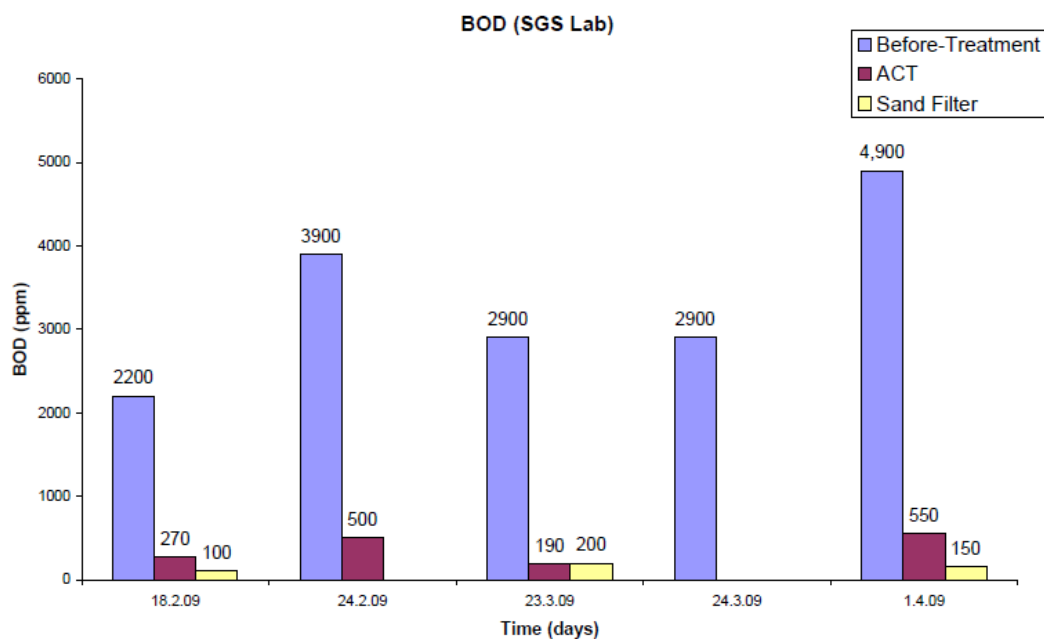


Figura 3.7.a – Resultados redução de DBO – As barras de azul claro representam antes do tratamento, o vermelho representa os resultados de biotratamento, enquanto o amarelo representa os resultados para o filtro de areia. O efeito principal ocorreu no biorreator, reduzido da média de 3360 ppm para 377 ppm médios, enquanto o filtro de areia teve efeito menor, reduzido de 377 ppm para 150 ppm.

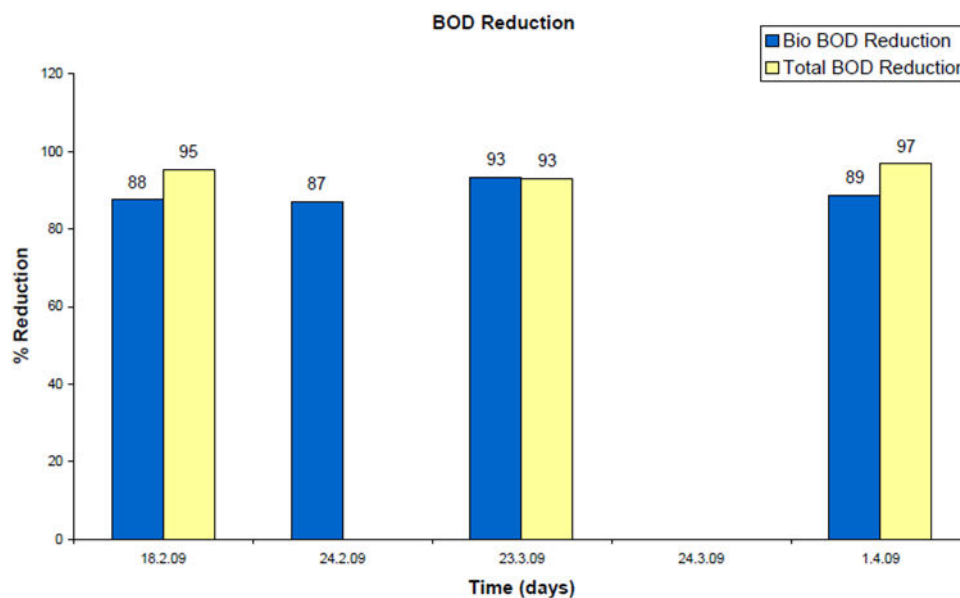


Figura 3.7.b – Resultados redução de DBO – As barras de azul claro representam antes do tratamento, o vermelho representa os resultados de biotratamento, enquanto o amarelo representa os resultados para o filtro de areia. O efeito principal ocorreu no biorreator, reduzido de ave. de 3360 ppm para ave. de 377 ppm, enquanto o filtro de areia teve efeito menor, reduzido de 377 ppm para 150 ppm.

3.8. Outros Componentes –

O processo BPC não teve efeito sobre os metais pesados, cloreto, cádmio, metais totais e mercúrio. As qualidades influentes e efluentes para esses componentes permaneceram as mesmas.

3.9. Resumo dos Resultados do Piloto –

Parameters (ppm)	Unit	Desired value	Analyzed by ⁴	Before Treatment		Bio Treatment		Sand Filter		Ultra Filter
				AVE	ST. ERR	AVE	ST. ERR	AVE	ST. ERR	
Oil (TPH)	ppm	<1 90% removal	SGS LAB	65.6	7.2	6.4	2.0	4.8	2.0	0.1
COD	ppm	<500 90% removal	Heros/ BPC	6096.4	141.6	1627.4	69.2	700.6	59.6	63
BOD	ppm	<20 90% removal	SGS LAB	3360.0	470.7	377.5	87.3	150.0	28.9	
Phenol	ppm	<1	SGS LAB	246.3	64.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
Kj-N	ppm	<10	SGS LAB	191.7	31.3	137.3	10.0	70.8	23.6	6.4
Total-N	ppm	<15 90% removal	Heros/ BPC	207.3	5.2	130.6	3.6	74.4	4.1	6.4
P-total	ppm	<2	Heros/ BPC	10.0	0.8	12.9 ³	1.5	2.5	0.4	0.52
TSS	ppm	<25	SGS LAB	50.8	32.9	428.6	81.9	2.6	2.1	

Tabela 3.9.a – Resultados Gerais Compilados – Tabela resumida com resultados médios de cada etapa do processo. AVE (Média) ST.ERR (Erro Padrão).

Parameters (ppm)	Unit	Analyzed by ⁴	Bio Reduction (%)		Total Reduction ¹ (%)		Total Reduction ² (%)
			AVE	ST. ERR	AVE	ST. ERR	
Oil (TPH)	ppm	SGS LAB	90.4	2.8	92.6	3.1	99.8
COD	ppm	Heros/ BPC	74.8	2.3	88.1	1.3	99.0
BOD	ppm	SGS LAB	89.3	1.4	95.2	1.1	
Phenol	ppm	SGS LAB	99.9	0.03	100.0	0.0	100.0
Kj-N	ppm	SGS LAB			63.1	11.6	96.7
Total-N	ppm	Heros/ BPC			60.4	2.5	96.9
P-total	ppm	Heros/ BPC					94.8
TSS	ppm	SGS LAB					99.8

Tabela 3.9.b – Resultados Gerais Compilados – Tabela com redução média de cada etapa do processo. AVE (Média) ST.ERR (Erro Padrão).

- 1 - Após filtro de areia versus Antes do tratamento
- 2 - Depois do filtro Ultra versus Antes do tratamento
- 3 - A fonte de fosfato foi adicionada ao biorreator
- 4 - SGS Lab - Laboratório certificado, HEROS/BPC - No site

3.10. Carga Orgânica –

A taxa de carga orgânica é a aplicação de matéria orgânica solúvel e particulada. Usamos isso para determinar a taxa de carga e o tempo de retenção. A carga de DQO foi calculada pelas seguintes fórmulas:

$$DQO_{horária} = \frac{\dot{V} \cdot DQO_{antes}}{1.000.000} \quad (3.10.1)$$

Onde : $DQO_{horária}$: Carga de DQO, kg/h
 \dot{V} : Vazão volumétrica, L/h
 DQO_{antes} : DQO anterior ao tratamento, mg/L

$$DQO_{diária} = \frac{\dot{V} \cdot DQO_{antes}}{1.000.000} \quad (3.10.2)$$

Onde : $DQO_{diária}$: Carga de DQO, kg/d
 \dot{V} : Vazão volumétrica, L/d
 DQO_{antes} : DQO anterior ao tratamento, mg/L

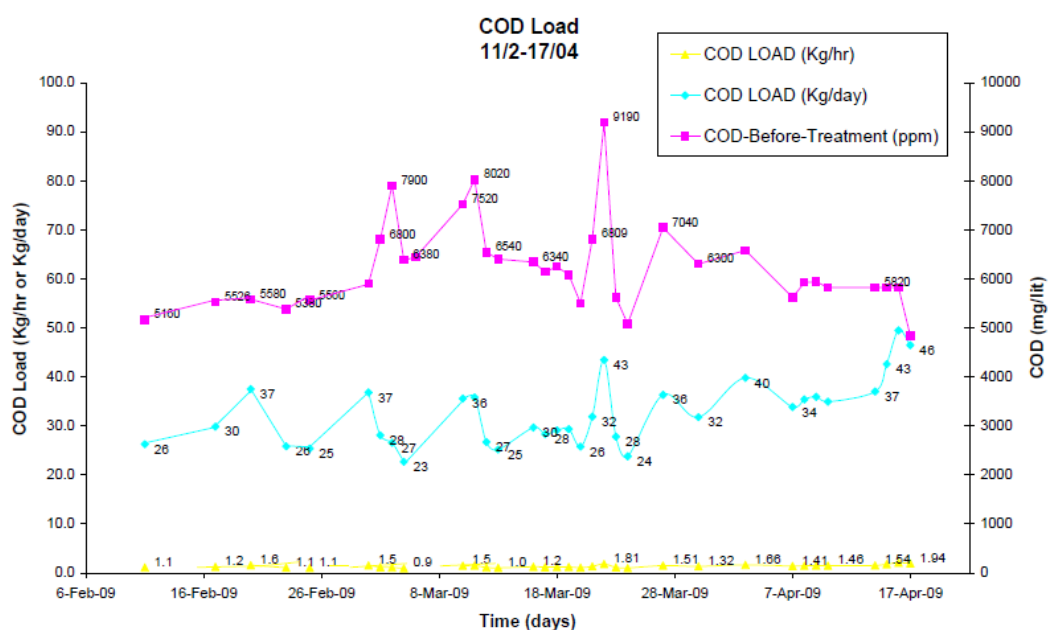


Figura 3.10.a – A linha rosa representa a concentração de DQO no bioprocesso em ppm, que é em média 6.000 ppm, o azul claro representa a carga de DQO em kg/d, que é de 32 kg/d, enquanto o amarelo representa a DQO em kg/h, o que é 1,3 kg/h.

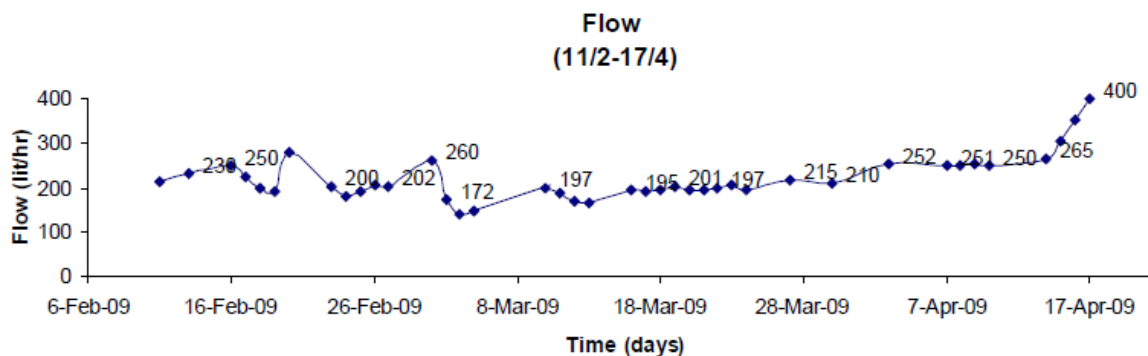


Figura 3.10.b – A vazão total no sistema durante todo o tempo do piloto está em uma média de 245 L/h

Tabela 3.10 –Tabela resumida de vazão e carga orgânica com resultado médio e desvio.

	Vazão (L/h)	DQO Antes do Trat. (ppm)	DQO Carga por hora (kg/h)	DQO Carga por dia (kg/d)
Média	245	6.097,8	1,49	35,8
Desvio	10,7	234,1	0,1	1,5

3.11. Tempo de Retenção –

O tempo de retenção no sistema ACT™, onde o fluxo médio é 245 L/h e os volumes dos reatores, de 5 e 10 m³, soma 15 m³, totalizando 60 horas (Fig. 3.11.a).

Tendo em conta a alta DQO do afluente (médio = 6.000 ppm), 60 horas consideram um bom tempo de retenção.

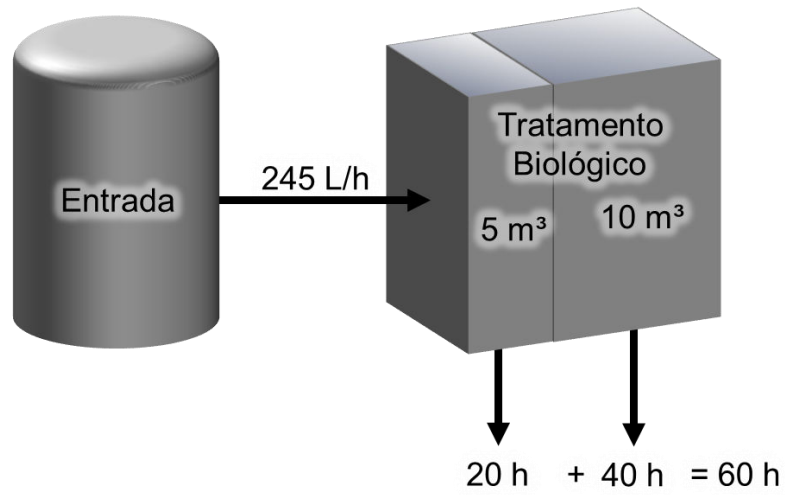


Figura 3.11.a – Esquemático do Tempo de Retenção.

4. Apanhado Microbiológico – Viabilidade Bacteriológica

Uma das principais características do processo ACT™ é o fato de que não há reciclo de lodo, e a idade bacteriana é igual à da idade hidráulica. Em nível de comparação, no processo de lodo ativado (AS) as bactérias (lodo) são recicladas para os biorreatores e, como resultado, a idade bacteriana é realmente mais antiga do que a idade hidráulica. Essa diferença entre os dois processos leva à baixa concentração de bactérias no processo ACT™, em comparação com uma densidade de bactérias muito alta no processo AS. Do ponto de vista da microbiologia, o trabalho na alta densidade de bactérias pode levar à morte celular, enquanto trabalha com baixa densidade resulta em bactérias ativas.

Para testar este ponto (a viabilidade das bactérias no processo ACT™ em comparação com o processo de lodo ativado) realizamos a seguinte experiência:

Duas amostras foram coletadas do mesmo site (HEROS, Holanda) na mesma data (23 de abril de 2009) (Fig. 4.1):



Figura 4.1 – Amostras coletadas. – As amostras foram coletadas do biorreator de lodo ativado (LA) e do biorreator ACT™.

As amostras receberam coloração usando técnicas de Live/dead, onde a coloração **verde** representa bactérias vivas enquanto as **vermelhas** estão mortas. De 802 células bacterianas examinadas a partir do processo ACT™, 724 estavam vivas (90% de viabilidade) e 78 morreram. A partir da amostra de lodo ativado, 310 estavam vivos e 170 morreram (65% de viabilidade).

Imagens típicas são mostradas na Fig. 4.2 abaixo.

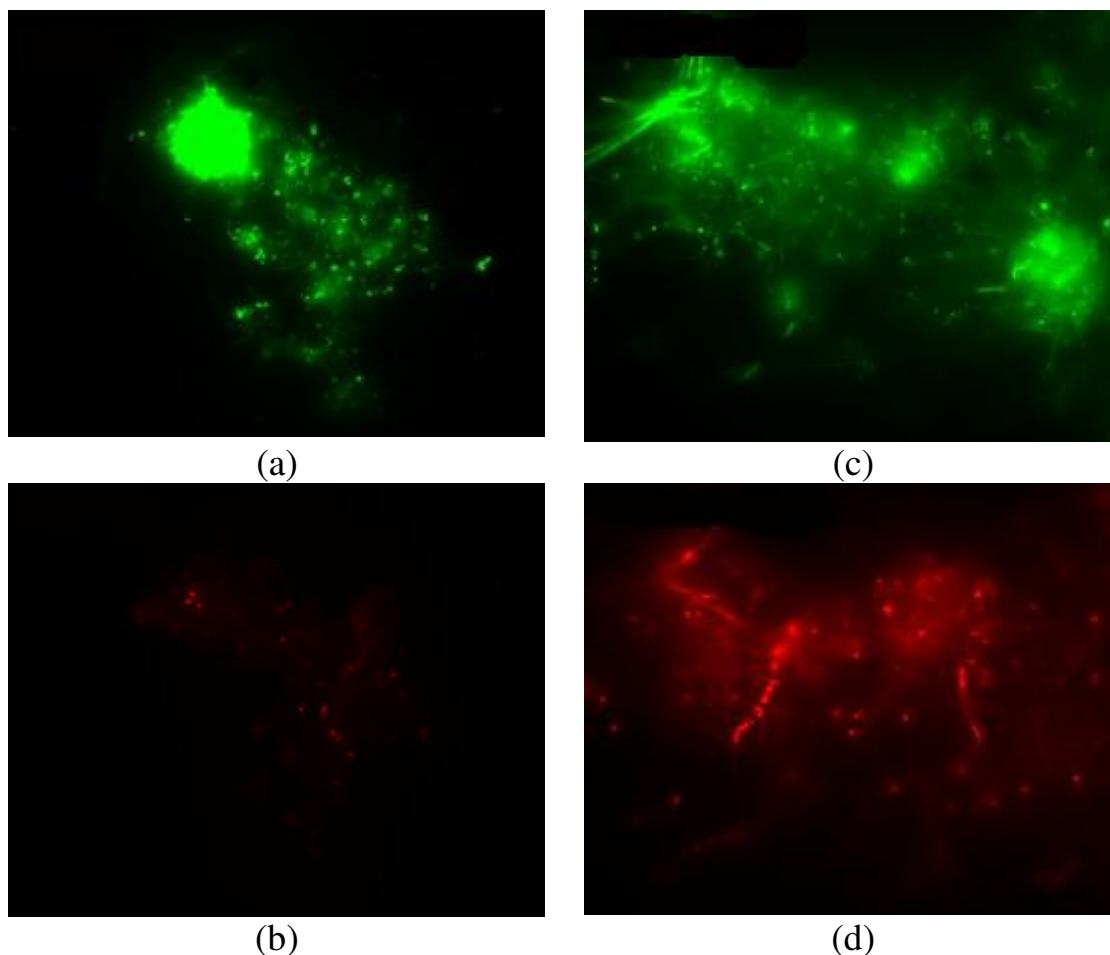


Figura 4.2 – Amostras coletadas. – Contraste Live/dead de amostras de água da HEROS tratadas por ACT™ (painéis a e b) e lodo ativado (painéis c e d). As bactérias vivas são marcadas em verde, enquanto as bactérias mortas, de vermelho.

4.1. Balanço de Sólidos –

Trabalhar em baixa densidade de bactérias não só tem vantagens microbiológicas, mas também leva a uma menor proporção de produção de TSS por remoção de DQO do sistema.

$$Razão = \frac{TSS_{saída}}{DQO_{entra} - DQO_{sai}} \quad (4.1)$$

Onde : *Razão* : Razão de TSS por DQO removida;

TSS_{saída} : TSS após o tratamento;

DQO_{entra} : DQO anterior ao tratamento;

DQO_{sai} : DQO após o tratamento;

Tabela 4.1 – Produção de TSS por Remoção de DQO.

Data	Vazão (L/h)	DQO Antes do Trat. (ppm)	DQO Carga por hora (kg/h)	Razão de Produção
18/02/09	590	5.300	1.700	16,4
24/02/09	590	5.300	1.500	15,5
03/03/09	300	5.900	2.000	7,7
			Média	13,2

Para cada 10 kg de DQO que o sistema biológico remove, produz 1,3 kg de TSS (como resíduos).