

## Reator anaeróbio de leito fluidizado de bancada para o tratamento do esgoto doméstico: validação e módulo didático

### Benchtop upflow anaerobic sludge blanket for the treatment of domestic sewage: validation and didactic module

#### RESUMO

**Natália Lavoranti**  
[natalialavoranti@alunos.utfpr.edu.br](mailto:natalialavoranti@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli**  
[jpietrobelli@utfpr.edu.br](mailto:jpietrobelli@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Diogo Inglês Zarpellon**  
[diogoiz@sanepar.com.br](mailto:diogoiz@sanepar.com.br)  
Companhia de Saneamento do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Natália de Oliveira Cirqueira**  
[ncirqueira@hotmail.com](mailto:ncirqueira@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Essa pesquisa tem por objetivo a validação e utilização de um reator anaeróbico de leito fluidizado, RALF, para o tratamento de esgoto doméstico e uma proposta de procedimento experimental para fins didáticos. O projeto referência tem como proposta de construção de um RALF de baixo custo com o funcionamento semelhante aos utilizados em Estações de Tratamento de Efluentes, ETEs. As dimensões desse foram replicadas no biorreator construído em aço inoxidável a fim de analisar e comparar sua eficiência. Os parâmetros analisados foram: Demanda Química de Oxigênio, DQO, e Sólidos Suspensos Totais, SST. Os resultados obtidos foram satisfatórios, apresentando eficiência maior que 60% em relação ao parâmetro de DQO e validando, portanto, o projeto. Ainda, o presente trabalho incentiva ao aprofundamento e aperfeiçoamento desse processo por parte da comunidade acadêmica, visto que o procedimento experimental auxilia na visualização e compreensão do funcionamento desse reator em sistemas de tratamentos de esgoto doméstico.

**PALAVRAS-CHAVE:** RALF. Esgoto Doméstico. DQO.

#### ABSTRACT

This research work toward to validate and use an Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB, for the treatment of domestic effluent and a proposal for an experimental procedure for didactic purposes. The reference project proposes a low-cost RALF with operation similar to those used in Sewage Treatment Stations. The dimensions of this were replicated in the bioreactor built in stainless steel in order to analyze and compare its efficiency. The parameters analyzed were: Chemical Oxygen Demand, COD, and Total Suspended Solids, TSS. The results obtained were satisfactory, presenting efficiency greater than 60% in relation to the COD parameter and, so, validating the project. Still, the present work encourages the academic community to deepen and improve this process, since the experimental procedure helps to visualize and understand the operation of this reactor in domestic sewage treatment systems.

**KEYWORDS:** UASB. Domestic sewage. COD.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Saneamento básico, no Brasil, é um direito assegurado pela Constituição e é definido pela Lei nº. 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020). Por outro lado, as estatísticas evidenciam uma realidade a qual esse direito não alcança toda a população. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento mostram que apenas 46% dos esgotos do país são tratados (SNIS, 2019).

Além disso, o cumprimento da legislação ambiental vigente para o lançamento do efluente tratado também é de grande importância. As legislações Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de maio de 1991 (CONSELHO, 1991), Resolução CONAMA Nº 357/05 (BRASIL, 2005), Resolução CONAMA Nº 430/2011 (BRASIL, 2011), RESOLUÇÃO Nº 021/09 – SEMA (PARANÁ, 2009) são tomadas como referência e decisivas para a escolha dos parâmetros de análise. Alguns desses parâmetros são: a Demanda Química de Oxigênio (DQO), que avalia a quantidade de oxigênio dissolvido consumido em meio ácido que leva à degradação de matéria orgânica e os Sólidos Suspensos Totais (SST). Esses critérios auxiliam na análise da eficiência do efluente tratado e contribuem para a garantia de preservação ambiental.

Assim, tendo conhecimento sobre a carência no sistema de saneamento básico do país, a problemática se tornou motivadora do estudo e validação do Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado (RALF), ou conhecido também por *Upflow Anerobic Sludge Blanket* (UASB). Esse biorreator é uma tecnologia utilizada em sistemas de tratamento de efluentes domésticos e industriais, a qual consiste na decomposição anaeróbica da matéria orgânica. A operação é baseada em um fluxo ascendente que passa por uma zona de digestão, sedimentação e separação gás-sólido-líquido. A zona de digestão é onde ocorre a mistura do efluente a ser tratado com o lodo, ocasionando a biodegradação e a digestão anaeróbia da parte orgânica. Em seguida, por meio do fluxo contínuo, há a sedimentação e consequente manutenção da camada de lodo do reator. Por fim, há a saída do efluente tratado e dos subprodutos: gases metano, carbônico e sulfídrico.

O desempenho do reator é medido de acordo com a remoção em porcentagem de DBO, DQO, SST e patogênicos, e em média, a remoção varia de 50 a 70%, 60 a 85%, 60 a 85% e 85%, respectivamente (BARÉA, 2006).

O presente trabalho visa analisar os resultados obtidos pelo uso do RALF projetado por Natália de Oliveira Cirqueira em seu Trabalho de Conclusão de Curso, fabricado em aço inoxidável e com características muito semelhantes aos biorreatores utilizados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), a fim de ser utilizado como módulo didático em práticas experimentais de laboratório com o auxílio do Roteiro Experimental também desenvolvido nesse trabalho (CIRQUEIRA, 2019). O equipamento em escala laboratorial tem por objetivo o incentivo ao estudo desse processo pelos acadêmicos do curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa (UTFPR-PG) para que ampliem o conhecimento em relação ao assunto, além de auxiliar na visualização e compreensão do funcionamento desse reator em sistemas de tratamentos de esgoto doméstico.

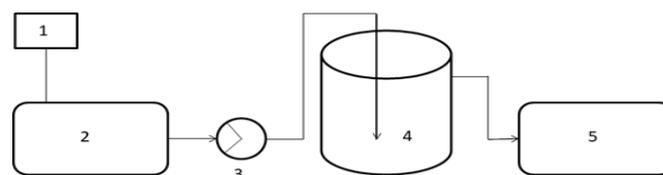
## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia abordada no experimento de operação do RALF para tratamento de efluente doméstico pode ser separada em três etapas gerais: conferência e separação dos materiais necessários, montagem do equipamento e determinação de parâmetros de vazão e temperatura e por fim, análise dos resultados obtidos. A última etapa foi realizada em conjunto com o laboratório da empresa de saneamento colaboradora do projeto, a SANEPAR ETE Verde – Ponta Grossa/ PR.

O procedimento teve início com a listagem e verificação dos seguintes materiais: biorreator, bomba peristáltica, módulo PWM, mangueiras de cristal ½ polegada de no mínimo 50cm de comprimento, fonte de energia bivolt, agitador mecânico de bancada, bombonas de 20L, 2L de lodo e 20L de efluente doméstico. A coleta do material, tanto do lodo como do efluente para análise, foram realizadas na ETE Verde de Ponta Grossa/PR. Ainda na primeira parte do experimento, a validação para a utilização do RALF ocorreu pela verificação estrutural do reator, em que houve a conferência das dimensões com o projeto de Cirqueira (2019). Além disso, o mesmo foi preenchido de água para avaliar possíveis vazamentos.

Na etapa seguinte, realizou-se a montagem e teste dos componentes da operação de tratamento de efluente doméstico, sendo eles: conexão das mangueiras, funcionamento da bomba pneumática, assim como a soldagem dos seus componentes elétricos e conferência do agitador mecânico. A montagem do equipamento foi realizada conforme a Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma Geral da Operação do Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado (RALF) para o tratamento do esgoto doméstico



Fonte: Autoria própria (2020).

Em que o número 1 é o Agitador Mecânico, os números 2 e 5 representam as bombonas de armazenamento, o número 3 a Bomba peristáltica e, enfim, o número 4 é a representação do Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado.

Os parâmetros para avaliar a eficiência do biorreator foram escolhidos em conformidade com a legislação vigente e são eles: Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Suspensos Totais (SST). Essas análises, como antecipado, foram realizadas em conjunto com a empresa de saneamento colaboradora.

A determinação da vazão de operação foi determinada pela Eq. (1) da Vazão:

$$Q = \frac{V}{TDH} \quad (1)$$

Em que “Q” é a vazão em ml/min, “V” o volume do reator em ml e “TDH” é o tempo de detenção hidráulica em min. Para o experimento, o volume

considerado do biorreator foi o obtido pelo projeto de referência anteriormente citado. A eficiência do reator, por sua vez, foi calculada pela Eq. (2):

$$E_r = \left(1 - \frac{E}{A}\right) \times 100 \quad (2)$$

Em que “E” é o efluente final (saída do reator), “A” é o Efluente inicial (entrada do reator) e  $E_f$  é a eficiência do reator. Com os dados de eficiência em relação à análise de DQO, foi possível fazer a validação do reator por meio da comparação dos parâmetros e resultados obtidos pelo trabalho de conclusão de curso utilizado como referência. Além disso, as seguintes legislações vigentes foram consultadas como referência para embasamento do trabalho: Resolução CONAMA Nº 357/05 (BRASIL, 2005), Resolução CONAMA Nº 430/2011 (BRASIL, 2011), RESOLUÇÃO Nº 021/09 – SEMA (PARANÁ, 2009) e Directiva 91/271/CEE (CONSELHO, 1991). Assim, o roteiro de aula prática experimental foi desenvolvido e fundamentado pelo experimento descrito.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### RESULTADO DAS ANÁLISES

A operação de tratamento do efluente doméstico com a utilização do RALF foi realizada duas vezes, em que consistiu na montagem do módulo conforme o fluxograma evidenciado na metodologia, no preparo e conferência de temperatura do lodo e do efluente e o consequente início do processo com ao ligar a bomba na fonte de energia. O sistema montado pode ser observado pela Figura 2. O Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) para ambos os experimentos foi de 11 horas e o volume utilizado do reator, conforme projeto, foi de 16L. Assim, a operação aconteceu em uma vazão de 24,24 ml/min. A temperatura ambiente foi, respectivamente, 19 e 20°C.

Figura 2 – Operação de tratamento de esgoto doméstico utilizando o RALF



Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados dos parâmetros escolhidos para analisar a eficiência do RALF estão descritos na Tabela 1. A ausência dos dados de Sólidos Suspensos para a Amostra 2 foi devido a um problema técnico envolvendo a empresa colaboradora da presente pesquisa.

Tabela 1 – Resultados obtidos pelo experimento com o RALF

	Amostra 1	Amostra 2
DQO Inicial (mg/L)	921	655
DQO final (mg/L)	345	242
Sólidos Suspensos Inicial (mg/L)	450	-
Sólidos Suspensos Final (mg/L)	85,71	-

Fonte: Autoria própria (2020).

Assim, com os resultados citados, as eficiências obtidas para o RALF em relação à análise de DQO e Sólidos Suspensos estão expressas na Tabela 2.

Tabela 2 – Eficiência RALF

	Amostra 1	Amostra 2
Eficiência em relação à DQO (%)	62,54	63,05
Eficiência em relação a Sólidos Suspensos (%)	80,95	-

Fonte: Autoria própria (2020).

## VALIDAÇÃO DO RALF

A validação do RALF foi realizada através da comparação dos dados obtidos para eficiência de DQO pelo trabalho de Cirqueira (2019), utilizado como referência. Para isto utilizou-se os valores médios obtidos pela pesquisa de referência, os quais se encontram dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo dos resultados obtidos pelo trabalho de conclusão de curso utilizado como referência

	Amostra 1	Amostra 2
Temperatura ambiente	22 °C	18 °C
Eficiência em relação à DQO (%)	63,81	56,71

Fonte: CIRQUEIRA (2019).

Ao comparar a eficiência alcançada na temperatura ambiente de 18 °C, a qual é a temperatura mais próxima do experimento realizado no presente trabalho, percebe-se uma eficiência maior do RALF construído em material de aço inoxidável em comparação com o RALF de bancada de baixo custo. Além disso, os valores obtidos se enquadram aos disponíveis na literatura para o desempenho deste tipo de reator, a remoção em porcentagem de DQO e SST, e em média, varia de 60 a 85%, 60 a 85%, respectivamente (BARÉA, 2006).

Observa-se que para DQO a diferença entre ambos é pequena, o que evidencia a possibilidade de otimização na operação do RALF construído em material de aço inoxidável. Isso porque, o controle de temperatura no processo envolvido no biorreator é primordial para a atividade metabólica dos microrganismos na redução da matéria orgânica do efluente doméstico. Assim, uma melhoria na operação de bancada seria a utilização de um controlador de

temperatura. Além desse fator, os reatores anaeróbicos de leito fluidizado são dificilmente encontrados isolados, ou seja, estão sempre vinculados a outro processo de tratamento, seja de uma etapa preliminar, primária ou posterior.

A Resolução estadual SEMA n°021/09, Art. 11° dispõe que o valor de DQO para lançamento deve ser de no máximo 225 mg/L (PARANÁ, 2009). Os valores obtidos foram um pouco superiores, mas isso pode ser justificado pelos pontos anteriormente já citados em relação ao controle de temperatura e adição ao processo de etapas complementares. No entanto, para fins didáticos, a utilização do RALF de bancada em aço inoxidável, fabricado, foi validada.

### SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

A análise de sólidos suspensos realizada para a primeira amostra do experimento teve uma eficiência de 80,95% o que evidencia um ótimo ponto do processo, visto que a legislação internacional, Directiva 91/271/CEE, Art. 1°, estipula que o total de partículas sólidas em suspensão deve ter um decréscimo de 50%, o qual é alcançado pelo experimento (CONSELHO, 1991).

Ainda, a mudança da coloração obtida pelo efluente do RALF foi significativa, assim como mostrado pela Figura 3, em que ao lado esquerdo há o efluente doméstico e ao lado direito, o efluente tratado.

Figura 3 – Comparação da coloração do efluente tratado e do não tratado



Fonte: Autoria própria (2020).

### ROTEIRO EXPERIMENTAL PARA PRÁTICA EM LABORATÓRIO

A aula prática terá por finalidade a compreensão e visualização do funcionamento e operação do RALF para o tratamento do esgoto doméstico, assim como análise dos resultados obtidos em escala laboratorial. Esse procedimento experimental visa auxiliar na montagem do equipamento e seu manuseio. Ele encontra-se de uma forma resumida, visto que os materiais e métodos podem ser extraídos do presente trabalho.

1) Para a montagem da operação (utilizar a Figura 1):

- Interligar a bombona contendo o efluente doméstico até a bomba peristáltica através da mangueira;
- Na saída da bomba peristáltica, interligar a mangueira até o cano de alimentação localizado na parte superior do reator;

- Na lateral do reator está o cano de saída do efluente tratado. Conectar ali uma mangueira que irá até a bombona de armazenamento do esgoto tratado;

- Acomodar o agitador mecânico dentro da bombona com o efluente.

2) Despejar o lodo coletado no biorreator;

3) Verificar a temperatura do lodo e do efluente doméstico armazenado na bombona. (Atenção: a operação só pode ser iniciada quando a temperatura estiver próxima da temperatura ambiente);

4) Ligar o agitador mecânico e a bomba peristáltica nas respectivas tomadas correspondentes;

5) Ajustar a vazão para o tempo de permanência desejado;

6) Com os dados iniciais do efluente doméstico, fazer os cálculos de eficiência do biorreator.

Observação: a operação descrita não possui dispositivos controladores, portanto é necessário um cuidado constante durante o procedimento.

Questionário para fixação:

- a) A eficiência obtida pelo experimento é satisfatória? Por quê?
- b) Qual operação poderia ser adicionada ao processo para aumentar a qualidade do efluente tratado?
- c) Quais outros métodos de tratamento de esgoto? Descreva o funcionamento.

## CONCLUSÕES

O Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado (RALF) tem uma operação de baixa complexidade e apresenta boa eficiência quando operado individualmente, com resultados superiores a 60% em relação à DQO. Assim, com os dados obtidos neste trabalho pode-se comprovar o bom funcionamento do biorreator fabricado em aço inoxidável, validando-o. Visto que o equipamento analisado se assemelha aos utilizados nas ETEs e o seu processo pode ser vinculado a algum outro, para atender as especificações e legislações vigentes. Além disso, com o procedimento experimental proposto é possível expandir o conhecimento e o *know-how* do processo, a fim de que esta operação seja cada vez mais aprimorada.

Por fim, a utilização deste como módulo didático nas aulas práticas laboratoriais, possibilitará o incentivo ao aprofundamento e aperfeiçoamento desse processo por parte da comunidade acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta Grossa, por oportunizar a realização dessa pesquisa. A Companhia de Saneamento do Paraná, Gerência Regional de Ponta Grossa, pela contribuição com as análises laboratoriais. O suporte e orientação de Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli, Diogo Inglês Zarpellon e Natália de Oliveira Cirqueira.

## REFERÊNCIAS

BARÉA, L. C. RALF, Reator Anaeróbio de Manto de Lodo e Fluxo Ascendente reduzindo custos e economizando energia no Tratamento de Esgotos. **Companhia Paranaense de Saneamento - Sanepar**. v. 87, p. C3, 2006. Disponível em: [http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/1B9DF09C9EAE4D2B832573760042EB40/\\$File/APRESENTA%C3%87%C3%83O\\_RALF\\_SANEPAR%20-.pdf?OpenElement](http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/1B9DF09C9EAE4D2B832573760042EB40/$File/APRESENTA%C3%87%C3%83O_RALF_SANEPAR%20-.pdf?OpenElement). Acesso em: 20 jul. 2020.

BRASIL. Diário Oficial da União. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 135, p 1-26, 16 jul. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 18 jul. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**, 17 março 2005.

BRASIL. Ministério do Meio ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 13 maio 2011.

CIRQUEIRA, N. O. **Construção de um RALF didático de bancada de baixo custo para a redução da carga orgânica do esgoto doméstico**. Orientador: Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli. 2019. 38 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

CONSELHO. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. Directiva N° 91/271/CEE, de 21 de maio de 1991. **Relativa ao tratamento de águas residuais urbanas**, 21 maio 1991. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=EN>. Acesso em: 18 jul. 2020.

PARANÁ. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e recursos hídricos. Resolução nº 21, de 2009. **Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento**, 23 abril 2009. Disponível em: [http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO\\_SEMA\\_02\\_2009\\_LICENCIAMENTO\\_AMBIENTAL\\_CEMITERIOS.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_02_2009_LICENCIAMENTO_AMBIENTAL_CEMITERIOS.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel de Informações sobre Saneamento**. [S. l.], 16 dez. 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acesso em: 12 ago. 2020.