

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO REATOR ANAERÓBIO DE CIRCULAÇÃO INTERNA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES EM UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

[\[ver artigo online\]](#)

William do Nascimento Beruth¹

RESUMO

O processo de tratamento de efluentes mais utilizado em indústria de bebidas é composto pelas seguintes etapas: tratamento preliminar, onde ocorre remoção dos sólidos grosseiros, tratamento secundário (fase anaeróbia), responsável pela degradação da maior parte da carga orgânica do efluente e o tratamento terciário (fase aeróbia), que serve como um pós-tratamento, removendo poluentes que permanecem após a fase anaeróbia. Nesse processo de tratamento, tem-se que o tratamento secundário (fase anaeróbia) é a etapa que mais contribui para a remoção de poluentes do efluente, por isso, o objetivo deste estudo é a análise de desempenho do reator anaeróbio de circulação interna no tratamento de efluentes provenientes de uma indústria de bebidas de grande porte, produtora de refrigerantes.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes. Tratamento anaeróbio. Reator anaeróbio.

PERFORMANCE ANALYSIS OF THE INTERNAL CIRCULATION ANAEROBIC REACTOR IN THE WASTEWATER TREATMENT IN A BEVERAGE INDUSTRY

ABSTRACT

The most used wastewater treatment process in the beverage industry consists of the following steps: preliminary treatment, where coarse solids are removed, secondary treatment (anaerobic phase), responsible for the degradation of most of the organic load of the effluent, and tertiary treatment (aerobic phase), which serves as an after-treatment, removing pollutants that remain after the anaerobic phase. In this treatment process, the secondary treatment (anaerobic phase) is the step that most contributes to the removal of pollutants from the effluent, therefore, the objective of this study is to analyze the performance of the anaerobic reactor with internal circulation in the treatment of effluents from a large industry of beverages, producer of soft drinks.

Keywords: Wastewater treatment. Anaerobic treatment. Anaerobic Reactor.

¹ Engenheiro Químico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. berutheq@gmail.com



INTRODUÇÃO

Na indústria de bebidas, os efluentes gerados possuem carga orgânica alta, devido aos açúcares e possuem caráter alcalino, devido as soluções utilizadas para limpeza de tanques e tubulações (ROSA e AFONSO, 2015).

Por causa dessas características, o processo de tratamento biológico misto anaeróbio/aeróbio é fortemente indicado pela grande eficiência na remoção de poluentes orgânicos. Antes da etapa anaeróbia, deve-se construir um tanque de neutralização, para ocorrer correção de pH quando necessário, para fornecer o bom desempenho do reator anaeróbio (SANTOS e RIBEIRO, 2005).

A fase anaeróbia é responsável pela maior parte da remoção de carga orgânica no processo de tratamento biológico, sendo a etapa mais sensível do processo. Devido à grande eficiência dessa fase de tratamento, considera-se de suma importância a análise de desempenho do reator anaeróbio. Na fase anaeróbia, ocorre remoção de carga orgânica da ordem de 85% (BARBOSA, 2012).

A digestão anaeróbia acontece de tal forma que seja possível a junção de diferentes microrganismos, na ausência de oxigênio, para degradar compostos orgânicos complexos, como lipídios, carboidratos e proteínas em substratos mais simples (ZEHNDER e SVENSSON, 1986). A degradação anaeróbia de compostos orgânicos complexos acontece devido a ação de bactérias, e os processos que ocorrem podem ser divididos em quatro etapas diferentes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

Então, percebe-se que as bactérias têm importância ímpar no tratamento do efluente, por isso, todas as análises relacionadas ao reator anaeróbio são fundamentais. O reator anaeróbio de circulação interna (IC) é uma variação do reator UASB, mas com algumas características do reator de leito granular expandido, possui como característica altas velocidades líquidas de ascensão do efluente e altos níveis de agitação e mistura (SPEECE, 1996).

Esse reator faz a conversão da carga orgânica do efluente em biogás, que é formado predominantemente por metano, mas também possui dióxido de carbono e pode ter um residual de sulfeto de hidrogênio. Esse gás é separado do efluente tratado

e enviado para um flare. O objetivo do trabalho é analisar o desempenho do reator anaeróbio de circulação interna em uma situação real de tratamento de efluentes provenientes de indústria de refrigerantes, através de resultados de seis meses de análises relacionadas ao efluente do reator e ao lodo anaeróbio, tais como: pH, temperatura, potencial redox, acidez volátil, alcalinidade total, alcalinidade bicarbonato, massa de lodo, eficiência da remoção de DQO e atividade do lodo.

1 Revisão da Literatura

1.1 Reator Anaeróbio de Circulação Interna

O reator de circulação interna (IC), é um reator em que o efluente é tratado de forma anaeróbia, ou seja, sem oxigênio. Nesse reator, o lodo anaeróbio granular transforma a carga orgânica do efluente em biogás, que consiste em uma mistura de gases, com predominância do metano. Já o efluente tratado, com carga orgânica mais baixa, segue para as outras etapas do processo de tratamento.

O biogás gerado e o efluente tratado são separados por separadores trifásicos. A circulação interna do reator IC baseia-se no método gas lift (elevação do gás), devido ao gradiente de retenção de gás entre o tubo de subida (riser) e o tubo de descida (downer).

Quanto maior a DQO de entrada no reator, tem-se uma maior vazão de gás, que acarreta em uma maior diluição, logo, ocorre maior circulação. Com a circulação interna, o leito de lodo é melhor misturado, e isso leva a uma redução de pH do afluente, quando comparado ao sistema UASB, por isso, a acidificação no leito do reator não ocorre facilmente. O reator IC apresenta três seções, a seção de mistura, de leito de lodo expandido e de polimento.

1.1.1 Seção de Mistura

Na parte inferior do reator, onde ocorre a mistura do afluente com o lodo granular anaeróbio e o efluente da recirculação.

Nessa seção, ocorre diluição efetiva, melhorando o condicionamento do efluente, reduzindo possíveis impactos negativos por conta de pH e carga orgânica.

1.1.2 Seção de Leito de Lodo Expandido

Nessa seção, há lodo granular anaeróbio em alta concentração. Por conta de altas vazões de efluente de entrada, biogás e recirculação, o leito é expandido. O contato da biomassa com o efluente, tem como consequência uma atividade do lodo alta, permitindo aplicação de cargas orgânicas elevadas e alta conversão.

1.1.3 Seção de Polimento

Nessa seção, há lodo granular anaeróbio em baixa concentração e permite somente aplicação de cargas orgânicas baixas, pois é uma seção de tratamento posterior ao tratamento da seção de leito expandido, que já removeu anteriormente a maior parte da DQO. No polimento, a velocidade superficial é baixa, porque a recirculação interna não está presente nessa seção. Por conta da baixa concentração de lodo no polimento, há um espaço disponível para expansão do lodo na seção inferior, com isso, ocorre uma minimização da perda de lodo granular anaeróbio nos possíveis picos de carga orgânica elevada.

1.2 Tratamento Anaeróbio

No reator anaeróbio de circulação interna (IC), ocorre a digestão anaeróbia, que é um processo metabólico complexo que requer condições anaeróbias (potencial redox $< -200\text{mV}$) e depende da associação de microrganismos para converter matéria orgânica em dióxido de carbono e metano, esse processo pode ser dividido em quatro fases, sendo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (KUNZ et.al, 2019).

As bactérias acidogênicas, são responsáveis pelas duas primeiras fases, a hidrólise e a acidogênese. Essas bactérias hidrolisam lipídios, proteínas e gorduras

pela ação de enzimas, em pequenas unidades que podem entrar nas células. Nas células, pelo processo de oxi-redução, forma-se hidrogênio, dióxido de carbono e ácidos graxos voláteis.

Os produtos formados na etapa anterior, realizada pelas bactérias acidogênicas (acidificação), são transformados pela ação das bactérias acetogênicas em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

Já as bactérias metanogênicas, transformam o acetato, hidrogênio e dióxido de carbono em metano. Então, tem-se que os processos anaeróbios dividem-se em quatro etapas: hidrólise, acidogênese (acidificação), acetogênese e metanogênese.

1.2.1 Hidrólise

Na etapa da hidrólise, compostos de alta massa molecular são degradados como os lipídios, polissacarídeos e proteínas em substâncias orgânicas mais simples (monômeros) e solúveis, processo é realizado através de enzimas extraclulares excretadas pelas bactérias hidrolíticas (KUNZ et.al, 2019).

A hidrólise pode ser considerada a etapa limitante no processo de digestão anaeróbia. O tempo de duração dessa etapa muda de acordo com o substrato, os carboidratos são hidrolisados em poucas horas, já a hidrólise da gordura é muito lenta, a 20°C a taxa de conversão é quase zero.

Uma boa eficiência na hidrólise pode ser obtida com tempo grande de retenção hidráulico e com um pH aproximadamente 6, pH 6 é considerado ótimo para esse processo.

1.2.2 Acidogênese

Na acidogênese, compostos orgânicos são transformados principalmente em ácidos graxos voláteis.

Nessa etapa, monômeros da hidrólise tornam-se os substratos pelas bactérias acidogênicas, são degradados e formam ácidos orgânicos de cadeia carbônica pequena. Os carboidratos são convertidos primeiramente a piruvato, esse produto é

depois convertido em ácido láctico e em etanol. Já os ácidos graxos são ligados a coenzima A, formando acetato e os aminoácidos são degradados e produzem acetato, amônia, dióxido de carbono e hidrogênio (KUNZ et.al, 2019).

Bactérias acidogênicas possuem bastante tolerância ao pH. Ácido forma-se continuamente até o valor de pH 4 aproximadamente. As bactérias que produzem metano possuem faixa de pH ótima entre 6,5 e 7,5. Então, um valor de pH fora dessa faixa, resulta em uma diminuição do consumo de hidrogênio produzido.

1.2.3 Acetogênese

Todos os produtos formados na acidificação são transformados pelas bactérias acetogênicas em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Essas bactérias somente conseguem fazer as reações se a concentração de acetato for baixa, e se a pressão parcial do hidrogênio no líquido também for baixa.

As bactérias metanogênicas que são as responsáveis por manter a pressão parcial do hidrogênio e a concentração de acetato baixas.

1.2.4 Metanogênese

Reduções significativas de DQO, não ocorrem nas etapas de hidrólise, acidogênese e acetogênese. A metanogênese é a responsável pela remoção de DQO em forma de metano. Essa etapa ocorre em condições estritamente anaeróbias.

O carbono contido na biomassa é convertido a dióxido de carbono e metano através das arqueas metanogênicas (KUNZ et.al, 2019).

1.3 Parâmetros do processo

1.3.1 Temperatura

A temperatura influencia nas propriedades físico-químicas de componentes e na atividade e crescimento dos microrganismos. A temperatura influencia parâmetros

como a dissociação da amônia, podendo ter um efeito de inibição (KUNZ e SAQIB, 2016). Pode-se fazer uma divisão das bactérias por faixas de temperatura: Bactérias psicrófilas (entre 0 e 20°C), mesófilas (entre 20 e 45°C) e termófilas (entre 45 e 70°C). As bactérias metanogênicas, em geral, possuem temperatura ótima na faixa de 30 a 40°C. A atividade metanogênica, entre 10 e 30°C, aumenta em aproximadamente 10% a cada grau celsius.

Em temperaturas maiores que 35°C, a atividade metanogênica é constante, mas diminui drasticamente quando a temperatura está maior que 42°C. Por isso, a temperatura no reator anaeróbio deve estar abaixo de 40°C, para não perder a atividade metanogênica.

1.3.2 pH

As arqueas metanogênicas são extremamente sensíveis ao pH, com um valor ótimo entre 6,7 e 7,5 (KUNZ et.al, 2019).

A degradação de material orgânico complexo em ácidos orgânicos voláteis não são tão sensíveis a valores baixos de pH, então, as bactérias acidogênicas podem possuir atividade até um pH de 4,0. Se o pH no reator estiver em 6,0, as bactérias metanogênicas não fazem mais conversão para metano, mas as bactérias acidogênicas continuam com a produção de ácidos voláteis.

Se o pH diminuir de forma excessiva, uma maior quantidade de dióxido de carbono permanecerá dissolvido no meio reacional. Se ocorrer aumento de pH, o dióxido de carbono dissolvido formará ácido carbônico, com isso, íons de hidrogênio serão liberados (Deublein e Steinhauser, 2011). Quando o pH está baixo, pode prejudicar o sistema por conta do aumento da concentração de ácidos graxos voláteis não dissociados e sulfeto de hidrogênio.

A forma não dissociada pode dissociar no interior da célula e causar uma queda brusca de pH.

1.3.3 Alcalinidade, Acidez e tamponamento

O efeito de tamponamento de uma solução é a capacidade de resistir às variações de pH. O pH no reator anaeróbio precisa desse efeito. A capacidade de tamponamento é medida pela quantidade de ácidos fracos, tais como: Ácidos carbônicos, dióxido de carbono, ácidos graxos voláteis, sulfeto de hidrogênio, também por bases fracas, carbonato e os sais das bases e ácidos presentes

A operação do reator anaeróbio é em pH neutro, por isso, o sistema tampão com maior importância é o ácido carbônico/bicarbonato (pKa no pH de 6,3).

Ou seja, no pH 6,3, a concentração de bicarbonato é igual a de ácido carbônico (máxima capacidade tampão). Essa capacidade pode ser mensurada em termos de alcalinidade. Já a acidez volátil no leito do reator é um parâmetro muito importante porque pode indicar um aumento de carga orgânica, desequilíbrio entre as populações de bactérias, pH no reator muito baixo ou muito alto, inibição do lodo ou até descarte de produtos tóxicos.

2 Estudo de Caso, Metodologia e Resultados

Na indústria de bebidas utilizada no estudo, os principais produtos descartados são: refrigerantes de diferentes sabores, água, água doce com brix baixo e soda cáustica com baixa concentração. A soda é proveniente das limpezas dos tanques da fábrica e da lavagem de garrafas retornáveis. A estação de tratamento de efluentes da indústria de bebidas em questão, despejou em média 26,85m³/h de efluente tratado no corpo receptor entre os meses de janeiro e abril de 2021.

A qualidade desse efluente tratado tem uma contribuição significativa do tratamento que ocorre no reator anaeróbio de circulação interna. Realizou-se diversas análises entre os meses de janeiro e abril de 2021 para analisar o desempenho do reator anaeróbio de circulação interna, tais como: pH, temperatura, potencial redox, acidez volátil, alcalinidade total, alcalinidade bicarbonato, massa de lodo, eficiência da remoção de DQO e atividade do lodo.

Para a medição do potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxirredução (redox) e temperatura do efluente de saída tratado do reator anaeróbico de circulação interna, utilizou-se um medidor multiparâmetro. A medição desses parâmetros foram feitos todos os dias, a cada duas horas, entre os meses de janeiro e abril de 2021, na tabela abaixo, estão dispostos os resultados médios nas tabelas a seguir.

Tabela 1 - Resultados das medições de potencial hidrogeniônico (pH)

Meses	pH médio
Janeiro	7,30
Fevereiro	7,38
Março	7,22
Abril	7,26

Tabela 2 - Resultados das medições de potencial de oxirredução (redox)

Meses	Redox médio (mV)
Janeiro	-387
Fevereiro	-424
Março	-448
Abril	-489

Tabela 3 - Resultados das medições de temperatura

Meses	Temperatura média (°C)
Janeiro	27,9
Fevereiro	27,4
Março	26,9
Abril	27,1

A determinação da alcalinidade total é feita através de uma titulação. Essa análise foi realizada duas vezes por dia, no período do estudo de caso. Para fazer essa análise, devem ser seguidos os seguintes passos:

- Coletar 200mL de efluente de saída do reator anaeróbico de circulação interna;

- Filtrar 50mL desse efluente e transferir para um béquer de 100mL;
- Adicionar no béquer uma barra magnética e levar até ao agitador magnético;
- Com a amostra em agitação constante, inserir o eletrodo do pHmetro a fim de acompanhar o pH;
- Titular a amostra com ácido sulfúrico 0,1N até chegar a pH 4,0;
- Anotar o volume gasto (V1);

A alcalinidade total pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{Alcalinidade Total} = V1 \times 100 \quad (1)$$

Para determinar a acidez volátil, deve-se continuar a análise descrita anteriormente. Após anotar o volume gasto V1, os próximos passos devem ser seguidos:

- Continuar a titulação com ácido sulfúrico 0,1N até chegar a pH 3,2;
- Após isso, levar a amostra até a chapa aquecedora na capela. A amostra deve permanecer até entrar em ebulição, para liberação do gás carbônico;
- Após esfriar até a temperatura ambiente, faz-se uma nova titulação, agora com hidróxido de sódio 0,1N;
- Primeiramente, titula-se até atingir pH 4,0, depois disso, titula-se até atingir pH 7,0. O volume gasto de hidróxido de sódio para elevar o pH de 4,0 até 7,0, é chamado de V2 e deve ser anotado.

A acidez volátil pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{Acidez Volátil} = V2 \times 120 \quad (2)$$

Já a alcalinidade de bicarbonato é calculada pela equação abaixo:

$$\text{Alcalinidade de Bicarbonato} = \text{Alcalinidade Total} - (\text{Acidez Volátil} \times 0,7055) \quad (3)$$

Abaixo, encontra-se a tabela com os resultados dessas análises:

Tabela 4 - Resultados das análises de alcalinidade (total e bicarbonato) e acidez volátil

Meses	Alcalinidade Total	Alcalinidade Bicarbonato	Acidez Volátil
Janeiro	1.120	1.088	45
Fevereiro	1.350	1.313	52
Março	1.030	1.003	38
Abril	990	942	68

Outra análise muito importante realizada com o efluente de saída do reator é a determinação da DQO. Com o valor de DQO do efluente de entrada e de saída do reator IC, pode-se calcular a eficiência de remoção. Essa análise foi realizada duas vezes por dia, em todos os dias de janeiro a abril de 2021, os resultados estão descritos na tabela abaixo:

Tabela 5 - Resultados de remoção de DQO do Reator IC

Meses	Remoção de DQO
Janeiro	91%
Fevereiro	89%
Março	92%
Abril	94%

Em relação ao lodo anaeróbio, foram feitas análises para determinar a massa de lodo dentro do reator de circulação interna, assim como, a atividade metanogênica do lodo. Com isso, é possível calcular a carga orgânica em KgDQO/dia que o reator anaeróbio poderá receber para garantir que as bactérias não morram devido a sobrecarga. Abaixo, são apresentadas tabelas de cada mês (entre janeiro e abril de 2021) com resultados de atividade metanogênica, massa em sólidos totais, massa em sólidos voláteis, razão entre massa de sólidos voláteis e massa de sólidos totais e carga orgânica calculada, ou seja, o quanto de carga orgânica o reator anaeróbio de circulação interna poderá receber sem sofrer danos:

Tabela 6 - Atividade Metanogênica Janeiro

Janeiro	
Atividade (KgDQO/KgST.dia)	0,32
Massa (Kg ST)	17.783
Massa (Kg SV)	15.446
Relação SV/ST (%)	88
Carga Orgânica Calculada (KgDQO/dia)	5.691

Tabela 7 - Atividade Metanogênica Fevereiro

Fevereiro	
Atividade (KgDQO/KgST.dia)	0,35
Massa (Kg ST)	17.942
Massa (Kg SV)	15.623
Relação SV/ST (%)	87
Carga Orgânica Calculada (KgDQO/dia)	6.280

Tabela 8 - Atividade Metanogênica Março

Março	
Atividade (KgDQO/KgST.dia)	0,38
Massa (Kg ST)	18.324
Massa (Kg SV)	15.987
Relação SV/ST (%)	87
Carga Orgânica Calculada (KgDQO/dia)	6.963

Tabela 9 - Atividade Metanogênica Abril

Abril	
Atividade (KgDQO/KgST.dia)	0,41
Massa (Kg ST)	19.671
Massa (Kg SV)	16.802
Relação SV/ST (%)	85
Carga Orgânica Calculada (KgDQO/dia)	8.065

DISCUSSÃO

Para evitar concentrações tóxicas elevadas de ácidos graxos voláteis (AGV), o pH do efluente de saída do reator anaeróbico de circulação interna deve ficar entre 7,0 e 7,5. Além disso, as arqueas metanogênicas possuem faixa de pH ótimo entre 6,7 e 7,5. De acordo com a tabela 1, entre os meses de janeiro e abril de 2021, o menor valor médio de pH foi 7,22 e o maior 7,38, portanto, o pH permaneceu com valores médios aceitáveis, sem comprometer a eficiência do reator.

Sabe-se que as bactérias metanogênicas são estritamente anaeróbias, por isso, precisam de potencial redox mais baixo que as outras bactérias no reator (-300mV), então, pode-se afirmar que para um melhor desempenho do reator, o potencial redox deve permanecer menor que -300mV. Na tabela 2, observa-se que o valor mais alto de potencial redox foi no mês de janeiro (-387 mV), ainda assim, esse valor é menor que -300mV, portanto, esse parâmetro não comprometeu o desempenho do reator IC.

A remoção de DQO é um parâmetro fundamental para determinar se o desempenho do reator anaeróbico está adequado ou não. Pela tabela 5, percebe-se que a eficiência de remoção variou entre 89% a 94%, são ótimos valores de remoção.

De acordo com a tabela 3, a menor média de temperatura observada foi 26,9°C em março e a maior foi 28,1°C em janeiro. Como a faixa de temperatura ótima das bactérias metanogênicas (grupo de bactérias no reator IC que mais contribuem para remoção de DQO), varia de 30°C a 40°C, percebe-se que as temperaturas obtidas estão próximas, mas não está na faixa de pH ótimo, o que contribui para uma perda de eficiência. Ou seja, a remoção de DQO está com ótimos valores como visto no parágrafo anterior, porém, os resultados poderiam ser até melhores caso a temperatura estivesse na faixa ótima.

A acidez volátil pode indicar aumento da carga orgânica, inibição do lodo, produtos tóxicos no sistema, e sua faixa adequada varia entre 50 a 300mg/L. Pela tabela 4, percebe-se que o maior valor médio mensal de acidez foi de 68mg/L. Portanto, o resultado indica perfeito equilíbrio entre os grupos bacterianos e alta atividade do lodo.

Já a alcalinidade alta pode indicar que o pH do meio está muito alto ou que a recirculação está muito alta. O valor mínimo adequado para alcalinidade é obtido de forma empírica dependendo da característica do efluente, mas o valor maior que 250mg/L é um valor mínimo satisfatório. Como o menor valor médio de alcalinidade total (tabela 4) foi 990mg/L e o maior foi 1.350mg/L, tem-se que os valores de alcalinidade estão satisfatórios para o estudo de caso.

A análise de massa de lodo quantifica o lodo presente no reator anaeróbio de circulação interna. É importante para o acompanhamento do crescimento ou diminuição do lodo. Em condições normais, o volume de lodo tende a aumentar lentamente até um ponto que se torna necessário a retirada do lodo (quando a presença de lodo no ponto de coleta correspondente a uma altura 15,4m do reator estiver superior a 50mL/L). Percebe-se pelas tabelas de 6 a 9 que a massa de lodo cresceu, portanto, o sistema operou em condições normais.

Em relação a atividade metanogênica, o valor mínimo para um tratamento adequado é 0,3KgDQO/KgST.dia e um valor considerado ótimo em relação

a atividade metanogênica para indústria de bebidas é 0,5KgDQO/KgST.dia, portanto, pelos resultados das tabelas de 6 a 9, percebe-se que o resultado de atividade do lodo está adequado, e está aumentando ao longo dos meses, ou seja, pode receber uma carga orgânica maior no reator sem prejuízo ao sistema.

CONCLUSÃO

Através das diversas análises realizadas com o efluente de saída do reator anaeróbio de circulação interna e com o lodo anaeróbio, foi possível relacionar os resultados ao desempenho do reator IC no tratamento de efluente em uma indústria de bebida entre os meses de janeiro a abril de 2021.

Os resultados de todas as análises foram satisfatórios, todos os parâmetros estão em suas respectivas faixas, não houve prejuízo ao sistema de tratamento, além disso, pode-se afirmar que o reator IC demonstrou um excelente desempenho, pois, tem a capacidade de receber altas cargas orgânicas e entregar uma eficiência de remoção de DQO entre 89% e 94%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, R. A. **Fundamentos dos Parâmetros do PTP de ETEI**. Workshop de Meio Ambiente, Ambev, Jacareí, 2012.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: an introduction**. Wiley-VCH, 2011.

KUNZ, AIRTON; STEINMETZ, RICARDO; AMARAL, ANDRÉ. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Embrapa, Concórdia, SC, 2019.

KUNZ, AIRTON; MUKHTAR, SAQIB. **Hydrophobic membrane technology for ammonia extraction from wastewaters**. Engenharia Agrícola, v. 36, p. 377-386, 2016.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. Química e sociedade: A química da cerveja. São Paulo: **Revista Química Nova Escola**, v. 37, 2015. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_2/05-QS-155-12.pdf>. Acesso em: 11 de novembro de 2022.

SPEECE, R.E. **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters**. Nashville, Tennessee: Archae Press, 1996.

SANTOS, M.S.; RIBEIRO, F.M. **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005.58p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 25 de outubro de 2022.

ZEHNDER, A. J. B.; SVENSSON, B. H. Life Without Oxygen: What Can and What Cannot? **Journal Experientia**, v. 42, p-1197-1205, 1986.