



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**JULIANA COSTA DE MENDONÇA**

**INFLUÊNCIA DE SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS NA BIODEGRADABILIDADE  
AÉROBIA DO EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE ÁCIDO CAPROICO**

**FORTALEZA**

**2017**

**JULIANA COSTA DE MENDONÇA**

**INFLUÊNCIA DE SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS NA BIODEGRADABILIDADE  
AÉROBIA DO EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE ÁCIDO CAPROICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Ciências  
Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da  
Universidade Federal do Ceará, como um dos  
requisitos para obtenção do título de Cientista  
Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Tédde  
Santaella

**FORTALEZA**

**2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M495i mendonça, Juliana costa de.  
Influência de Sólidos Suspensos Voláteis na Biodegradabilidade Aeróbia do Efluente da Produção  
de  
Ácido Caproico / Juliana costa de mendonça.  
– 2017.  
44 f. : il. color.  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de  
Ciências do  
Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza,  
2017.  
Orientação: Profa. Dra. Sandra Tédde Santaella.  
1. Processo aeróbio. 2. Águas residuarias. 3. Ácido hexanóico. I. Título.

---

CDD 333.7

**JULIANA COSTA DE MENDONÇA**

**INFLUÊNCIA DE SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS NA BIODEGRADABILIDADE  
AÉROBIA DO EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE ÁCIDO CAPROICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação de Ciências  
Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da  
Universidade Federal do Ceará, como um dos  
requisitos para obtenção do título de Cientista  
Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Tédde  
Santaella

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Sandra Tédde Santaella (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Maria do Socorro Vale  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Paulo de Freitas Lima  
Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnológica do Ceará  
(IFCE, Campus Limoeiro do Norte)

À minha mãe **Maria Socorro**, e à minha irmã **Maria Costa**, pelo apoio, amor, companheirismo e amizade, e por sempre estarem ao meu lado.

**Eu dedico este trabalho**

“A mente que se abre a uma nova idéia  
jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, pelo direito a vida, por ter iluminado o meu caminho até aqui e por sempre me dar forças para enfrentar todos os desafios que me são impostos.

À Professora Sandra Tédde Santaella, pelos ensinamentos, pela orientação, pelos cuidados e dedicação, pela amizade e pela firmeza nas cobranças. Agradecer também pela admirável paciência, me apoiando e me incentivando em todos os momentos. Por compartilhar seu conhecimento e pelo todos os momentos de convívio.

À minha mãe Maria Socorro, e à minha irmã Maria Costa, que são meus exemplos de vida e meu porto seguro em todos os momentos. Obrigada por aguentar todos os meus abusos e chatices sem saber ao certo o que se passava. Amo vocês mais do que tudo nesta vida.

Ao meu namorado, Kayque, que tanto me incentivou e ajudou na conclusão deste trabalho. Que me acalmou quando ninguém mais conseguia, por me amar e por enfrentar tudo comigo. Você é uma pessoa maravilhosa que Deus colocou na minha vida. Obrigada por tudo.

Um especial agradecimento a Jordana Sampaio. Em primeiro lugar por ter me dado suporte no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso. Pelas valiosas correções nesse período tão turbulento. Pela amizade, carinho e por ter se comportado como uma grande amiga, sempre me apoiando, incentivando e preocupada com o meu bem-estar e com a minha felicidade. Muitíssimo obrigada.

A todos os meus colegas do laboratório de efluentes e qualidade de água – EQUAL, em especial aos meus amigos maravilhosos que conquistei ao longo desta caminhada: Andreza, Alexandre, Ana Beatriz, Daniele Bráz, Tasso Jorge, João, Clara, Rosinha, Rennyer, Bruno, Paulo Ipiranga, Patrícia, Brenda, Lucas; que tanto me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho de conclusão, ao meu lado nos momentos difíceis e nos alegres, além de proporcionarem um ambiente de trabalho tão harmonioso. Jamais me esquecerei de vocês.

A Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária, em especial ao Renato, por ajudar no suporte técnico e financeiro para realização desta pesquisa e a todos os envolvidos.

A banca examinadora, muito obrigada por acrescentar ainda mais nesse trabalho.

Agradecer imensamente ao Willame Calvacante, por todo apoio, ensinamentos, tira dúvidas e por todo suporte técnico na realização do experimento. Obrigada por guardar efluente para a pesquisa.

Às minhas amigas, Alanne, Daniele e Luciana por me aguentarem todos esses anos, por todos os choros, por cada sofrimento compartilhado e por todos os momentos de alegria. Obrigada meninas, vocês moram no meu coração.

À Natália por todo carinho, amizade e por todo amor que você tem a minha mãe, te considero como um membro da família, obrigada por tudo.

A Eunice, secretária do curso, por ser uma excelente profissional, sempre carismática e muito atenciosa com todos os alunos.

A minha tia Mary, por sempre acreditar nos meus objetivos de vida, em todo apoio e ajuda nos momentos mais difíceis da minha vida, muito obrigada pela dedicação como tia.

Aos amigos do Laboratório de Avaliação de Contaminantes Orgânicos (LACOR): em especial a Elissandra Viana, obrigada pela amizade, pelos ensinamentos e por todo carinho.

Aos funcionários do LABOMAR, principalmente à Dona Célia, João Paulo, Reginaldo, Roberto, Wagner, Francisco, Marcos, Cláudio, Piu-piu, obrigada por alegrar meus dias e pela amizade.

A todos os motoristas do inter campi Pici/Labomar, por toda amizade, carinho e respeito ao longo desses anos.

A Universidade Federal do Ceará, por todas as bolsas concedidas, mesmo com todos os problemas, tenho orgulho de fazer parte.

A todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, e que certamente foram importantes durante o trajeto percorrido.

## **RESUMO**

A produção do ácido caproico é bastante desejável atualmente, pois permite a fabricação de produtos importantes para as atividades comerciais, industriais e agrícolas. O ácido caproico pode ser produzido a partir de substratos, etanol e ácido acético, gerando um efluente novo, com características desconhecidas, que precisará ser tratado adequadamente antes de ser lançado no corpo hídrico, evitando problemas ambientais e sociais que afetam diretamente a qualidade de vida. Dessa forma, o principal objetivo dessa pesquisa foi verificar a influência das diferentes concentrações de sólidos suspensos voláteis na biodegradabilidade aeróbia do efluente da produção de ácido caproico. A montagem e operação do sistema foi determinada a partir do tempo de detenção hidráulica (TDH) tendo como melhor tempo cinco dias. Após essa determinação quatro reatores aeróbios em batelada foram montados em duplicata, com compressores de ar em escala de bancada e aeração prolongada. Foram testadas diferentes concentração de Sólidos Suspensos Voláteis 2500, 3000, 3500, 4000 (mg/L) para verificar a melhor remoção de matéria orgânica, tendo como inóculo os lodos oriundos do tratamento de efluente de cervejaria e glicerol residual. Nesse contexto, todos os reatores tiveram eficiência de remoção de DQO em média de 97% e remoção do ortofosfato que variou em média de 81% a 95%. Dessa forma, o sistema proposto, nas condições experimentais, demonstrou ser adequado para remoção aeróbia de matéria orgânica do efluente da produção de ácido caproico sendo as concentrações de 3500 e 4000 (mg/L) SSV as mais eficientes para esse processo.

**Palavras-chave:** Processo aeróbio. Águas residuárias. Ácido hexanóico.

## **ABSTRACT**

The production of caproic acid is currently very desirable as it enables the manufacturing of important products from organic waste materials, much of which is used for commercial, industrial and agricultural activities. The production of caproic acid from the substrates ethanol and acetic acid generates a new effluent with unknown characteristics. It will need to be adequately treated before being released into the water body in order to avoid environmental and social problems that directly affect the quality of life. Thus, the main objective of this research was to verify the influence of the different volatile suspended solid concentrations on the aerobic biodegradability of the caproic acid production effluent. The assembly and operation of the system was determined from the hydraulic retention time (HRT), with the best time being five days. To accomplish this, four aerobic batch reactors were assembled in duplicate with bench-scale air compressors and prolonged aeration. Different concentrations of Volatile Suspended Solids 2500, 3000, 3500, 4000 (mg / L) were tested to verify the best manner to remove organic matter, having as inoculum the sludge from the treatment of brewery effluent and residual glycerol. In this context, all reactors had COD removal efficiency averaging 97%. The removal efficiency of orthophosphate ranged from 81% to 95% on average. Thus, the proposed system in the experimental conditions was suitable for the aerobic removal of organic matter from the effluent of the caproic acid production with the VSS concentration of 3500 and 4000 mg / L being the most efficient for this process.

Keywords: Aerobic process. Wastewater. Hexanoic acid.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Estrutura molecular do ácido caproico.....	20
Figura 2: Classificação da biodegradabilidade de um efluente. ....	23
Figura 3: Valores de DQO e DBO indicativos de tratabilidade de um efluente .....	25
Figura 4: Esquema de montagem dos sistemas e suas etapas: TDH, DQO, SSV e relação C:N:P.....	28
Figura 5: À esquerda, o lodo proveniente da cervejaria e, à direita, o lodo do reator aeróbio que tratava glicerol residual.....	29
Figura 6: Sistema operacional, em batelada, utilizado para determinação de TDH.....	32
Figura 7: Reatores aeróbios, em batelada, utilizado para biodegradabilidade do efluente. ....	33
Figura 8: Influência de SSV nas variáveis dos reatores montados para tratamento aeróbio do efluente da produção anaeróbia de ácido caproico. ....	36

## **LISTA DE GRÁFICOS TABELAS E QUADROS**

Gráfico 1: Eficiência de remoção de matéria orgânica do efluente da geração anaeróbia de ácido caproico em vários TDH .....	34
Tabela 1: Determinação de DQO em efluentes industriais.....	25
Tabela 2: Composição da solução de nutrientes usada na alimentação dos microrganismos. ...	30
Tabela 3: Alimentação diária do lodo aclimatado com efluente, glicose e nutrientes.....	31
Tabela 4: Paramêtros utilizados para caracterização do efluente da geração anaeróbia de ácido caproico .....	31
Tabela 5: Caracterização físico-química do efluente.....	34
Tabela 6: Composição físico-química do efluente e do pós-tratamento da produção anaeróbia de ácido caproico. ....	35
Quadro 1: Interações que ocorrem nos ecossistemas microbianos nos sistemas de tratamento de efluentes.....	26

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EQUAL	Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar
PNUMA	Programa da ONU para o Meio Ambiente
R1	Reator 1
R2	Reator 2
R3	Reator 3
R4	Reator 4
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS .....	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2     Objetivos específicos.....	19
3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....	20
3.1. Ácido caproico .....	20
3.2 Tratamento de água resíduária por processo biológico aeróbio .....	21
3.3.1 Tratamento de efluentes.....	21
3.3.2 Tratamento biológico aeróbio de efluentes.....	22
3.3.3 Biodegradabilidade Aeróbia .....	23
3.3.4 Potencial microbiano para tratamento de efluentes.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
4.1 Local de estudo .....	28
4.2 Água resíduária .....	28
4.3 Inóculo.....	29
4.4 Alimentação .....	29
4.5 Aclimatação do lodo.....	30
4.6 Caracterização físico-química do efluente da produção de ácido caproíco.....	31
4.7 Montagem e operação do sistema .....	31
4.8 Sólidos Suspensos Voláteis.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
5.1. Caracterização do efluente .....	34
5.2. Tempo de detenção hidráulica (TDH).....	34
5.3. Qualidade do efluente pós-tratado sob influência de sólidos suspensos voláteis.....	35
6. CONCLUSÕES .....	39
REFERÊNCIAS .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo da população desencadeia o aumento da demanda e oferta de novos produtos químicos, acarretando, no ambiente, grandes quantidades de diversos compostos provenientes das descargas industriais e das atividades antrópicas, provocando problemas ambientais e sociais que afetam diretamente a qualidade de vida.

Os efluentes líquidos ao serem lançados causam alteração de qualidade nos corpos receptores e como resultado a sua degradação. Koser (2012), relatou que a remoção efetiva dos poluentes, particularmente material orgânico e nutrientes, é importante para o controle da poluição crescente dos mananciais.

As diferentes composições dos efluentes industriais dependem dos respectivos processos produtivos, do produto obtido e da matéria prima utilizada. Devido à diversidade nas características dos efluentes industriais, faz-se necessário conhecer a composição do material a ser tratado, para identificar as concentrações e presença de material orgânico, sólidos, condutividade, pH, compostos tóxicos orgânicos e inorgânicos para quantificar e caracterizar os efluentes e assim definir o tratamento mais adequado.

Além disso, é necessário conhecer os limites máximos de lançamento permitidos pela legislação ambiental vigente. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011 estabelece as condições a serem cumpridas para o despejo de efluentes de qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente nos corpos d'água, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011). Em nível Estadual, a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) nº 2 de fevereiro de 2017, descreve que o efluente industrial ao ser lançado na rede coletora pertencente ao Sistema de Esgotamento Sanitário dos Distritos Industriais, deverá obedecer aos padrões de lançamento tais como pH, temperatura, sólidos suspensos totais, DQO entre outros.

No Brasil, o despejo de efluentes não tratados é a principal fonte de poluição de corpos hídricos (PESSOA E JORDÃO, 2011). A fim de minimizar essa problemática, faz-se necessário tratar os efluentes tanto domésticos como industriais. Desse modo, a necessidade de novas tecnologias e alternativas menos prejudiciais ambientalmente para a produção de bioproductos, fez com que a Embrapa Agroindústria Tropical realizasse uma pesquisa para gerar ácido caproico a partir de substratos sintéticos, etanol e ácido acético, em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB).

Segundo Agler *et al.*, (2011) a produção biológica de ácido caproico pode ser realizada

por processo de alongamento de cadeia carboxílica conhecido como  $\beta$ -oxidação reversa. Esse processo gera um efluente novo, com características desconhecidas e que precisará ser tratado adequadamente, antes de ser disposto no ambiente. Assim, é necessário que se desenvolvam pesquisas para tratamento eficiente desse efluente.

Em se tratando de efluente de reator anaeróbio, acredita-se que a melhor opção seja o tratamento aeróbio, sendo uma das principais qualidades desse tratamento a robustez, assegurada pela rica diversidade microbiana presente, e pela alta velocidade de crescimento dos microrganismos aeróbios que degradam o substrato.

A influência dos microrganismos é de importância fundamental nos sistemas de tratamento biológico. Sendo a manutenção desses processos metabólicos garantida pela presença, no efluente, de fontes de carbono, energia e nutrientes para a reprodução, o crescimento e a manutenção dos microrganismos, fazendo-se também necessário a presença de oxigênio e nutrientes no meio propiciando uma elevada taxa de crescimento (BENETI, 2013).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Verificar a influência de sólidos suspensos voláteis na biodegradabilidade aeróbia de um efluente proveniente de produção anaeróbia de ácido caproico.

### 2.2 Objetivos específicos

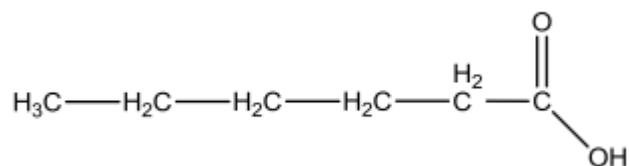
- Determinar as características físico-químicas do efluente de produção anaeróbia de ácido caproico.
- Determinar o melhor tempo de detenção hidráulica (TDH) para remoção da matéria orgânica do efluente.
- Verificar o crescimento dos microrganismos no sistema de tratamento aeróbio.
- Escolher a melhor concentração de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) para o tratamento aeróbio do efluente.

### 3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

#### 3.1. Ácido caproico

O ácido caproico é um ácido graxo, de cadeia linear de seis carbonos, cuja estrutura está representada na Figura 1. É um líquido incolor e viscoso, com odor forte. De acordo com Claro (2005), é produzido por cabras, juntamente com os ácidos caprílico e cáprico. Segundo Angenent *et al.* (2016) o ácido caproico é produzido tanto a partir de gorduras animais, como as da cabra, quanto de óleos vegetais. Nas gorduras naturais, é encontrado em quantidades residuais (KENEALY; CAO; WEIMER, 1995).

Figura 1: Estrutura molecular do ácido caproico



Fonte: Claro (2005).

De acordo com Angenent *et al.* (2016), o ácido caproico é muito importante para atividades comerciais e industriais e agrícolas. Nesse sentido, o desenvolvimento da produção do ácido caproico é almejado, uma vez que este ácido permite a fabricação de produtos valiosos a partir de matérias de resíduos orgânicos.

Ademais, o ácido caproico possui utilização comercial principalmente como precursor para síntese de produtos químicos, como aromatizantes (KENEALY; CAO; WEIMER, 1995). Além de ser, também, um precursor para combustíveis líquidos (álcoois e alcanos), é uma mercadoria valiosa como aditivos para alimentação animal e antimicrobianos verdes, por exemplo (AGLER, 2012).

Outra forma de utilização desse ácido graxo é para a fabricação de diversos produtos como perfumes, medicamentos, lubrificantes, borrachas e corantes, tornando-se também o principal produto químico utilizado em processos de fermentação (ANGENENT *et al.*, 2016). Diante desses diversos tipos de usos, surge a necessidade de diversificar o mercado de biorrefinaria deste produto (AGLER, 2012), gerando subprodutos e efluentes que necessitam

de um processo de tratamento específico.

### **3.2 Tratamento de água resíduária por processo biológico aeróbio**

#### ***3.3.1 Tratamento de efluentes***

O tratamento dos efluentes nada mais é do que uma autodepuração acelerada, com as características hidrodinâmicas e de qualidades dos efluentes (VON SPERLING, 2005), além disso o tratamento de efluentes deve ser bastante eficiente para garantir a qualidade do efluente tratado (SILVEIRA, 2010). As águas resíduárias podem ser tratadas por processos físicos, químicos ou biológicos aeróbios ou anaeróbios (VON SPERLING, 2002).

Considerando esses problemas advindos de lançamentos inadequados, fica evidente a necessidade de implantação e ampliação de sistemas de tratamento de esgoto. Neste sentido, várias investigações têm sido realizadas na busca por configurações modernas e mais eficientes de estações de tratamento (GOFFI, 2013)

Lançar os resíduos longe da fonte poluidora, sem se preocupar com os impactos decorrentes dessa prática, não é mais aceitável. Com as regulamentações cada vez mais restritivas, em prol de um desenvolvimento sustentável, as empresas estão tomando cada vez mais medidas para controlar a poluição ambiental (SIMIÃO, 2011)

Apenas atender a legislação ambiental não é o suficiente:

*“Deve-se incorporar os fatores ambientais nas metas, políticas e estratégias da empresa, considerando os riscos e os impactos ambientais não só de seus processos produtivos, mas também de seus produtos. Assim, a proteção ambiental passa a fazer parte dos objetivos de negócios e o meio ambiente não é mais encarado como um adicional de custo, mas como uma possibilidade de lucros, em um quadro de ameaças e oportunidades para a empresa” (SANCHES, 2000 apud BENVENUTI, 2013)*

Práticas ambientais são aplicadas como forma de compensação ambiental para melhorar e controlar a produção de resíduos líquidos e sólidos. Entre essas práticas, pode-se destacar a diminuição da geração de resíduos, o tratamento de efluentes e o uso de materiais atóxicos. Economicamente, as empresas se beneficiam com a reutilização de água, redução de consumo de água, conscientização do desperdício da matéria prima, gerando volumes menores de efluentes líquidos para tratamento, com o intuito de reduzir custos financeiros e ambientais. (BARATA *et al.*, 2007)

Várias tecnologias e abordagens efetivas estão disponíveis para melhorar a qualidade da água por meio da prevenção da poluição, do tratamento e da restauração de ecossistemas. Para que isso ocorra, é necessário que comunidades, governo e empresas adotem tecnologias e abordagens eficazes para garantir a qualidade da água (PNUMA, 2010).

### ***3.3.2 Tratamento biológico aeróbio de efluentes.***

Nakano (2012), a disponibilidade de oxigênio faz-se necessária para o tratamento biológico aeróbio de efluentes pois mantém a população microbiana “viva” e com boa capacidade metabólica. Dessa forma, ressalta que em grande parte dos sistemas de tratamento de efluentes aeróbios, o oxigênio é transferido da atmosfera para a fase líquida do sistema de tratamento, por meio de aeradores ou sopradores mecânicos que utilizam motores elétricos.

Os sistemas biológicos de tratamento de efluentes têm por objetivo acelerar as reações bioquímicas que ocorrem espontaneamente na natureza, de forma que haja a degradação de substâncias poluentes pela atividade dos microrganismos. Esses sistemas de tratamento podem ser classificados em: i) tratamento aeróbio, pois o oxigênio é fundamental para os microrganismos envolvidos nas reações, convertendo o carbono orgânico principalmente em CO<sub>2</sub> e biomassa; e ii) tratamento anaeróbio, pois os microrganismos que degradam a matéria orgânica na ausência de oxigênio, em ambiente redutor. O carbono é convertido basicamente em CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e biomassa (NAKANO, 2012).

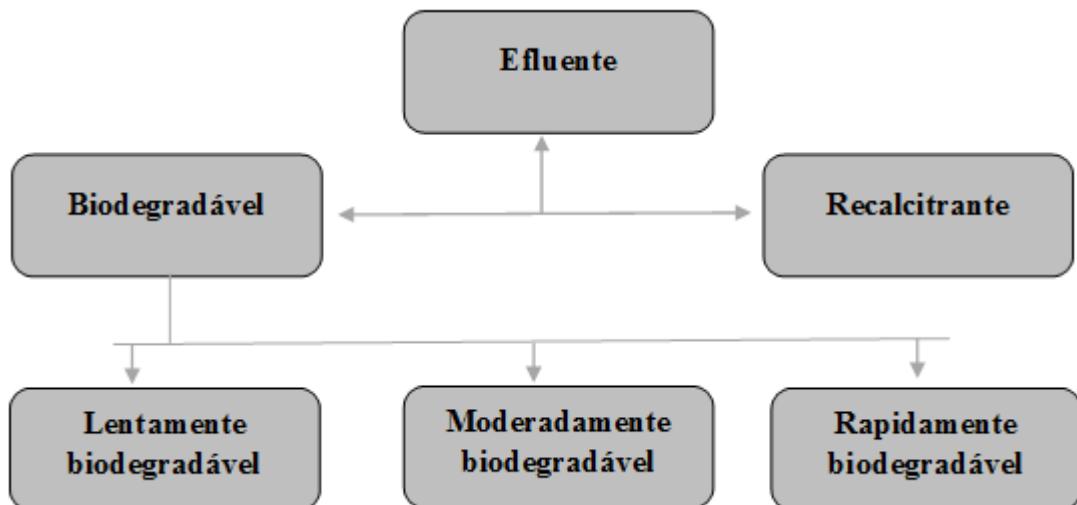
No interior do sistema, o meio aeróbio é garantido pelo fornecimento de oxigênio oriundo da fotossíntese ou por aeração mecânica, expondo o líquido ao ar, na forma de gotículas, que servem também para manter o licor misto em regime de mistura completa. Segundo Pereira e Freitas (2012), é através da utilização de microrganismos na forma de lodo ativo, em um reator biológico aeróbio com aeração, que ocorrem as reações que conduzem à metabolização do material orgânico. As reações bioquímicas que ocorrem no sistema dizem respeito à utilização do substrato pelos microrganismos, uma parcela do material orgânico de efluente é utilizado pelas bactérias aeróbias e facultativas para obtenção de energia para síntese de matéria orgânica para formação de novas células (GOMES, 2006).

### 3.3.3 Biodegradabilidade Aeróbia

Biodegradabilidade é o processo natural de decomposição dos materiais orgânicos pela atividade microbólica, podendo ser classificada de acordo com a facilidade de degradação dos compostos em: rapidamente, moderadamente ou lentamente biodegradáveis. Os compostos rapidamente biodegradáveis estão geralmente na forma solúvel, consistindo em moléculas relativamente simples que podem ser usadas diretamente pelas bactérias heterotróficas. Compostos moderadamente e lentamente biodegradáveis estão, comumente, na forma particulada, embora possa haver matéria orgânica solúvel de degradação mais lenta, composta por moléculas mais complexas que também sofrem hidrólise. Os compostos recalcitrantes são aqueles que resistem à biodegradação e tendem a persistir e acumular no ambiente. Tais materiais não são necessariamente tóxicos à comunidade microbólica, mas simplesmente são resistentes ao ataque microbólico (MORAVIA, 2010).

Na Figura 2 é exposto um esquema que explana a classificação da biodegradabilidade de um efluente.

Figura 2: Classificação da biodegradabilidade de um efluente.



Fonte: MORAVIA (2010)

Ainda assim, existem outros fatores para que a biodegradabilidade do efluente seja afetada. Os fatores mais importantes são: condições físico-químicas do meio, concentração de oxigênio, quantidade de microrganismos, temperatura, pH, dentre outros (PAINTER, 1995)

De acordo com Meyer (1978), muitos organismos, como bactérias e fungos, podem ser utilizados para degradação biológica aeróbia e anaeróbia. Para se obter um sistema de

tratamento biológico eficiente, é preciso compreender o metabolismo dos microrganismos presentes.

A eficiência vai depender da estrutura da molécula e dos mecanismos de atuação da enzima em degradar o produto (MEYER, 1978). Dentre as características no processo, dois termos destacam-se: a fração orgânica dos sólidos e os sólidos em suspensão voláteis (SSV).

Primeiramente, encontra-se a fração orgânica dos sólidos. Segundo Ávila (2005), esta fração é formada por proteínas, carboidratos e gorduras. Apresenta-se como ótima fonte de alimento para as bactérias.

A concentração de sólidos orgânicos e sólidos inorgânicos é comumente expressa em termos de sólidos suspensos totais (SST). Os sólidos totais na água residuária podem ser definidos como a matéria sólida que permanece como resíduo após a evaporação a 103 °C. Segundo Von Sperling (2002) o termo SSV representa a fração orgânica da biomassa, e este é frequentemente utilizado para expressar a concentração de microrganismos no meio.

Enquanto o resíduo é calcinado a 550 °C, as substâncias orgânicas são volatilizadas (sólidos voláteis) e as minerais transformadas em cinzas, sólidos fixos. Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica, enquanto os sólidos fixos representam a matéria inorgânica (TCHOBANOGLOUS, 2010). Segundo Van Haandel e Marais (1999), em lodos biológicos, SSV representa, geralmente, 80% da concentração de SST.

Para Sant'Anna (2010), os indicadores mais utilizados para caracterizar efluente são a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que expressa a quantidade de oxigênio requerida pelos agentes microbianos para oxidar os compostos presentes no esgoto, e a demanda química de oxigênio (DQO) que expressa a quantidade de oxigênio essencial à oxidação química dos poluentes existentes nas amostras.

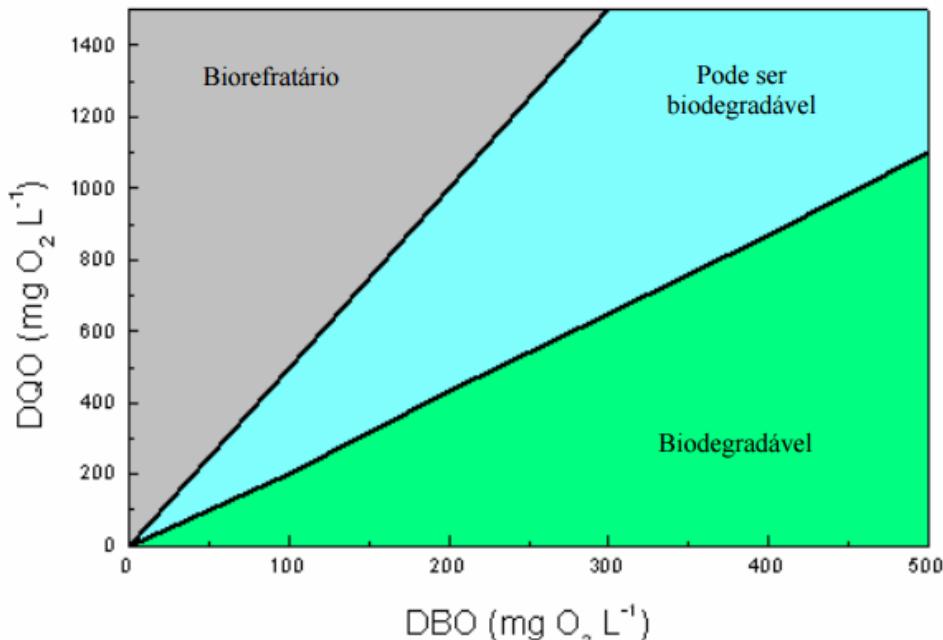
O autor explica que a DQO indica tanto substâncias biodegradáveis como substâncias não biodegradáveis presentes no efluente. A DQO é um parâmetro bastante conhecido devido à facilidade de determinação e, utiliza-se em geral a DBO ou DQO como representantes das fontes de carbono disponíveis no meio reacional.

A tratabilidade biológica de um dado efluente é avaliada pela DBO e a recalcitrância desta mesma carga orgânica pela DQO. Desta maneira, a relação DQO/DBO indica qual tipo de oxidação será satisfatória na destruição da carga orgânica existente. Quanto maior for a relação DQO/DBO de um efluente mais características não biodegradáveis estará presente (JARDIM E CANELA, 2004) (Figura 3).

Para um determinado efluente ser facilmente biodegradável, a relação DQO/DBO tem que apresentar valor menor que 2,5, se a relação estiver entre 2,5 e 5,0 o mesmo precisa de

cuidados na escolha correta de tratamento biológico para a remoção desejável de carga orgânica, no caso da relação DQO/DBO maior que 5, a probabilidade de o tratamento biológico ter sucesso é bem menor (JARDIM E CANELA, 2004)

Figura 3: Valores de DQO e DBO indicativos de tratabilidade de um efluente



Autor: Jardim e Canela, 2004

Do ponto de vista ambiental, os setores têxtil, papelaria, celulose e laticínios têm se destacado por atividades consideravelmente poluidoras. Esses efluentes caracterizam-se tanto pelo grande volume gerado quanto pela DQO elevada e presença de diversas substâncias químicas orgânicas e inorgânicas (OLIVEIRA E LEÃO, 2009). Para Von Sperling (2005) características típicas de esgoto sanitário em relação à matéria orgânica em termos de DQO apresenta valores de 450 a 800 mg/L. Comparando a DQO desses efluentes industriais com a DQO do efluente da produção anaeróbia de ácido caproico, pode-se concluir que este tem DQO alta é potencialmente bastante poluidor.

Os valores de DQO de alguns efluentes industriais, estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Determinação de DQO em efluentes industriais.

<b>Autores (Ano)</b>	<b>Tipos de efluentes</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
Beltrame, 2000	Indústria têxtil	1700
Beal <i>et al</i> , 2006	Indústria de papel	24950
Guimarães <i>et al</i> , 2010	Indústria de celulose	10000
Brum, 2009	Indústria de laticínios	2000

Fonte: autor

### **3.3.4 Potencial microbiano para tratamento de efluentes**

A variedade microbiana é fundamental para o tratamento biológico. Os efluentes contêm muitas substâncias (poluentes) em diferentes níveis de concentração. A biodegradabilidade dessas substâncias se fará de modo mais rápido e eficiente se, na comunidade microbiana existirem diferentes linhagens com afinidades diferenciadas por essas substâncias (SANT'ANNA, 2013)

De acordo ainda com o mesmo autor, as interações que se observam, mais marcadamente nos sistemas de tratamento de efluentes, são descritas no quadro 1.

Quadro 1: Interações que ocorrem nos ecossistemas microbianos nos sistemas de tratamento de efluentes.

INTERAÇÕES	CONCEITO	TRATAMENTO DE EFLUENTES
<i>Simbiose</i>	Associação entre duas espécies, que pode ser benéfica para ambas ( <i>mutualismo</i> ) ou benéfica para uma e sem efeito para a outra ( <i>comensalismo</i> )	Interação entre as bactérias dos gêneros <i>Nitrosomonas</i> e <i>Nitrobacter</i> no processo de nitrificação (exemplo de comensalismo). Neste caso, o segundo grupo bacteriano seria beneficiado pela atuação do primeiro, que transforma nitrogênio amoniacial em nitrito, substrato preferencial do segundo grupo. Exemplo de mutualismo pode ser encontrado nas lagoas aeróbias, onde as bactérias aeróbias fornecem nutrientes para as algas, recebendo em troca, oxigênio para a sua atividade metabólica.
<i>Parasitismo</i>	Quando um organismo vive no interior ou em conjunto com outro, denominado hospedeiro, beneficiando apenas uma das espécies.	
<i>Neutralismo</i>	Quando a presença de uma espécie não afeta a outra	Relação que ocorre nos processos aeróbios de tratamento de efluentes, nos quais a presença de bactérias do gênero <i>Nitrosomonas</i> não afeta o amplo grupo de bactérias heterotróficas, população majoritária do processo, e vice-versa.

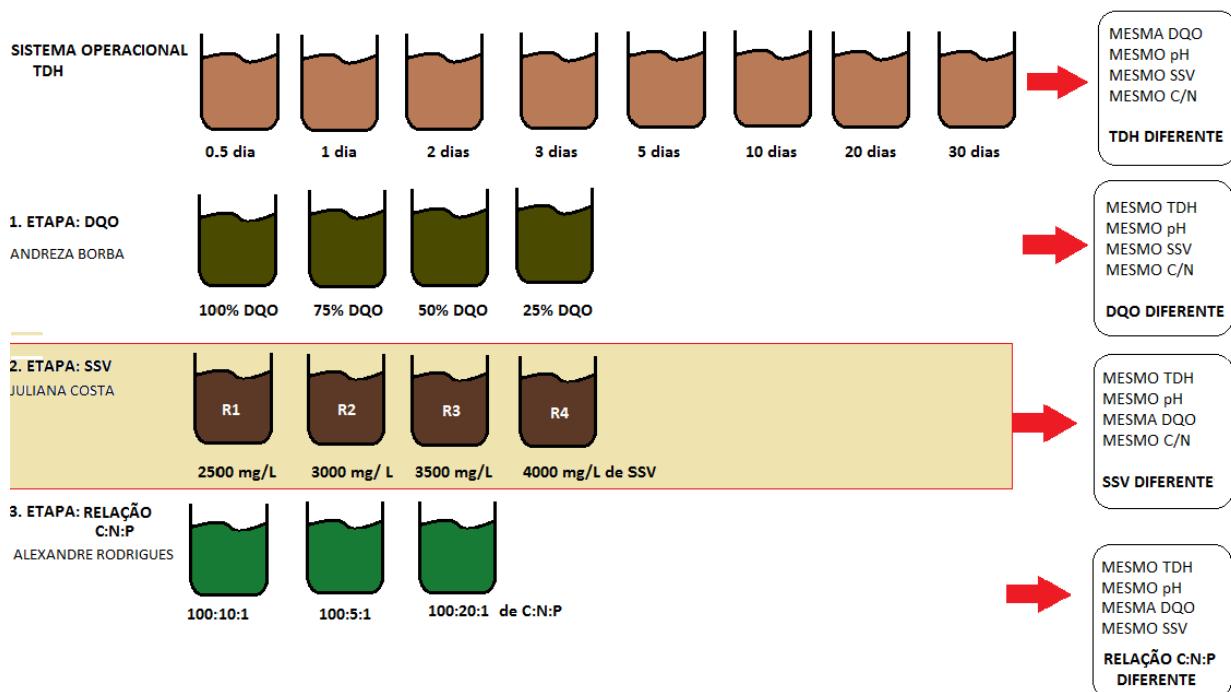
<i>Predação</i>	Consumo inteiro ou parcial de um organismo vivo.	Interação muito comum nos sistemas de tratamento aeróbio, principalmente no processo de lodos ativados. Neste caso uma espécie se nutre de outra. Protozoários e metazoários desempenham esse papel nos processos aeróbios de tratamento.
<i>Sintrofia</i>	Duas ou mais espécies cooperam para operar uma transformação que nenhuma delas, isoladamente, poderia realizar.	Relações desse tipo estão presentes no sistema de tratamento anaeróbio, em especial entre espécies hidrogenotróficas (árqueas metanogênicas e bactérias homoacetogênicas) e acetogênicas.

Fonte: Adaptado de Sant'Anna 2013.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma etapa de uma pesquisa maior sobre biodegradabilidade aeróbia dos efluentes gerados a partir da produção anaeróbia de ácido caproico. Assim, a pesquisa foi dividida em determinação do TDH e três etapas (Figura 4). As etapas realizadas nesse trabalho foram, determinação de TDH e montagem do sistema SSV.

Figura 4: Esquema de montagem dos sistemas e suas etapas: TDH, DQO, SSV e relação C:N:P.



Fonte: autor

### 4.1 Local de estudo

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água (EQUAL), localizado no Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza - Ceará.

### 4.2 Água residuária

O efluente foi oriundo da produção de ácido caproico a partir da fermentação

anaeróbia de etanol e ácido acético, em reator UASB montado e operado no Laboratório de Tecnologia da Biomassa (LTB) da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada no estado do Ceará.

As amostras foram armazenadas em recipientes de plástico de dois litros e mantidas sob refrigeração até o momento das determinações.

#### **4.3 Inóculo**

Os microrganismos utilizados para o tratamento do efluente foram retirados do lodo proveniente do reator UASB que tratava efluente de cervejaria e de reator aeróbio que tratava glicerol residual (Figura 5). Para cada experimento realizado, foram determinados Sólidos Suspensos Fixos (SSF) e voláteis (SSV) para observação do crescimento dos microrganismos presentes nos lodos.

Figura 5: À esquerda, o lodo proveniente do sistema de lodos ativados que tratava efluente de cervejaria e, à direita, de um filtro submerso, que tratava glicerol residual.



Fonte: autor

#### **4.4 Alimentação**

Os lodos foram alimentados diariamente com solução de glicose (1 g/L), como fonte de carbono, e 1 mL de solução de nutrientes conforme Kim e Pagilla (2003), Diez *et al.* (2005)

e Samocha *et al.* (2007-Tabela 1).

O pH foi ajustado diariamente para 7,0 com hidróxido de sódio 6 N e ácido clorídrico 6 N a fim de manter condições ótimas de atividade microbiana.

Tabela 2: Composição da solução de nutrientes usada na alimentação dos microrganismos.

Nutrientes	Fórmula Molecular	Quantidade (g)
Cloreto de Amônio	NH <sub>4</sub> Cl	121,445
Fosfato de Potássio Dibásico	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	29,063
Extrato de Levedura	-	7,353
Sulfato de Magnésio	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	25,208
Cloreto de Ferro	FeCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	16,194
Cloreto de Alumínio Hexa-Hidratado	AlCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	3,962
Cloreto de Zinco	ZnCl <sub>2</sub>	0,237
Cloreto de Níquel	NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,460
Cloreto de Cobalto	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	8,949
Molibdato de Amônio P.A	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	8,392
Tetra Cloreto de Manganês	MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	4,095
Dihidrato de Cloreto de Cobre	CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,183
Ácido Bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,649
Sulfato de Sódio	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,757
EDTA	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	2,273
Cloreto de Cálcio	CaCl <sub>2</sub>	69,063
Fostato de Potássio Dibásico	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	14,532
Extrato de Levedura	-	3,676

Fonte: autor

#### 4.5 Aclimatação do lodo

Períodos de aclimatação do lodo são fundamentais para o desenvolvimento de uma comunidade biológica adaptada às condições do resíduo a ser tratado. Este processo tem por objetivo acelerar e melhorar o desempenho dos processos de tratamento biológico.

Inicialmente, foi determinada a DQO do efluente da produção anaeróbia de ácido caproico, para fins práticos de cálculos e diluições quanto à alimentação dos microrganismos. A DQO foi aproximadamente 10,42 g/L.

Em um béquer foram misturados 500 mL de lodo de cervejaria e 500 mL de lodo que tratava glicerol residual, gerando um litro de lodo para aclimatar. Essa mistura foi aerada continuamente com aerador de aquário e alimentada diariamente com um mL/L de solução de nutriente e também com glicose e efluente (Tabela 2). O procedimento foi acompanhado por cinco dias, e determinou-se pH e SSV.

Tabela 3: Alimentação diária do lodo aclimatado com efluente, glicose e nutrientes.

Dias	(%)	Efluente (g/L)	(%)	Glicose (g/L)	Nutrientes (ml/l)
1	10	1,042	90	0,90	1
2	25	2,605	75	0,75	1
3	50	5,210	50	0,50	1
4	75	7,815	25	0,25	1
5	100	10,42	0	0	1

Fonte: autor

#### 4.6 Caracterização físico-química do efluente da produção de ácido caproíco

O efluente foi caracterizado determinando-se: Demanda Química de Oxigênio (DQO); Sólidos Suspensos Voláteis (SSV); Amônia ( $\text{NH}_3$ ); Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ); Ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ); Alcalinidade total e pH (Tabela 3).

Tabela 4: Parâmetros utilizados para caracterização do efluente da geração anaeróbia de ácido caproico

Parâmetro	Método	Referência
DQO	Refluxo fechado	5220 D, Eaton <i>et al.</i> (2012)
$\text{NO}_3^-$	Salicilato	Rodier (1975)
$\text{NH}_3$	Destilação	4500-NH <sub>3</sub> B, Eaton <i>et al.</i> (2012)
$\text{PO}_4^{3-}$	Ácido ascórbico	4500-P E, Eaton <i>et al.</i> (2012)
pH	Potenciométrico	4500-H <sup>+</sup> B, Eaton <i>et al.</i> (2012)
Alcalinidade Total	Titulométrico	2320-B, Eaton <i>et al.</i> (2012)
SSV	Gravimetria	2540 D; E, Eaton <i>et al.</i> (2012)

Fonte: autor.

#### 4.7 Montagem e operação do sistema

Inicialmente montou-se um sistema composto por 16 reatores em batelada para verificar qual seria o melhor TDH, exposto na figura 4. Este sistema foi montado em duplicata, com garrafas de um litro e aeradores de aquário para fornecimento de oxigênio para os microrganismos (Figura 6).

Figura 6: Sistema operacional, em batelada, utilizado para determinação de TDH.



Fonte: autor

De acordo com Von Spearling (2002), a relação entre alimento e microrganismos (A/M) baseia-se no conceito de que a quantidade de alimento ou substrato disponível por unidade de massa de microrganismos está relacionada com a eficiência do sistema. A relação A/M é determinada pela relação DQO/SSV e deve ser igual a 0,5 para estações de tratamento por lodos ativados em fluxo contínuo. Neste estudo, para a determinação de condições ideais para cada reator, fez-se necessário uma adaptação da relação A/M para operar em sistema de batelada. Foram realizados testes e a fórmula foi adaptada para  $DQO/SSV = 3,8$ , além disso, em todos os reatores foram mantidas as mesmas condições de DQO, SSV, relação C/N. Os reatores foram desmontados (em duplicata), em tempos de 0,5; 01; 02; 03; 05; 10; 20 e 30 d. A cada desmonte foram determinados, de acordo com Eaton *et al.* (2005): DQO; SSV; NH<sub>3</sub>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; Alcalinidade e pH.

O melhor tempo de detenção hidráulica para remoção da matéria orgânica foi o de cinco dias e este foi o TDH usado nesta pesquisa.

#### 4.8 Sólidos Suspensos Voláteis

Para avaliar a influência da concentração de microrganismos na biodegradabilidade aeróbia do efluente da produção anaeróbia de ácido caproico foram montados reatores em batelada com diferentes concentrações de SSV. Segundo Von Sperling (2002), para realizar a

montagem de projeto com reator biológico e com aeração prolongada, a concentração indicada de SSV varia de 2500 a 4000 mg/L, concentrações que foram utilizadas neste trabalho.

O sistema em batelada representado na figura 7, montado em duplicata, era constituído por oito garrafas de um litro como reatores e aeradores. Em todos os reatores foram mantidas as mesmas condições de DQO (10800 mg/L) e relação C/N e variou-se a concentração de SSV.

O volume útil de cada reator era de 400 mL, e cada reator recebeu uma concentração diferente de SSV (mg/L): 2500 (R1), 3000 (R2), 3500 (R3), 4000 (R4) e de solução de nutrientes (0,4 mL/L).

Após cinco dias os reatores foram desmontados e foram determinados, de acordo com Eaton *et al.* (2005): DQO; SSV; NH<sub>3</sub>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; Alcalinidade Total e pH.

Figura 7: Reatores aeróbios, em batelada, utilizado para biodegradabilidade do efluente.



Fonte: autor

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização do efluente

A fim de conhecer as características do efluente da produção de ácido caproico, foram determinados parâmetros físico-químico. Na tabela 5 é apresentado um resumo dos valores obtidos na caracterização do efluente.

Tabela 5: Caracterização físico-química do efluente.

Variáveis	Valores
DQO (mg/L)	10420
SSV (mg/L)	219
NH <sub>3</sub> (mg/L)	≤ 5*
Alcalinidade Total (mg/L)	-**
pH	3,6
NO <sub>3-</sub> (mg/L)	380
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	129

Fonte: Autor

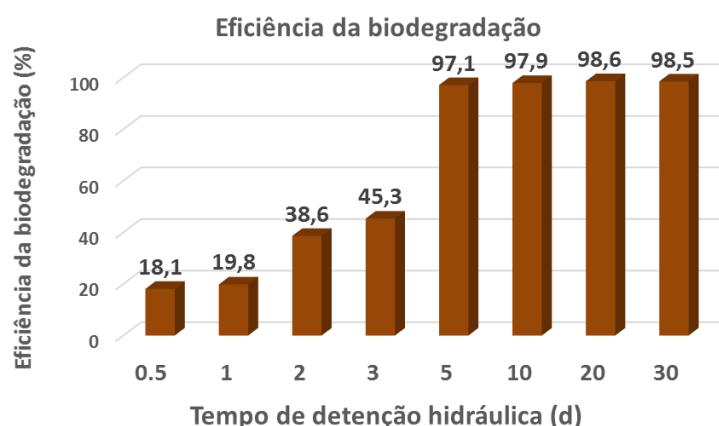
\*Limite inferior de detecção do método

\*\*Não existe alcalinidade em amostras com o pH abaixo de 4,5

### 5.2. Tempo de detenção hidráulica (TDH)

No gráfico 1 estão apresentadas as eficiências de remoção de matéria orgânica nos diversos TDH testados.

Gráfico 1: Eficiência de remoção de matéria orgânica do efluente da geração anaeróbia de ácido caproico em vários TDH.



Fonte: autor

Observa-se, que nos valores médios encontrados a partir do TDH igual a cinco dias, a eficiência de remoção de matéria orgânica variou muito pouco e, como é desejável redução de custos, escolheu-se como TDH ótimo, cinco dias.

### 5.3. Qualidade do efluente pós-tratado sob influência de sólidos suspensos voláteis

Conforme a tabela 6, podemos verificar os resultados das variáveis do efluente inicial e das médias das variáveis pós-tratamento para todos os reatores em duplicata, (R1; R2; R3; R4).

Tabela 6: Composição físico-química do efluente e do pós-tratamento da produção anaeróbia de ácido caproico.

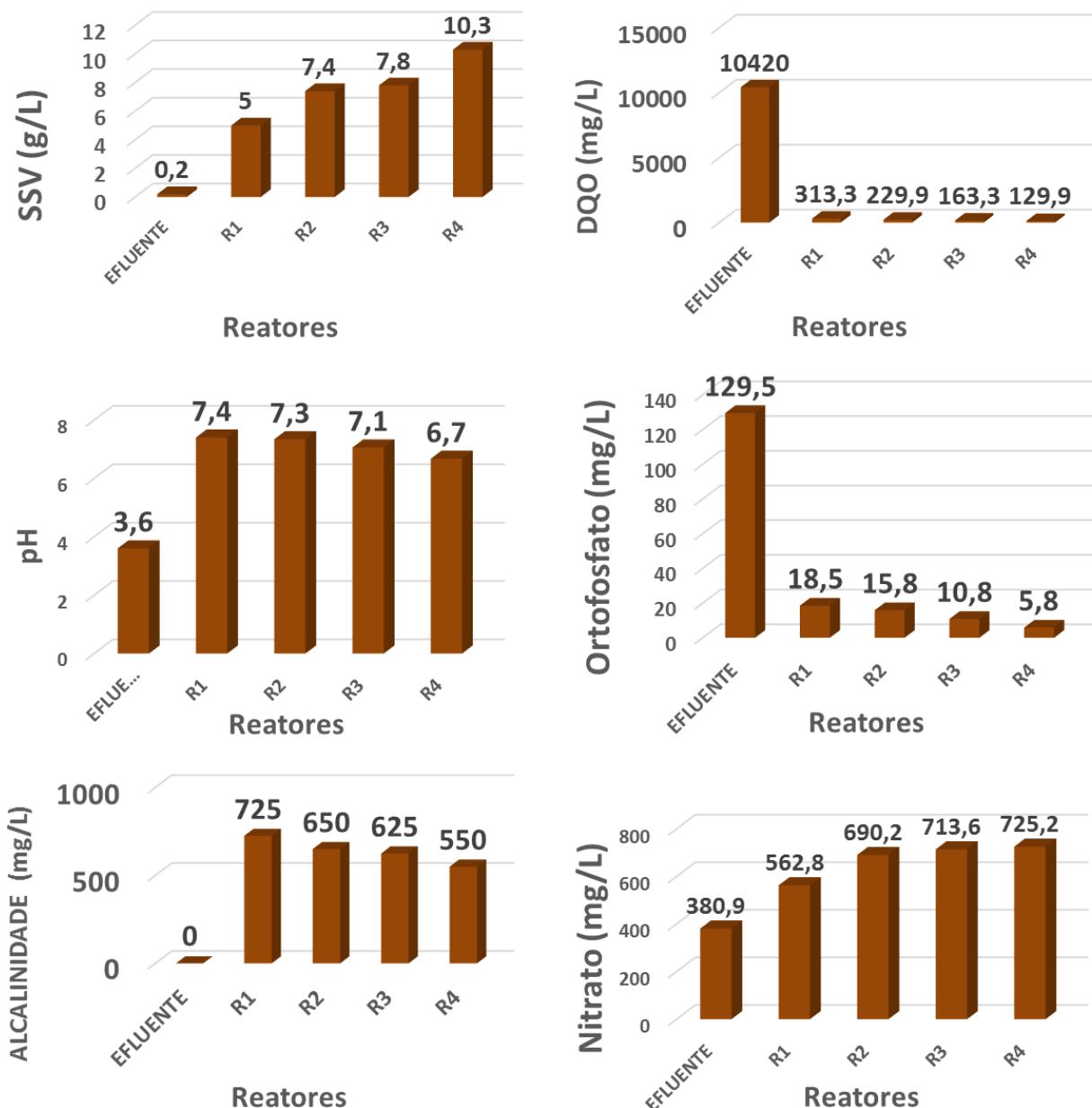
Variáveis	Média/ Efluente inicial	R1	R2	R3	R4
		Duplicata	Duplicata	Duplicata	Duplicata
		Média	Média	Média	Média
DQO (mg/L)	10,420	313,3	213,3	146,6	113,3
		313,3	246,6	180	146,6
		<b>313,3</b>	<b>229,9</b>	<b>163,3</b>	<b>129,9</b>
SSV (g/L)	0,2	4,9	7,5	7,6	10,3
		5,1	7,4	8,1	10,3
		<b>5</b>	<b>7,4</b>	<b>7,8</b>	<b>10,3</b>
pH	3,6	7,3	7,3	7,3	6,7
		7,5	7,3	6,8	6,8
		<b>7,4</b>	<b>7,3</b>	<b>7,1</b>	<b>6,7</b>
Alcalinidade Total (mg/L)	*	700	650	650	550
		750	650	600	550
		<b>725</b>	<b>650</b>	<b>625</b>	<b>550</b>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	129,5	18	14,9	10,3	6,5
		18,8	16,5	11,1	4,9
		<b>18,5</b>	<b>15,8</b>	<b>10,8</b>	<b>5,8</b>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	380,8	567	685,9	715,7	724,8
		558,5	694,4	711,4	726,3
		<b>562,8</b>	<b>690,2</b>	<b>713,6</b>	<b>725,2</b>

Fonte: autor

\* Não existe alcalinidade em amostras com o pH abaixo de 4,5.

Na figura 8 estão apresentados valores de SSV, pH, alcalinidade, DQO, ortofosfato e nitrato para os reatores.

Figura 8: Influência de SSV nas variáveis dos reatores montados para tratamento aeróbio do efluente da produção anaeróbia de ácido caproico.



Fonte: autor

Nos reatores, as concentrações de SSV, representadas na figura 8, praticamente duplicaram, independentemente das concentrações iniciais, o que se deve, às condições favoráveis de disponibilidade de nutrientes e material orgânico biodegradável.

Pode-se observar na figura 8 que houve aumento da alcalinidade total (AT) nos reatores o que permitiu que o pH aumentasse para valores na faixa ótima de degradação biológica aeróbia, valores entre 7,6 e 8,6 (IAMAMOTO, 2006).

O pH do efluente a ser tratado por processos biológicos, deve ser controlado, para que a atividade dos microrganismos se mantenha em um nível ótimo (SANTAELLA *et al.*, 2009).

Altos valores de alcalinidade nos corpos hídricos estão relacionados aos processos de decomposição da matéria orgânica, à atividade respiratória dos microrganismos e ao lançamento de efluentes industriais (LIBÂNIO, 2005). A alcalinidade pode ser devida a bicarbonatos, carbonatos ou hidróxidos, e representa a capacidade do meio em resistir a possíveis oscilações do pH. De acordo com Moravia (2010), existe uma grande relação entre o pH, alcalinidade e teor de ácidos voláteis, que determina o sistema ácido/base, devendo esta relação ser mantida dentro de certos limites, para que um equilíbrio químico satisfatório entre os microrganismos atuantes na degradação biológica seja alcançado e preservado.

O carbonato de cálcio, que confere a alcalinidade ao meio, é importante em vários processos de tratamento de águas residuais, influenciando no melhoramento de condições para as atividades microbianas e na diversidade da comunidade microbiana (ZHMIÃO, 2017).

Através do controle de pH no meio, foi possível o estabelecimento de microrganismos com efeito direto na remoção de DQO e  $\text{PO}_4^{3-}$  para o tratamento do efluente.

A concentração de sólidos suspensos no sistema de tratamento é uma medida para determinar a concentração de microrganismos existentes no processo. Teoricamente, quanto mais sólidos em suspensão no sistema, maior é a eficiência do processo, favorecendo maior DQO e nutrientes disponível (SIDAT *et al.*, 1999; WANG *et al.*, 2008). Segundo Quege (2011) a DQO é uma medida indireta da quantidade de compostos oxidáveis contidos no resíduo líquido e retrata a quantidade de oxigênio dissolvido necessário à oxidação química.

A DQO é uma determinação fundamental para indicar o grau de poluição em efluentes e águas subterrâneas. É considerada uma das análises mais importantes e essencial no controle de cargas orgânicas (BRAGA, 2012). A determinação de DQO é importante quando se deseja saber se compostos orgânicos dissolvidos estão sendo removidos pelo sistema de tratamento (KATO *et al.*, 1997; SANTAELLA *et al.*, 2009). A determinação de DQO foi realizada nos

reatores, obtendo-se remoção média de 97%. Isso demonstra a excelente biodegradabilidade do efluente por processo biológico.

Neste trabalho, a maior concentração de microrganismos no reator, foi diretamente proporcional à maior remoção de ortofosfatos. Segundo Wang *et al.* (2008), algumas bactérias heterotróficas presentes na biomassa acumulam, no interior da célula, fosfato solubilizado na forma de polifosfatos, promovendo condições ótimas para seu crescimento e metabolismo e removendo biologicamente ortofosfato do meio.

Reducir concentrações de fósforo para níveis mais baixos é fundamental no processo de tratamento de esgoto, pois busca-se reduzir o impacto eutrofizante dos despejos de efluentes nos corpos hídricos. A remoção de fósforo durante o tratamento é, portanto, mais efetiva na atenuação da eutrofização (HENRIQUE *et al.*, 2010).

O lançamento no meio ambiente de efluentes com elevada concentração de nitrogênio sem prévia remoção, pode acarretar prejuízos para os seres vivos. Os nitratos no trato gastrointestinal causam metahemoglobina ou síndrome do bebê azul. Nos corpos receptores as altas concentrações de nitrogênio causam a eutrofização, ou seja, estimulam o crescimento de plantas aquáticas. Além disso, as algas acarretam problemas nas estações de tratamento de águas (EPA, 1975; OLIVEIRA, 2012)

Constatou-se que o aumento na concentração de  $\text{NO}_3^-$  nos reatores era proporcional a quantidade de microrganismos. Esse aumento provavelmente pode ser atribuído as condições ambientais de pH, alcalinidade, alimentação e as condições operacionais como aeração prolongada, que provavelmente favoreceram os processos metabólicos dos microrganismos dentro dos reatores (OLIVEIRA, 2012).

Em geral a remoção de matéria orgânica (DQO) nos reatores (R1; R2; R3; R4) não foram influenciados pelas diferentes concentrações de SSV, a diferença da eficiência foi pequena, todos os reatores tiveram eficiência de DQO em média de 97% e para  $\text{PO}_4^{3-}$  houve uma variação em média de 81% a 95%.

Porém para atender a legislação vigente estadual COEMA de 02/2017, é permitido serem lançados no corpo hídrico concentração de DQO de até 200 mg/L, dessa forma R3 e R4 atendem essa medida com concentração de remoção de DQO em média, 163,3 e 129,9 mg/L respectivamente.

Em termos econômicos de montagem de sistemas de tratamento de efluentes, já que em todos os reatores tiveram em média a mesma eficiência de remoção de DQO, o sistema recomendado nesse trabalho é o R1, por apresentar concentrações menores de  $\text{NO}_3^-$ .

## 6. CONCLUSÕES

Com base neste trabalho, pode-se concluir que:

- O efluente da produção de ácido caproico não tratado, apresenta elevada concentração de DQO,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e baixo pH e alcalinidade Total.
- Com TDH de cinco dias, meio aeróbio e com as concentrações de SSV testadas, remove-se DQO e ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) de efluente da geração anaeróbia de ácido caproico.
- Nos reatores, as concentrações de SSV praticamente duplicaram, o que se deve, às condições favoráveis de disponibilidade de nutrientes e material orgânico biodegradável.
- Em termos absolutos, a melhor concentração de SSV para melhor remoção de DQO e ortofosfato foi a de 4000 mg/L, mas a de 2500 mg/L pode ser considerada adequada porque o aumento na eficiência de R1 para R4 é muito pequeno e em R1 foi registrada a menor produção de  $\text{NO}_3^-$ .

## REFERÊNCIAS

- AGLER, M. T. *et al.* **Waste to bioproduct conversion with undefined mixed cultures: the carboxylate platform.** Trends in biotechnology, v. 29, n. 2, p. 70–8, 2011.
- AGLER, M. T. *et al.* **Environmental Science Chain elongation with reactor microbiomes : upgrading dilute ethanol to .** Energy & Environmental Science, v. 5, n. 1, p. 8189–8192, 2012.
- ANGENENT, L. T. *et al.* **Chain elongation with reactor microbiomes : open-culture biotechnology to produce biochemicals.** Environmental Science & tecnology, 2016. DOI: 10.1021/acs.est.5b04847 • Publication Date (Web): 08 Feb 2016. Downloaded from <http://pubs.acs.org> on February 19, 2016
- ÁVILA. O. R. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- BEAL, L. L. *et al.* Otimização de uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de embalagens de papel. **Eng. Sanit. Ambient. vol.11 no.3 Rio de Janeiro July/Sept. 2006**
- BELTRAME, C. T. L. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000.
- BARATA, M. M. L. *et al.* **A gestão ambiental no setor público: uma questão de relevância social e econômica.** Ciência & Saúde Coletiva, 12(1):165-170, 2007.
- BRUM, W. F. L. **Reaproveitamento de Água de Processo e Resíduos da Indústria de Laticínios.** International Workshop | Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2009.
- GUIMARÃES, J. R. *et al.* **Ozonização em meio básico para redução de cor do licor negro de indústria de celulose de algodão.** Eng Sanit Ambient, v.15, n.1, pag 93-98, jan/mar 2010.
- BENVENUTI, J. **Estudo de caso de avaliação da eficiência do tratamento biológico de lodos ativados.** Porto Alegre, 2013.
- BRASIL. – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 430/2011** . Disponível em:><http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2017.
- CEARÁ. – **Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA).** Portaria nº 2, de fevereiro de 2017. Disponível em:>[http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo\\_legislacao.asp?cd=95](http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95)>. Acesso 19 de mai de 2017.
- CLARO. F. A. **Estudo de complexos de Ni (II) com os ligantes dedecantiol e ácido**

**hexaníco.** Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC, 2005.

COSTA, F. C. *et al.* **Avaliação do processo de lodos ativados para o tratamento de efluentes industrial com alta salinidade.** VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002.

DUDA, R.M. E OLIVEIRA, R.A. **Tratamento anaeróbio - aeróbio de águas residuárias de suinocultura.** Eng Sanit Ambient | v.16 n.1 | jan/mar 2011 | 91-100

EATON, A. D. *et al.*, **Standard methods for the examination of water & wastewater.** 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.

GIL, A. S. L. **Caracterização do efluente de ete de abatedouro visando o reuso.** Universidade de Passo Fundo, 2010.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais.** 2004. 81 p. Apostila (Efluentes Industriais). Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ. Disponível em: Acesso em: 10 maio. 2017.

GOMES. R.M. **Determinação dos coeficientes cinéticos e avaliação da eficiência de um sistema de lodos ativados no tratamento de efluentes de curtume.** Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2006.

HENRIQUE, I. N. *et al.*, **Remoção biológica de fósforo em reatores em bateladas sequenciais com diferentes tempos de retenção de sólidos.** Eng Sanit Ambient, v.15, n.2, abr/jun, pag 197-204, 2010.

IAMAMOTO, C. Y. **Remoção de águas residuárias com elevada concentração de nitrogênio amoniacal em reator contendo bioamassa em suspensão operado em batelada sequenciais e sob aeração intermitente.** 2006. Tese (doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

JORDÃO, Eduardo Pacheco, PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6<sup>a</sup> Edição, 1050 p. Rio de Janeiro, 2011.

KENEALY, R. W.; CAO, Y.; WEIMER, J. . **Production of caproic acid by cocultures of ruminal cellulolytic bacteria and Clostridium kluyveri grown on cellulose and ethanol.** Appl Microbiol Biotechnol, p. 507–513, 1995.

KOSER, M. **Avaliação do desempenho do tratamento de efluente sanitário utilizando sistema de lodos ativados de fluxo contínuo e aeração intermitente.** Dissertação de mestrado. Universidade da Região de Joinville, 2012.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Campinas: Ed. Átomo,

2005.

LUCENA, V. D. **Avaliação do desempenho de lagoas de polimento em fluxo contínuo e semicontínuo no pós – tratamento de efluente de reator UASB.** Campina Grande, 2016.

MENDONÇA, L. C. **Microbiologia e cinética do sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido.** 217 f. 2002. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse.** New York: McGraw-Hill, 2003. 1334 p.

MEYER, U. **Biodegradation of synthetic organic colorants.** In: BROWN, A. W. A. **Ecology of pesticides.** New York: Jhon Willey, 1978.

MORAVIA, W. G. **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas.** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.

NAKANO, F. **Avaliação da eficiência dos processos de tratamento de efluentes de estações de tratamento de esgoto da SABESP de Caraguatatuba/SP, usando reatores com aeradores submersíveis e divisores: relação custo/ benefício.** Escola de engenharia de Lorena – EEL/USP, 2012.

OLIVEIRA, G. C. A. **Bactérias heterotróficas e autotróficas envolvidas na remoção de nitrogênio de lixiviado de aterro sanitário em reator de leito móvel.** Dissertação (mestrado), Universidade Estadual de Londrina, 2012.

PAINTER, H.A. **Detailed review paper on biodegradability testing. OECD Guidelines for the testing of chemicals.** Paris: OECD; 1995.

PEREIRA, A. B. e FREITAS, D. A. F. de. **Uso de microrganismos para a biorremediação de ambientes impactados.** Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. V. 14(6), p. 975-1006, 2012.

PESSÔA, C. A; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos.** 3. Ed, 720p. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

**PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE.**  
Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Kenya, 2010.

QUEGE, K. E. **Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2011.

RODIER, J. **L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux residuls, eaux de mer.** 5. ed. Paris. Dunod, 692 p., 1975.

SANT'ANNA JUNIOR, G. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações.** 2º edição. Rio de Janeiro: Interciênciac, 2013.

SANTAELLA, S.T. *et al.* **Tratamento de efluentes de refinaria de petróleo em reatores com Aspergillus niger.** Eng Sanit Ambient, v.14 n.1, pág 139-148, jan/mar 2009.

SARDINHA, D. S. *et al.* **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP).** Eng. sanit. ambient. Vol.13 - Nº 3 - jul/set 2008.

TCHOBANGLOUS G, BURTON FL, DAVID-STENSEL H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse e in: Metcalf & Eddy.** New York McGraw-Hill Companies, 2003.

WASEWAR, K. L. **Reactive Extraction: An Intensifying Approach for Carboxylic Acid Separation.** International Journal of Chemical Engineering and Applications, 3:249–55, V3.195, 2012.

WASEWAR, K. L.; SHENDE, D. Z. **Equilibrium for the Reactive Extraction of Caproic Acid Using Tri- n -butyl Phosphate in Methyl Isobutyl Ketone and Xylene.** Journal of Chemical & Engineering Data, p. 3318–3322, 2011.

VAN HAANDEL, A; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado.** Campina Grande. UFPB, 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados,** v.04. Minas Gerais, 428 p., 2002.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005, 452.

ZHIMIÃO, Z. *et al.* **Effects of iron and calcium carbonate on the variation and cycling of carbon source in integrated wastewater treatments.** Bioresource technology, v. 225, p. 262-271, 2017.

