

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JULIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

CÂMPUS DE ARARAQUARA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOMATERIAIS E

BIOPROCESSOS

MESTRADO PROFISSIONAL

**COMPARAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA CÍTRICA
USANDO LODOS ATIVADOS COM OUTROS MÉTODOS DE TRATAMENTOS EM
PLANTAS INDUSTRIAIS**

ANA CAROLINA PEREIRA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Guilherme Peixoto

ARARAQUARA-SP

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JULIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

CÂMPUS DE ARARAQUARA

**COMPARAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA CÍTRICA
USANDO LODOS ATIVADOS COM OUTROS MÉTODOS DE TRATAMENTOS EM
PLANTAS INDUSTRIAIS**

ANA CAROLINA PEREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

Orientador: Prof. Dr Guilherme Peixoto

ARARAQUARA - SP

2021

P436c Pereira, Ana Carolina.
Comparação do tratamento de efluente de uma indústria cítrica usando lodos ativados com outros métodos de tratamento sem plantas industriais / Ana Carolina Pereira. – Araraquara: [S.n.], 2021.
62 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos.

Orientador: Guilherme Peixoto.

1. Tratamento de efluentes. 2. Lodo Ativado. 3. Indústria Cítrica. 4. Resíduos Industriais. 5. Lagoa de estabilização. 6. Lagoa de Polimento. I. Peixoto, Guilherme, orient. II. Título.

Diretoria do Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara

CAPES: 33004030170P0
Esta ficha não pode ser modificada

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Comparação do tratamento de efluente de uma indústria cítrica usando lodos ativados com outros métodos de tratamentos em plantas industriais

AUTORA: ANA CAROLINA PEREIRA

ORIENTADOR: GUILHERME PEIXOTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA DE BIOMATERIAIS E BIOPROCESSOS, área: Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GUILHERME PEIXOTO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP - Araraquara

Prof. Dr. FERNANDO MASARIN (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP - Araraquara

Prof. Dr. GUSTAVO MOCKAITIS (Participação Virtual)
Faculdade de Engenharia Agrícola / Unicamp

Araraquara, 30 de agosto de 2021

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	09
2. OBJETIVO	11
2.1 Objetivo geral.....	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Indústria Cítrica.....	12
3.2 Água Residuária	13
3.3 Características de efluentes de indústria cítrica	15
3.4 Legislação.....	15
3.5 Lodos Ativados	19
3.6 Lagoas de estabilização.....	23
3.6.1 Lagoa anaeróbia	22
3.6.2 Lagoa facultativa	24
3.6.3 Lagoa de maturação	24
3.7 Principais processos de tratamento de efluente na indústria cítrica	23
3.7.1 Lodos ativados convencional de fluxo contínuo	24
3.7.2 Lodos ativados de aerados de aeração prolongada.....	24
3.7.3 Lodos Ativados fluxo intermitente (batelada).....	25
3.7.4 Sistemas anaeróbios de tratamento.....	26
3.7.4.1 Sistema anaeróbio convencional	27
3.7.4.2 Sistema anaeróbio de alta taxa	28
3.7.5 Flotação S.T.A.R	29
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 Materiais	32
4.2 Métodos	32
4.2.1. Brasil Citrus	34
4.2.1.1 Aspectos Preliminares.....	34
4.2.1.2 Detalhamento do Fluxograma.....	36
4.2.2. Indústrias Cítricas: Levantamento Bibliográfico	41
4.2.2.1 Indústria Cítrica A: Lodo ativado por batelada.....	41
4.2.2.2 Indústria Cítrica B: Processo Eletrolítico.....	42
4.2.3 Parâmetro de entrada.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Caracterização físico-química dos efluentes.....	44
5.1.1 Efluente lagoa de equalização e polimento.....	44
6. CONCLUSÃO.....	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

RESUMO

A cultura de citros está entre os mais populares em regiões tropicais e subtropicais de todo o mundo. Entre os mais variados tipos de frutas cítricas, a laranja doce (*Citrus sinensis*) representa cerca de 70 % da produção e consumo, sendo considerada o principal fruto desse grupo. Além da laranja doce, a tangerina (*Citrus reticulata*), grapefruit (*Citrus vitis*), lima (*Citrus aurantifolia*) e limão (*Citrus limonum*) são largamente cultivados e consumidas. No que diz respeito à produção, o Brasil destaca-se por ser o maior produtor mundial de laranja doce (área plantada de 800 mil hectares) produzindo na safra 2015/2016 aproximadamente de 12.266.520 toneladas das quais, cerca de 90% foram destinadas para produção de suco. Entretanto este consumo acentuado gera uma elevada carga poluidora em termos de sólidos e DBO, necessitando condicionar o efluente aos padrões de emissão via a combinação de tratamento preliminar (gradeamento), tratamento primário (equalização) e tratamento secundário (processo biológico). No caso do tratamento secundário, os lodos ativados vêm sendo utilizados com maior frequência devido a menor influência da variação de carga orgânica e alto índice de remoção de sólidos e DBO (96-99%). Já, as lagoas aeradas, uma variante desse processo, apresentam remoção um pouco inferior, porém com custos de tratamento menores que os de um sistema convencional de lodos ativados. Diante a problemática, objetivo deste estudo é utilizar uma série histórica da operação de um sistema de lodos ativados de pequeno porte para realizar um comparativo com os sistemas de grande porte relatados na literatura.

Palavras-Chaves: Tratamento de efluentes; Lodo Ativado; Indústria Cítrica, Resíduos Industriais, Lagoa de estabilização, Lagoa de Polimento.

ABSTRACT

Citrus cultivation is among the most popular in tropical and subtropical regions around the world. Among the most varied types of citrus fruits, sweet orange (*Citrus sinensis*) represents about 70% of production and consumption, being considered the main fruit of this group. In addition to sweet orange, tangerine (*Citrus reticulata*), grapefruit (*Citrus vitis*), lime (*Citrus aurantifolia*) and lemon (*Citrus limonum*) are widely cultivated and consumed. With regard to production, Brazil stands out for being the world's largest producer of sweet orange (planted area of 800 thousand hectares) producing approximately 12,266,520 tons in the 2015/2016 harvest, of which about 90% were destined for juice production. However, this accentuated consumption generates a high pollutant load in terms of solids and BOD, requiring conditioning the effluent to emission standards via a combination of preliminary treatment (grading), primary treatment (equalization) and secondary treatment (biological process). In the case of secondary treatment, activated sludge has been used more frequently due to the lower influence of organic load variation and high solids and BOD removal rate (96-99%). On the other hand, aerated lagoons, a variant of this process, have a slightly lower removal, but with lower treatment costs than a conventional activated sludge system. Faced with the problem, the objective of this study is to use a historical series of the operation of a small activated sludge system to make a comparison with the large systems reported in the literature.

Key words: Effluent treatment; Activated Sludge; Citrus Industry, Industrial Waste, Stabilization Pond, Polishing Pond.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados.	20
Figura 2. Esquema de um floco de lodo ativado	21
Figura 3. Sistema de tratamento de águas residuárias por meio de lagoas de estabilização anaeróbia, facultativa e de maturação.	22
Figura 4. Esquema do sistema de lodos ativados: Aeração convencional.	24
Figura 5. Esquema do sistema de lodos ativados: Aeração prolongada	25
Figura 6. Esquema do tratamento de esgotos lodos ativados do tipo regime intermitente	26
Figura 7. Classificação dos principais sistemas anaeróbios.	27
Figura 8. Tipos de processo de flotação	29
Figura 9. Unidade de Flotação por Ar Dissolvido (FAD).	30
Figura 10. Metodologia aplicada no presente estudo	33
Figura 11. Fluxograma da E.T.E da Brasil Citrus	35
Figura 12. Caixa de areia	36
Figura 13. Peneiramento	37
Figura 14. Lagoa de Equalização	38
Figura 15. Calha Parshal	38
Figura 16. Lagoa de Aeração	39
Figura 17. Decantador	40
Figura 18. Lagoa de Polimento	41
Figura 19. Resultados da análise de Óleos e Graxas Totais, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, (A) antes do tratamento de efluentes (B) depois do tratamento de efluentes.	45
Figura 20. Resultados da análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus (A) antes do tratamento de efluentes, (B) depois do tratamento de efluentes.	47
Figura 21. Resultados da análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO), do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, (A) antes do tratamento de efluentes, (B) depois do tratamento de efluentes.	48
Figura 22. Resultados da análise de pH, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, (A) antes do tratamento de efluentes, (B) depois do tratamento de efluentes.	51
Figura 23. Resultados da análise de Fósforo Total, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, na lagoa de polimento.	52
Figura 24. Resultados da análise de Sólidos Sedimentáveis, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, na lagoa de polimento.	53
Figura 25. Resultados da análise de Percentual de Remoção, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, na lagoa de polimento.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos efluentes das várias áreas de processamento, dados obtidos por indústrias.	14
Tabela 2. Características dos efluentes das várias áreas de processamento, dados obtidos por literaturas.	15
Tabela 3. Padrões da Resolução CONAMA 357/05 de algumas variáveis para as classes de água doce.	17
Tabela 4. Padrões de lançamento de efluentes (Resolução CONAMA 357/05).17	
Tabela 5. Padrões de lançamento de efluentes (Decreto nº. 8468/1976).	19
Tabela 6. Valores médios de parâmetros de efluentes bruto de indústria cítrica23	
Tabela 7. Parâmetros de entrada das indústrias cítricas A, B e da Indústria Cítrica Brasil Citrus	43

LISTA DE ABREVIATURAS

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

FAD – Flotação por Ar Dissolvido

FUNDECITRUS - Fundo de Defesa da Citricultura

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

1. INTRODUÇÃO

A cultura de citros está entre as mais populares em regiões tropicais e subtropicais de todo o mundo. Entre os mais variados tipos de frutas cítricas, a laranja doce (*Citrus sinensis*) representa cerca de 70 % da produção e consumo, sendo considerada o principal fruto desse grupo. Além da laranja doce, a tangerina (*Citrus reticulata*), grapefruit (*Citrus vitis*), lima (*Citrus aurantifolia*) e limão (*Citrus limonum*) são largamente cultivados e consumidos (SHARMA *et al.*, 2017; ABECUTRUS, 2019).

No que diz respeito à produção, o Brasil destaca-se por ser o maior produtor mundial de laranja doce (área plantada de 800 mil hectares) produzindo na safra 2015/2016 aproximadamente de 12.266.520 toneladas das quais, cerca de 90% foram destinadas para produção de suco (CITRUS BR, 2016).

A safra de laranja 2020/21 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro foi finalizada em 268,63 milhões de caixas de 40,8 kg, de acordo com dados publicados em 12 de abril pelo Fundecitrus - Fundo de Defesa da Citricultura (CITRUS BR, 2021).

Com o intuito de se adequar às regulamentações ambientais, indústrias de diversos setores estão reformulando suas cadeias de produção e apostando em tecnologias de tratamento de efluentes para garantir o equilíbrio entre meio ambiente e desenvolvimento econômico, ou seja, para alcançar o desenvolvimento sustentável (BORBA, 2010).

Os citros compreendem um grande grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros gêneros afins (*Fortunellae Poncirus*) ou híbridos da família Rutaceae, representado, na maioria, por laranjas (*Citrus sinensis*), tangerinas (*Citrus deliciosa*), limões (*Citrus limon*), limas ácidas como o *Tahiti* (*Citrus latifolia*) e o Galego (*Citrus aurantiifolia*), e doces como a lima da Pérsia (*Citrus limettioides*), pomelo (*Citrus paradisi*), cidra (*Citrus medica*), laranja azeda (*Citrus aurantium*) e toranjas (*Citrus grandis*). São originários principalmente das regiões subtropicais e tropicais do sul e sudeste da Ásia, incluindo áreas da Austrália e África. Foram levados para a Europa na época das Cruzadas. Chegaram ao Brasil trazidos pelos portugueses, no século XVI (CITRUS BR, 2021).

Geralmente, os efluentes brutos apresentam pH baixo devido à presença de ácido cítrico. Por ocasião das lavagens dos equipamentos, os efluentes tornam-se alcalinos por causa do uso de soda cáustica. De acordo com a Lemos

(2017), o efluente bruto reunido a partir das diversas etapas de processamento da indústria cítrica apresenta (em média) 2279 mg/L, 3904 mg/L, 31,2 mg/L, 2,81 mg/L e 2,9 a 11,3 como DBO, DQO, Nitrogênio Total, Fósforo Total e pH, respectivamente.

Em virtude da elevada carga poluidora em termos de sólidos e DBO, há a necessidade de condicionar o efluente aos padrões de emissão via a combinação de tratamento preliminar (gradeamento), tratamento primário (equalização) e tratamento secundário (processo biológico). No caso do tratamento secundário, os lodos ativados vêm sendo utilizados com maior frequência devido a menor influência da variação de carga orgânica e alto índice de remoção de sólidos e DBO (96-99%). Já, as lagoas aeradas, uma variante desse processo, apresentam remoção um pouco inferior, porém com custos de tratamento menores que os de um sistema convencional de lodos ativados (LEMOS, 2017).

As tecnologias de tratamento de águas residuais que utilizam processos biológicos se mostram bastante eficientes na remoção de compostos orgânicos e químicos (BORBA, 2010).

Dentre essas tecnologias, pode-se destacar o processo por lodos ativados, atualmente o mais aplicado, a nível mundial (CITRUS BR, 2021).

Em 1959, instalou-se a primeira fábrica de suco concentrado no Brasil e não demorou para que surgissem outras. Atualmente existem 1.178 máquinas extratoras instaladas no país, sendo que 1.061 estão localizadas no Estado de São Paulo, 72 estão no Sul e 45 no Nordeste (CITRUS BR, 2021).

O complexo citrícola possibilitou que a citricultura aproveitasse o aumento da demanda do suco concentrado, graças a quebra de produção norte-americana, em 1962. Durante a década de 60 e início da década de 70 as exportações de suco só cresceram, consolidando a indústria processadora de sucos, assim no início da década de 70 o Brasil deixa de ser basicamente fornecedor do mercado interno e externo de laranja "*in natura*" para se tornar um grande exportador de suco de laranja concentrado e congelado.

Segundo Fernandes (2010) em apenas cinco anos, de 1970 até 1975, o número de empresas processadoras de sucos passou de sete para nove, enquanto o número de extratoras de laranjas passou de 76 para 299 empresas.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é utilizar uma série histórica da operação de um sistema de lodos ativados de uma indústria cédrica para realizar um comparativo com outros métodos de sistemas relatados na literatura.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Indústria Cítrica

Os maiores produtores de laranja doce são o Brasil e os Estados Unidos, que juntos representam em torno de 45% da produção mundial (LIMA, 2013). De acordo com dados do Fundo de Defesa da Citricultura - FUNDECITRUS, as variedades de laranjas doces que constituem praticamente todo o cinturão citrícola brasileiro são: laranja Pera Rio (meia-estação) com 35% da produção total, Valência (tardia) com 27%, *Hamlin* (precoce) com 11%, Natal (tardia) com 11% e Valência Folha Murcha (tardia) com 4%.

Os citros fazem parte do grupo de plantas da família *Rutaceae*, representados por laranja, tangerina, limões, limas ácidas como o *thaiti* e o galego, lima da pérsia, pomelo, cidra, laranja azeda e toranja. Os citros têm sua origem das regiões subtropicais do sul da Ásia (Índia e China) e também da Austrália e África e chegaram ao Brasil trazido pelos Portugueses no século XVI (QUINTERO *et al.*, 2004).

Dentro desse cenário o Brasil desponta como o maior produtor e exportador de suco de laranja (SANTOS *et al.*, 2019). Dados fornecidos pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) mostraram que o Brasil alcançou 61,3% da produção mundial de suco de laranja, considerando a safra de 2015/2016, e liderou o *ranking* de exportações com 75,3% do mercado associado à elevada produção de suco de laranja está a geração de grandes volumes de resíduos, dos quais do total de fruta processada, cerca de 50% correspondem ao material residual (SANTOS *et al.*, 2019).

De acordo com Rezzadori *et al.*, (2009), os resíduos gerados no processamento de citros advêm de lavagem da fruta, derramamento nos processos de separação da polpa, derramamento nos processos de centrifugação de óleo essencial e lavagem de pisos e equipamentos.

O setor de alimentos destaca-se dentre as atividades industriais do ponto de vista ambiental por apresentar um grande consumo de água e uma alta geração de efluentes por unidade produzida, além de gerar um grande volume de lodo nas estações com tratamento biológico (KAMJEA WON, 2000).

3.2 Águas residuárias

As características de uma água residuária se apresentam em função do uso do gerador de despejo. Para cada tipo, busca-se o reconhecimento dos poluentes passíveis de estarem presentes, por meio da identificação e quantificação das principais impurezas destas águas. Com base na tipologia da fonte geradora, podem-se relacionar os parâmetros a serem avaliados em análises laboratoriais, cujos resultados subsidiarão a verificação ao atendimento legal ou o estabelecimento do nível de controle exigido. Para tanto, utiliza-se a determinação de parâmetros típicos de alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas da água, ou seja, busca-se identificar e quantificar impurezas por meio de medições das propriedades da água (LIMA, 2017).

As principais características físicas das águas residuárias são: temperatura, cor, odor, turbidez e sólidos. A temperatura das águas residuárias é um parâmetro de grande importância devido seu efeito na vida aquática. A elevação da temperatura por lançamento de despejos industriais aquecidos, por exemplo, pode causar danos às espécies de peixes existentes no curso de água. Além disso, o oxigênio é menos solúvel em água quente do que em água fria (a água a 0°C contém uma concentração de 14 mg/L de oxigênio; a 20°C 9 mg/L e a 35°C menor que 7 mg/L).

Segundo Pivelli (1999), os efluentes da indústria de suco cítrico concentrado são gerados principalmente nas seguintes etapas:

- Lavagem da fruta;
- Derramamento nos processos de separação da polpa contida no suco;
- Derramamento nos processos de centrifugação do óleo essencial;
- Condensados provenientes da evaporação do suco (reutilizados);
- Derramamento do licor da prensagem do bagaço;
- Condensados do evaporador de ração (águas pretas);
- Purga dos circuitos fechados das águas de refrigeração das colunas barométricas;
- Lavagem de pisos e equipamentos.

Os pontos gerados de despejos citados podem ser agrupados das seguintes maneiras:

- Lavagem de fruta;

- Extração e concentração de suco e óleo;
- Fabricação de ração e colunas barométricas.

3.3 Características de efluentes de indústria cítrica

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as características dos despejos de cada área de processamento, dados obtidos junto às indústrias e literaturas específicas.

A seguir, na Tabela 1 exibe os parâmetros encontrados em diferentes áreas de processamento da planta industrial.

Tabela 1. Características dos efluentes das várias áreas de processamento, dados obtidos por indústrias.

* parâmetros são expressos em mg/L exceto o resíduo sedimentável (ml/L) e pH

Parâmetro	Áreas de Processamento			
	Lavagem da laranja	Área de extração	Fábrica de ração	Colunas barométricas
DBO	295	1.380	2.190	654
DQO	758	2.170	4.020	852
Resíduo Total	733	966	1.216	712
Resíduo Não Filtrável	441	248	441	105
Resíduo Sedimentável	8,5	0,1	7,0	0,1
Nitrogênio Kjeldahl Total	49	36,4	36,4	32,8
Fosfato Total	0,79	2,02	1,90	1,00
Óleos e Graxas	-	55	65	-
pH (Variações)	3,6 – 7,0	4,0 – 11,3	2,1 – 2,7	6,3 – 7,4

Fonte: Piveli, 1999.

Na tabela 2, são apresentadas as faixas de variação dos principais parâmetros monitorados.

Tabela 2. Características dos efluentes em indústrias de diferentes portes.

*parâmetros são expressos em mg/L exceto o resíduo sedimentável (ml/L) e pH

Etapa do processamento	Referência 1	Referência 2
	DBO (mg/L)	DBO (mg/L)
Lavagem da laranja	100– 600	500
Área de extração	100– 10.000	500 – 1.500
Condensados do suco	300 – 600	0 – 500
Área de Embalagem	1.000 – 10.000	-
Licor da prensagem do bagaço	100.000 25.000	60.000 – 120.000 20.000 – 45.000
Centrífugas de óleo		

Fonte: Piveli, 1999.

Em vista de sua característica sazonal, a indústria possui variações em sua produção e consequentemente no volume dos despejos gerados. No início e no final da safra a indústria funciona com aproximadamente 50% da capacidade total.

Os despejos das indústrias cítricas apresentam grandes variações em suas características qualitativas e quantitativas, geralmente com altos teores de matéria orgânica, sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos.

Geralmente, os efluentes brutos apresentam um pH baixo, devido à presença de ácido cítrico. Por ocasião das lavagens dos equipamentos, os efluentes tornam-se alcalinos, devido ao uso de soda cáustica. Além disso, quando os efluentes são misturados a temperatura varia entre 30 e 35° C, podendo chegar até 40° C com a recepção das águas pretas, com temperatura na saída do equipamento em torno de 75° C.

3.4 Legislação

Sendo a Lei (6938/81) – Política Nacional do Meio Ambiente, a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propiciam à manutenção da vida, visando assegurar no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

A preocupação com o meio ambiente e com o aumento da produtividade passou a orientar a busca por novas tecnologias, que incorporadas aos processos tradicionais, otimizassem a capacidade competitiva. No controle ambiental, o maior efeito junto às pequenas e médias empresas foi à definição de uma legislação ambiental, com suas várias resoluções e padrões de lançamento a serem entendidos. No Brasil, esse assunto ganhou destaque a partir da implementação da Política Nacional do Meio Ambiente, do sistema de licenciamento ambiental e da aprovação da lei de crimes ambientais, que prevê pena de reclusão e multa para quem lesarem o meio ambiente. Nesse contexto, o tratamento e a disposição adequada de resíduos industriais e sanitários, por parte das empresas, tornam-se uma obrigação perante a lei e a opinião pública (SILVA, 2006).

De acordo com a Resolução CONAMA n.357/05 para as águas de classe especial não é tolerado lançamento de substâncias poluentes, deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água. Para as águas de classe 1, substâncias que formem depósitos objetáveis devem estar ausentes, inclusive espuma não natural; óleos e graxas; substâncias que comuniquem gosto ou odor e corantes artificiais (art.14, alínea “b, c, d”). Para as águas de classe2 (art. 15, Inciso I) e 3 (art. 16, letra “a”) não é permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais. Nas águas da classe 4 (art. 17) devem estar virtualmente ausentes materiais flutuantes e substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação, mas tolera-se a presença de óleos e graxas. Abaixo, na tabela 5, estão apresentados os Padrões da Resolução CONAMA 357/05 de algumas variáveis para as classes de água doce.

Tabela 3. Padrões da Resolução CONAMA 357/05 de algumas variáveis para as classes de água doce.

Variáveis	Classes de Qualidade				
	Especial	1	2	3	4
pH	-	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
OD (mg/L)	-	= ou > 6,0 mg/L O ₂	= ou > 5,0mg/L O ₂	= ou > 4,0 mg/L O ₂	= ou > 2,0mg/L O ₂
DBO (mg/L)	-	20°C até 3,0 mg/L O ₂	20°C até 5,0 mg/L O ₂	20°C até 10,0 mg/LO ₂	-
Turbidez (UNT)	-	até 40 UNT	até 100 UNT	até 100 UNT	-

Fonte: CONAMA 357/05

Como aspecto relevante da Resolução 357/05, o art. 34 estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que estejam nas condições e padrões estabelecidos. A Tabela 6, demonstra as condições ideais para o lançamento dos efluentes, em teste de hora em cone *Imhoff*.

Tabela 4. Padrões de lançamento de efluentes (Resolução CONAMA 357/05).

Parâmetro	Valor Limite
pH	entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais Sedimentáveis *	≤ 1mL/L
Óleos e Graxas: Óleos minerais e	≤ 20 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	≤ 50 mg/L
Materiais Flutuantes	Ausentes

Fonte: CONAMA 357/05

Em relação à DQO (Demanda Química de Oxigênio), o CONAMA não traz referência no padrão e na classificação dos corpos d'água de lançamento

de efluentes, porém, outras legislações ambientais estabelecem tais limites, sendo parâmetro global utilizado como indicador do conteúdo orgânico de águas residuárias e superficiais, e bastante utilizado no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos.

No Estado de São Paulo, de acordo com a CETESB (1973) - Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle da Poluição das Águas - citado no Decreto nº 8468/76, o controle é realizado utilizando-se somente a DBO como parâmetro, sendo exigido a redução de carga orgânica de 80% ou ainda que a DBO apresente concentração máxima de 60 mg O₂ /L.

De acordo com a Lei nº 118, de 29 de junho, de 1973 da CETESB, além de exercer outras atividades têm como finalidade efetuar o controle de qualidade das águas residuárias. Procedendo a estudos, pesquisas, treinamento e aperfeiçoamento de pessoal e a prestar assistência técnica especializada à operação e manutenção de sistemas de águas de esgoto e resíduos industriais do estado de São Paulo.

O Decreto nº 8468 de 8 de setembro de 1976 que aprova o Regulamento da Lei nº. 997, 31 de maio de 1976 que dispõe sobre a prevenção e o controle da Poluição do Meio Ambiente, compete à CETESB as atribuições para o controle e a preservação do Meio Ambiente. É importante ressaltar a classificação das águas segundo os usos preponderantes, os padrões de emissão de efluentes nos corpos d'água (art.18), conforme mostra na Tabela 7, e as condições dos efluentes de qualquer fonte poluidora que são lançados em sistemas de esgotos providos de tratamento com capacidade e de tipo adequados (art.19). O mesmo artigo cita sobre o destino do lodo proveniente de sistemas de tratamento das fontes de poluição industrial, bem como o material proveniente da limpeza de fossas sépticas, ressaltando que os efluentes líquidos provenientes de indústrias deverão ser coletados separadamente, através de sistemas próprios independentes, conforme sua origem e natureza.

Tabela 5. Padrões de lançamento de efluentes (Decreto nº. 8468/1976).

Parâmetro	Valor Limite
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais Sedimentáveis *	≤ 1mL/L
Óleos e Graxas	≤ 100 mg/l
DBO	Max. 60 mg/l ou redução de 80%*
	* Esse limite poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20° C no despejo em no mínimo 80% (oitenta por cento).

Fonte: Braile *et al.*, 1979.

3.5 Lodos Ativados

O sistema de lodo ativado é um processo biológico de tratamento de efluentes, que consiste na formação de uma massa biológica, o lodo, através de um tanque de aeração, que consiste em fornecer oxigênio para os microrganismos, além de proporcionar a completa mistura do lodo com o efluente (VON SPERLING, 2002).

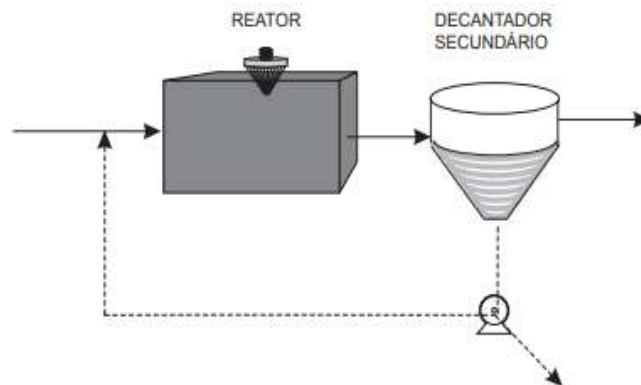
A matéria orgânica presente no efluente é convertida então em massa biológica, através do processo de assimilação, e também em Dióxido de Carbonio e Água através do catabolismo. A biomassa é separada do efluente tratado através da decantação, e o resultado final consiste num efluente clarificado e de boa qualidade (SANTOS, 2009).

O sistema de lodo ativado é amplamente utilizado para o tratamento de despejos domésticos e industriais, em situações onde são necessários uma elevada qualidade do efluente final e reduzidos requisitos de área (SPERLING, 1997).

As seguintes unidades são parte integrante da etapa biológica do sistema de lodos ativados (fluxo do líquido). Figura 1:

Figura 1. Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados

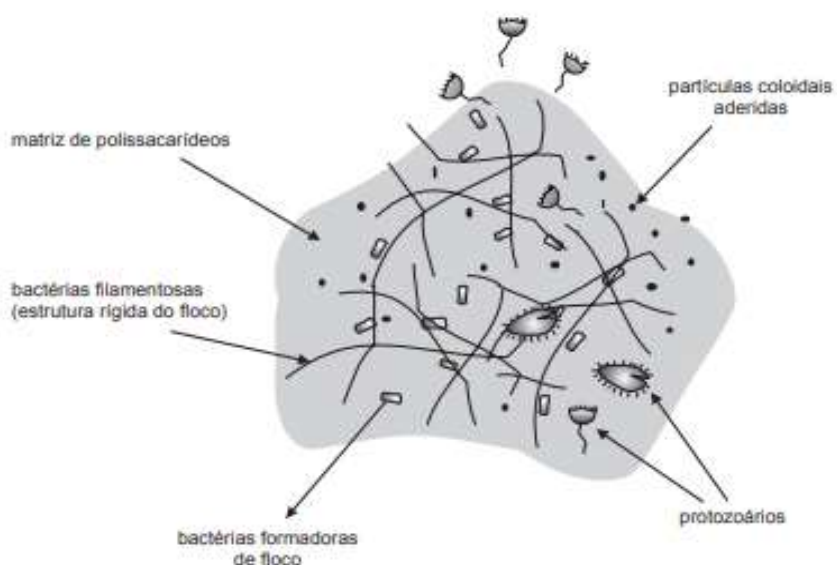
- *tanque de aeração (reator)*
- *tanque de decantação (decantador secundário)*
- *recirculação de lodo*



Fonte: Von Sperling, 2002.

No reator ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. A biomassa se utiliza do substrato presente no esgoto bruto para se desenvolver. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são recirculados para o reator, aumentando a concentração de biomassa no mesmo, o que é responsável pela elevada eficiência do sistema. A biomassa consegue ser facilmente separada no decantador secundário devido à sua propriedade de flocular. Isso se deve ao fato de as bactérias possuírem uma matriz gelatinosa, que permite a aglutinação das bactérias e de outros microrganismos, como protozoários. O floco possui maiores dimensões, o que facilita a sedimentação, conforme apresenta a Figura 2.

Figura 2. Esquema de um floco de lodo ativado



Fonte: Von Sperling, 2002.

A análise da literatura mostra que várias pesquisas têm sido realizadas com o intuito de se conhecer a microbiota existente em plantas de tratamento de lodos ativados, objetivando a melhoria dos processos existentes principalmente na biodegradação de compostos de interesse sanitário. O limoneno, principal constituinte dos óleos essenciais da laranja (0,92%), é um líquido oleoso incolor, obtido da destilação do licor cítrico com uma produção de 38,5 ton/ano safra 2003/2004. Este produto é obtido da prensagem do resíduo úmido da laranja (casca, bagaço, semente) após a extração do suco (ABECITRUS, 2020; THOMAS; BESSIÉRE, 1989).

O limoneno merece uma atenção especial devido a sua toxicidade aos microrganismos presentes nos sistemas de tratamento como também a alguns insetos comumente encontrados em efluentes da indústria cítrica (BWOEN, 1975).

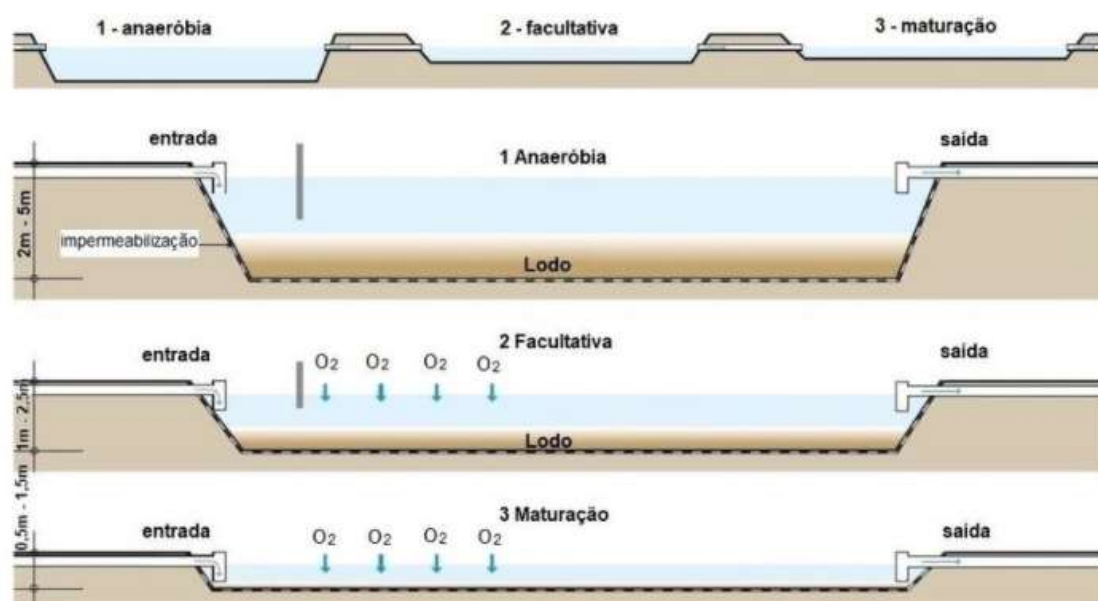
3.6 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são locais para tratamento de efluentes, por processos químicos e biológicos, com o objetivo de reter a matéria orgânica e gerar água com qualidade para retornar ao meio ambiente. São lagoas constituídas de forma simples onde os esgotos entram em uma extremidade e saem na oposta (HENARES, 2015).

A matéria orgânica em forma de suspensão fica no fundo da lagoa, formando um lodo que vai aos poucos sendo estabilizado. O processo se baseia nos princípios da respiração e da fotossíntese: as algas existentes no esgoto na presença de luz, produzem oxigênio que é liberado através da fotossíntese. Esse oxigênio dissolvido é utilizado pelas bactérias aeróbicas (respiração) para se alimentarem da matéria orgânica em suspensão e dissolvida presente no esgoto. O resultado é a produção de sais minerais (alimento das algas) e de gás carbônico (HENARES, 2015).

Tem como objetivo reduzir a carga orgânica por processos biológicos naturais, controlados e otimizados, além de remover agentes patogênicos do efluente. A Figura 3 ilustra o sistema de tratamento de águas residuárias por meio de lagoas de estabilização (HENARES, 2015).

Figura 3. Sistema de tratamento de águas residuárias por meio de lagoas de estabilização anaeróbia, facultativa e de maturação.



Fonte: Adaptado de Tilley *et al.* (2014)

3.6.1 Lagoa anaeróbia

Sistema de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica ocorre quando existe equilíbrio entre a oxidação e a fotossíntese, para garantir condições aeróbias em todo o meio (HENARES, 2015).

3.6.2 Lagoa facultativa

Sistema de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada predominantemente por processos de fermentação anaeróbia, imediatamente abaixo da superfície, não existindo oxigênio dissolvido (PONEZI, 2000).

3.6.3 Lagoa de maturação

Processo de tratamento biológico usado como refinamento do tratamento prévio por lagoas, ou outro processo biológico. Reduz bactérias, sólidos em suspensão, nutrientes e uma parcela negligenciável da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (BWOEN, 1975).

3.7. Principais processos de tratamento de efluente na indústria cítrica

A aplicabilidade de sistemas de tratamento utilizando lodos ativados para efluentes de diferentes tipologias de indústrias alimentícias é ampla. Águas residuais de indústrias alimentícias que processam frutas cítricas, como a laranja, também podem ser tratadas seguindo este sistema. Valores médios de parâmetros obtidos na caracterização do efluente bruto de uma indústria cítrica são apresentados na Tabela 8 (PONEZI, 2000).

Tabela 6. Valores médios de parâmetros de efluentes bruto de indústria cítrica

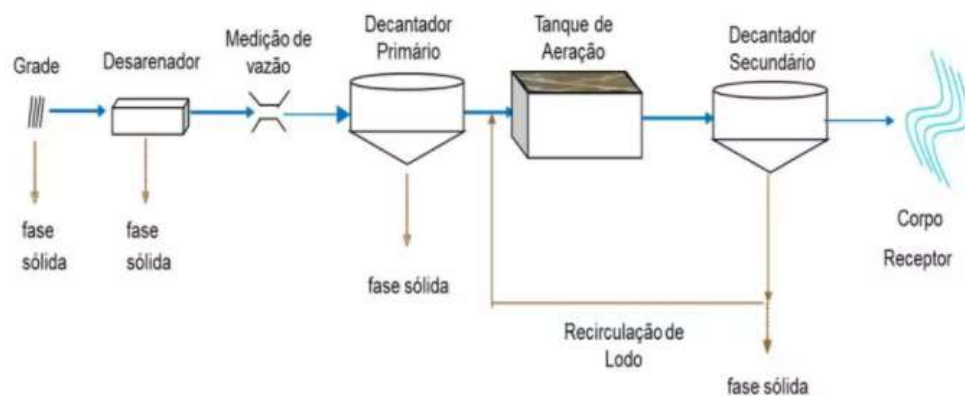
PARÂMETRO OBSERVADO	VALORES MÉDIOS
DQO(mg/L)	3.989
DBO(mg/L)	1.276
Sólidos suspensos totais (mg/L)	317
Sólidos suspensos voláteis(mg/L)	291
Sólidos sedimentáveis(ml/L)	23
pH	4,56

Fonte: Ponezi, 2000.

3.7.1 Lodos ativados convencional de fluxo contínuo

No sistema convencional, para se economizar energia para a aeração, parte da matéria orgânica (em suspensão, sedimentável) dos efluentes é retirada antes do tanque de aeração, através do decantador primário. Assim, os sistemas de lodos ativados convencionais têm como parte integrante também o tratamento primário. A idade do lodo é usualmente da ordem de 4 a 10 dias, e o tempo de detenção hidráulica no reator, da ordem de 6 a 8 horas. Com esta idade a biomassa retirada do sistema no lodo excedente requer ainda uma etapa de estabilização no tratamento do lodo, por conter ainda um elevado teor de matéria orgânica armazenada nas suas células. Figura 4 ilustra o sistema de lodos ativados em aeração convencional (PONEZI, 2000).

Figura 4. Esquema do sistema de lodos ativados: Aeração convencional.



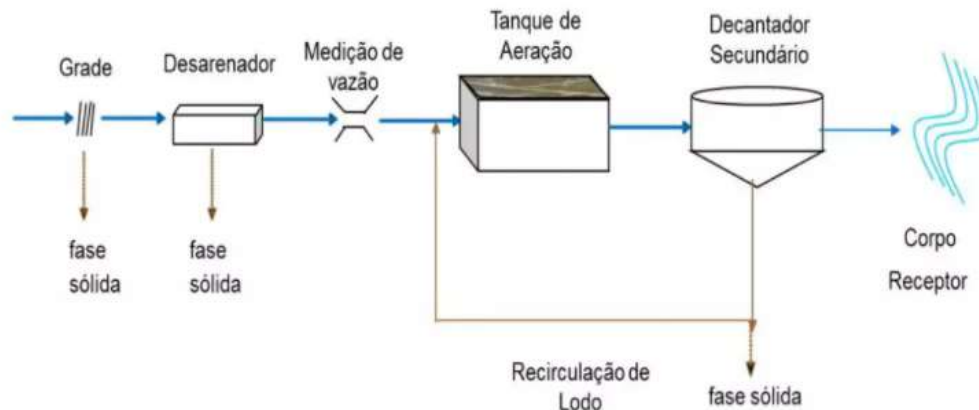
Fonte: Von Sperling, 2002.

3.7.2 Lodos ativados de aerados de aeração prolongada

A biomassa permanece por mais tempo no sistema por período mais longo, da ordem de 18 a 30 dias, recebendo a mesma carga de DBO afluente que o sistema convencional, haverá menor disponibilidade de alimento para as bactérias. Portanto, há menos matéria orgânica por unidade de volume do tanque de aeração e também por unidade de biomassa do reator. Em decorrência, as bactérias (biomassa), para sobreviver, passam a utilizar (via processo metabólico) a matéria orgânica biodegradável componente das suas células. Todo este processo requer um tempo maior de permanência dos microrganismos no tanque de aeração quando comparado ao sistema

convencional (idade de lodo maior). Abaixo, Figura 5 ilustra o sistema de aeração prolongada (VON SPERLING, 2002).

Figura 5. Esquema do sistema de lodos ativados: Aeração prolongada



Fonte: Von Sperling, 2002.

3.7.3 Lodos Ativados fluxo intermitente (batelada)

Nesse sistema, há apenas uma unidade e todas as etapas de tratamento do esgoto ocorrem dentro do reator. Essas passam a ser sequências no tempo e não mais unidades distintas. A biomassa permanece no tanque, não havendo necessidade de sistema de recirculação de lodo. Um sistema de lodos ativados de fluxo intermitente possui ciclos bem definidos de operação. São eles: enchimento, reação, sedimentação, esvaziamento e repousos. Em sistemas que recebem esgotos de forma contínua como, por exemplo, as estações que recebem esgotos domésticos há a necessidade de se ter mais de um tanque de aeração trabalhando em paralelo. Pois, um tanque que está no ciclo de decantação não pode receber esgotos e para isso deve haver um outro tanque que esteja no ciclo de enchimento. Esse sistema pode funcionar tanto como um de lodos ativados convencional como um de aeração prolongada (VON SPERLING, 1997).

Figura 6. Esquema do tratamento de esgotos lodos ativados do tipo regime intermitente



Fonte: Von Sperling, 2002.

A massa biológica permanece no reator durante todos esses ciclos, eliminando assim a existência de tanques decantadores como unidades físicas separadas. A duração usual de cada ciclo pode sofrer alterações em função das variações da vazão afluente, das características do esgoto, das necessidades do tratamento e da biomassa no sistema. No ciclo denominado repouso é onde geralmente ocorre o descarte do lodo excedente, mas como o descarte é opcional, tendo em vista que sua função é permitir o ajuste entre os ciclos de operação de cada reator, ele pode se dar também em outras fases do processo. Existem algumas modificações nos sistemas intermitentes, relacionadas à forma de operação e a sequência e duração dos ciclos associados a cada fase do processo. Com estas variações permitem-se a simplificação adicional no processo ou a remoção biológica de nutrientes.

3.7.4 Sistemas anaeróbios de tratamento

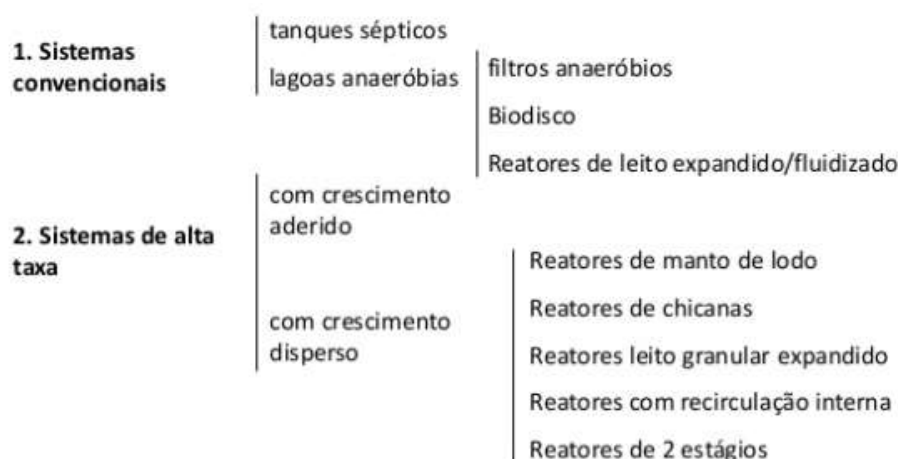
A essência dos processos biológicos de tratamento de esgotos consiste na capacidade de os microrganismos envolvidos utilizarem os compostos orgânicos biodegradáveis, transformando-os em subprodutos que podem ser removidos do sistema de tratamento. Os subprodutos formados podem se apresentar na forma sólida (lodo biológico), líquida (água) ou gasosa (gás carbônico, metano, etc.), qualquer que seja o processo utilizado; aeróbio ou

anaeróbio; a capacidade de utilização dos compostos orgânicos depende da atividade microbiana da biomassa presente (CHERNICHARO, 1997).

Entre os sistemas de tratamento anaeróbio, existem as lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, os filtros anaeróbios e os reatores de alta taxa, capazes de receber maiores quantidades de carga orgânica por unidade volumétrica, como os reatores UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) ou RAFAS (Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente).

A decisão quanto ao processo a ser adotado para o tratamento das fases líquida e sólida deve ser derivada fundamentalmente de um balanceamento entre critérios técnicos e econômicos, com a apreciação dos méritos quantitativos e qualitativos de cada alternativa (VON SPERLING, 1997). Na Figura 7 são apresentados os principais sistemas.

Figura 7. Classificação dos principais sistemas anaeróbios.



Fonte: Von Sperling, 1995.

3.7.4.1 Sistema anaeróbio convencional

Nos reatores anaeróbios de fluxo ascendente, a biomassa cresce aderida a um meio suporte denominado leito fixo. O processo consiste de um fluxo ascendente de efluentes através de um leito fixo de um material de empacotamento estacionário, onde a massa biológica adere ou ficam retidos nos interstícios. (CHERNICHARO, 1997).

O efluente entra pelo fundo do reator em dutos especialmente dimensionados, passa pelo leito fixo onde a massa de microrganismo aderida ao

material suporte degrada o substrato contido no fluxo de efluente. O tempo de permanência da biomassa nesse suporte é em torno de 20 dias.

O processo anaeróbio apresenta inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, notadamente quando aplicado em locais de clima quente, como é o caso da maioria dos municípios brasileiros. Nessas situações, pode-se esperar um sistema com as seguintes características principais:

- Sistema compacto, com baixa demanda de área;
- Baixo custo de implantação e de operação;
- Baixa produção de lodo;
- Baixo consumo de energia (apenas para a elevatória de chegada, quando for o caso);
- Satisfatória eficiência de remoção de DBO/DQO;
- Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações;
- Elevada concentração de lodo excedente;
- Boa desidratabilidade do lodo.

3.7.4.2 Sistema anaeróbio de alta taxa

Processos anaeróbios de alta taxa são uma alternativa viável para o tratamento de resíduos agroindustriais. Nesses processos, várias estratégias são usadas para separar o tempo de detenção hidráulica do tempo de detenção celular, permitindo que o tempo de detenção hidráulica seja muito reduzido enquanto grande população microbiana é mantida (BEAL; RAMAN, 2000). Esses reatores são capazes de alcançar alto tempo de detenção celular e alta eficiência de degradação, a um alto fluxo volumétrico (NEBOT *et al.*, 1995). O tempo de detenção celular é um importante parâmetro usado para indicar o tempo de residência de biomassa no reator. É necessário que seja elevado o suficiente para assegurar a presença de uma população suficiente de bactérias anaeróbicas (ZHANG, 1997).

Filtros anaeróbicos e reatores UASB têm sido amplamente utilizados no Brasil para o tratamento de efluentes. Esses reatores são normalmente operados em condições ambientes desfavoráveis, com temperatura variando de 15 a 30°C, variações nas características dos efluentes e fluxo intermitente. Assim mesmo,

a eficiência de remoção de DQO alcançada tem sido maior que 80% para cargas orgânicas volumétricas menores que 5 kg DQO. (OLIVIA et al., 1995).

3.7.5 Flotação

A flotação é uma técnica de tratamento de água e efluentes na qual as partículas dispersas na água são separadas pela adesão à superfície de micro-bolhas que ascendem na massa líquida (ZOUBOULIS *et al.*, 2000).

Pode-se dividir a flotação de acordo com os mecanismos usados para geração de bolhas, conforme representado no diagrama a seguir (Figura 8):

Figura 8. Tipos de processo de flotação.



Fonte: Zouboulis *et al.*, 2000.

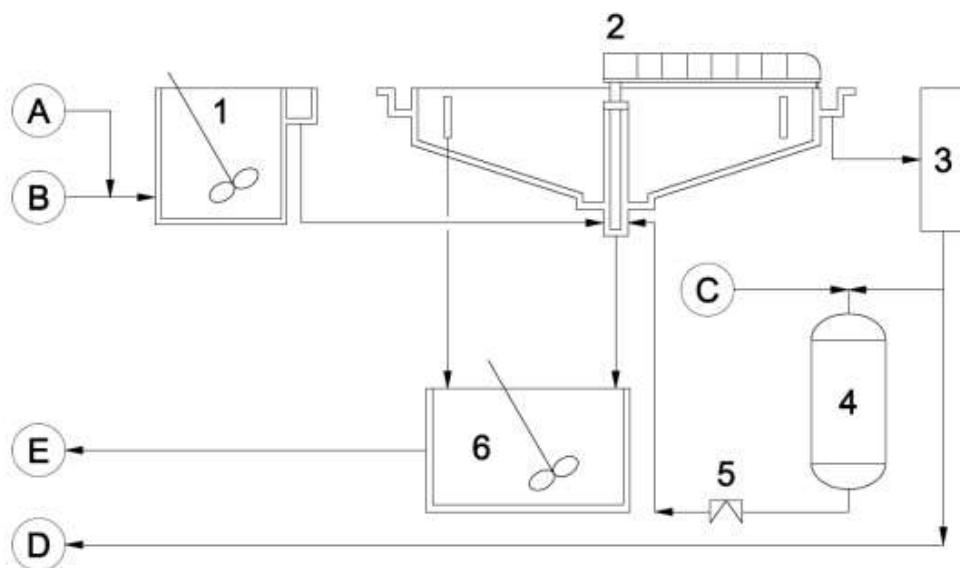
A produção de micro-bolhas através de reações eletrolíticas ou por ar disperso é menos aplicada, principalmente pelas desvantagens de (i) não serem adequadas para tratamento de correntes com elevada turbidez, (ii) produzirem bolhas muito pequenas e (iii) elevado consumo de energia elétrica ou produtos químicos (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; ZOUBOULIS *et al.*, 2000).

Na flotação por ar dissolvido (FAD), as microbolhas são produzidas pela redução de pressão de uma corrente de água saturada com ar. Das três formas de saturação da água (a vácuo, micro-flotação e pressurização), a última é a mais amplamente utilizada.

Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), das opções de pressurização, obtêm-se os melhores resultados com a pressurização de parte do efluente clarificado do flotador, sobretudo quando os flocos formados são mecanicamente frágeis (AL-SHAMRANI *et al.*, 2002).

A Figura 9 demonstra o funcionamento de uma unidade de flotação por ar dissolvido com condicionamento químico (agentes coagulantes e/ou floculantes).

Figura 9. Unidade de Flotação por Ar Dissolvido (FAD). (1) câmara de mistura rápida e floculação; (2) tanque de flotação; (3) tanque de equilíbrio; (4) vaso saturador; (5) válvula redutora de pressão; (6) tanque de lodo; (A) produtos químicos para auxiliar a coagulação e floculação; (B) entrada de efluente; (C) ar comprimido; (D) saída de efluente tratado e (E) descarte de lodo.



Fonte: Nunes, 2001.

Dependendo da qualidade da água/efluente, é adicionado um coagulante e/ou floculante (A) ao efluente bruto (B) em uma câmara de mistura rápida. A água passa por um floculador (1) que permita o crescimento de flocos e em seguida entra na parte inferior do flotador (2), onde por meio de tubos difusores ou injetores é misturada à água saturada com ar. Pequenas bolhas de ar, com tamanhos de 30 a 100 μm são liberadas na súbita redução de pressão da água, aderindo-se aos flocos e auxiliando a ascensão destes no meio líquido, graças à menor massa específica do conjunto bolha + floco. Os flocos na superfície se aglomeram na forma de uma manta de lodo, que é retirada mecanicamente, para

posterior adensamento e disposição. A água clarificada sai pela parte superior do flotador, vertendo por um septo, e parte dela é reciclada para o vaso saturador (4) (ECKENFELDER JR., 2000).

Segundo Nunes (2001), as principais vantagens da flotação, em relação à sedimentação em decantadores, para o tratamento de águas, são:

- Lodos mais concentrados;
- Remoção de sólidos de difícil sedimentação;
- Ocupação de menor área e volume;
- Maiores taxas de aplicação superficial.

4. METODOLOGIA

4.1 Materiais

Foi utilizada a série histórica das análises dos efluentes brutos e tratados, coletados na E.T.E da Brasil Citrus Indústria e Comércio Eireli, no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2020, indústria localizada em Tabatinga no estado de São Paulo. E coleta de dados via levantamento bibliográfico em literatura específica de operação de E.T.E de indústrias cítricas, para que houvesse a comparação com os dados da Brasil Citrus.

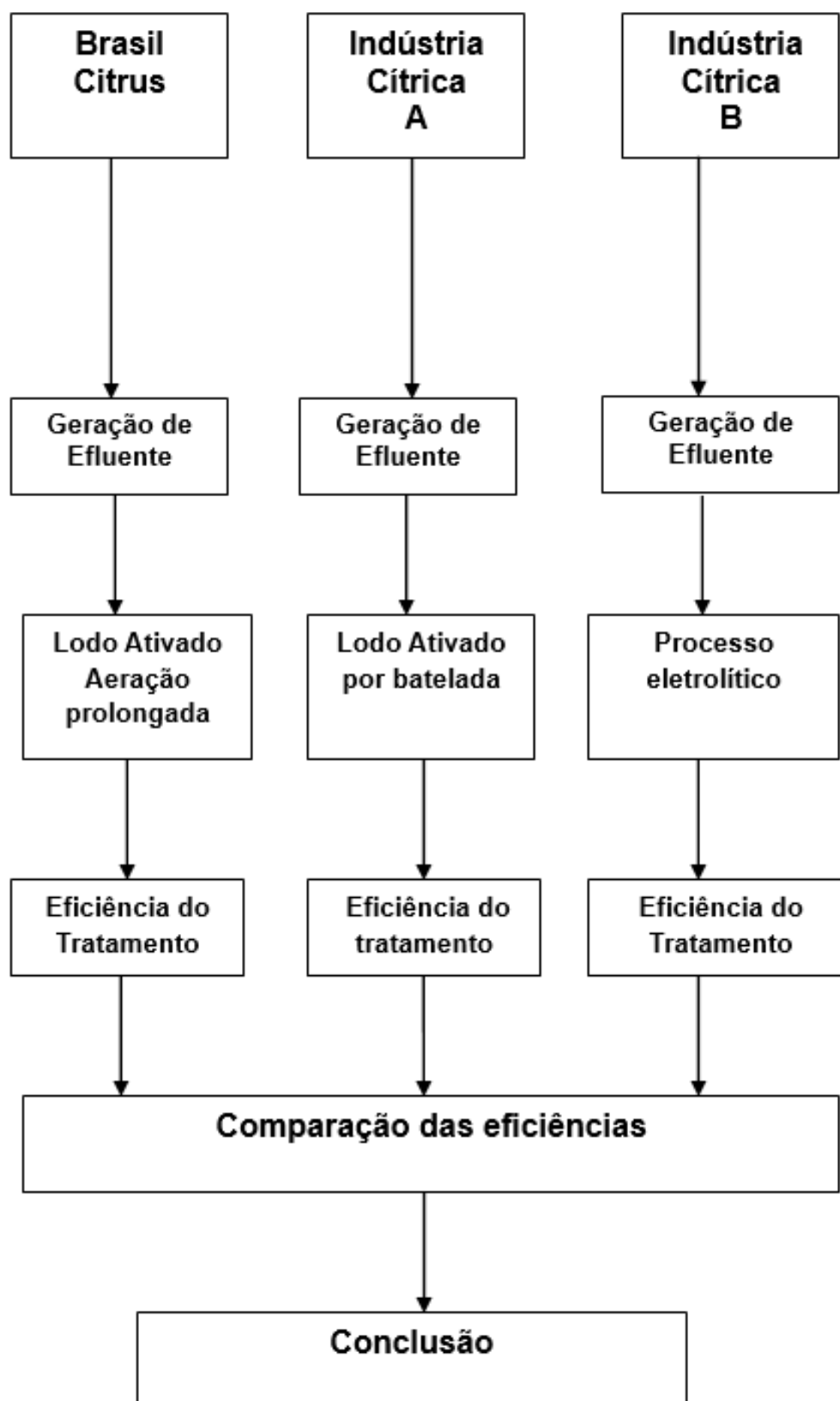
4.2 Métodos

A metodologia utilizada no presente trabalho, Figura 10, foi o estudo da coleta de dados dos efluentes brutos e tratados, oriundos do processo de fabricação de três indústrias cítricas, denominados indústria cítrica A e B. Posteriormente, comparados com os dados obtidos da Brasil Citrus.

As pesquisas se basearam na água residuária oriunda de indústrias cítricas e nos seus respectivos métodos de tratamentos.

Os efluentes líquidos gerados pelas indústrias cítricas têm origem no seu processamento industrial, que engloba desde a lavagem da laranja no início do processo de extração, até a lavagem de máquinas e equipamentos no final de um ciclo de produção. Este resíduo é comumente chamado de água amarela. Os efluentes gerados nas indústrias recebem também água oriunda das torres de resfriamento e trocadores de calor, conhecida como água preta, e de instalações sanitárias (vestiários, banheiros, refeitório, etc.). Para este trabalho foi utilizada uma mistura das águas dos efluentes industriais separadamente das instalações sanitárias. A coleta do efluente industrial foi efetuada em vertedouro situado logo após o decantador primário, o qual tinha como objetivo a retirada de material particulado grosseiro e sólidos suspensos. No ponto de coleta o efluente não recebia nenhum tipo de tratamento para correção de pH e nutrientes.

Figura 10. Metodologia aplicada no presente estudo



Fonte: Ponezi *et. al.* (2000), Nour (1990), Brasil Citrus (2020).

4.2.1 Brasil Citrus

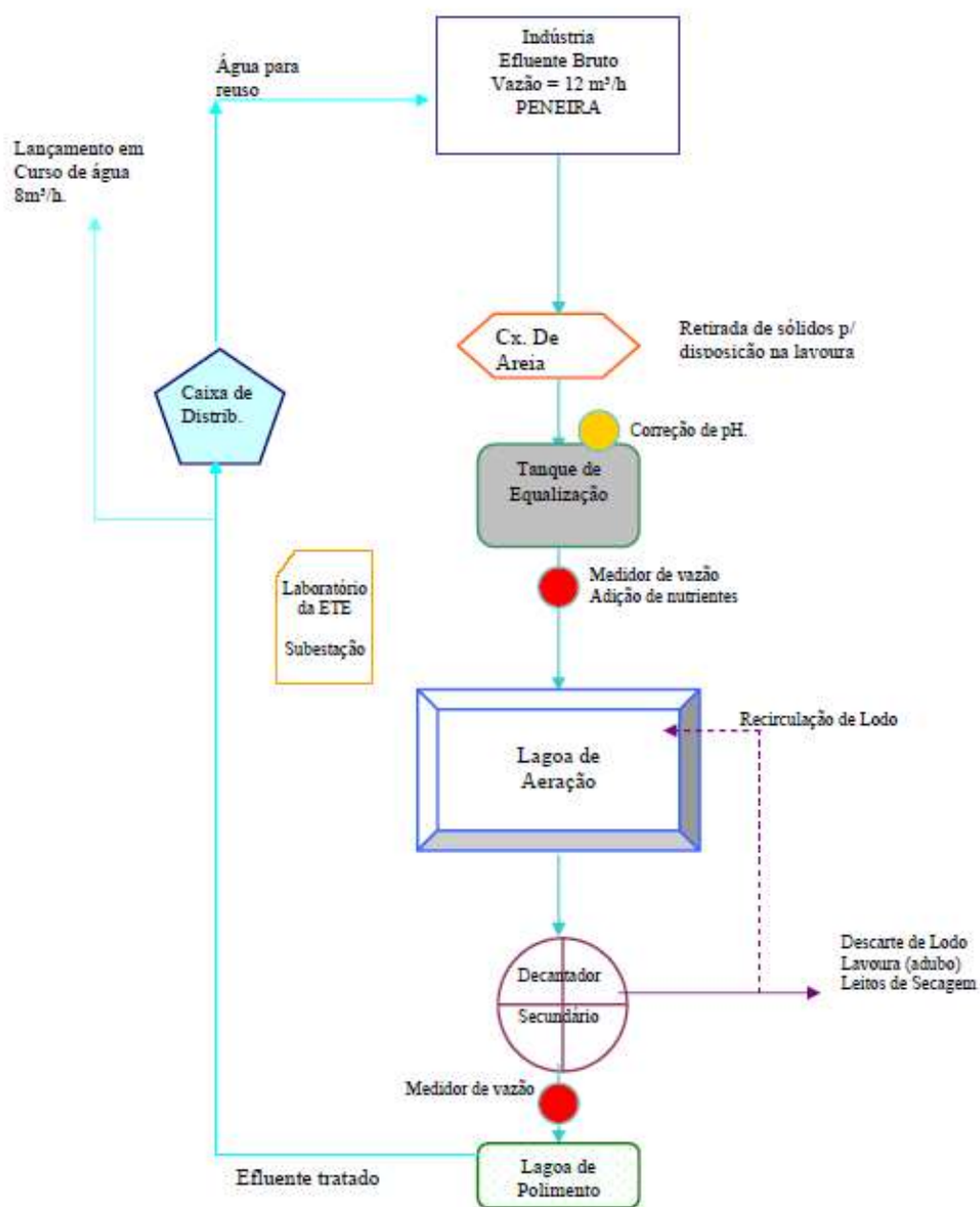
4.2.1.1 Aspectos Preliminares

O sistema de tratamento da E.T.E da indústria Brasil Citrus é o denominado Sistema Aeróbio de Lodos Ativados com aeração prolongada e decantação secundária.

Reconhecidamente este sistema é o mais indicado para efluentes industriais com vazões elevadas, altas cargas de matéria orgânica, e picos de vazão temporários.

Os sistemas aeróbios possuem uma excelente eficiência na remoção de carga orgânica, sem apresentar emanações de odores nem a geração de gases. Abaixo, Figura 11 representa o fluxograma da ETE.

Figura 11. Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes da Brasil Citrus



Fonte: Acervo pessoal

4.2.1.2 Detalhamento do Fluxograma

a) Caixa de Areia:

A caixa de areia tem a função de reter as partículas de terra ou areia em suspensão.

Durante a operação, um canal permiti a passagem do efluente, em quanto o outro está fechado para limpeza. Um sistema de comportas permiti a operação dos canais. A retirada dos sólidos em excesso é realizada manualmente, encaminhando os mesmos para disposição nas lavouras.

Figura 12. Caixa de areia



Fonte: Brasil Citrus, 2021.

b) Peneiramento:

O efluente bruto passa pelo peneiramento, onde serão retidos os sólidos de maior tamanho, enviando o efluente peneirado por gravidade para a ETE.

Figura 13. Peneiramento



Fonte: Brasil Citrus, 2021.

c) Lagoa de equalização:

Devido às variações de concentração de carga orgânica, pH e temperatura ocorrida durante os processos na produção, é necessário resfriar, equalizar e corrigir o pH do efluente para garantir que a Lagoa de Aeração receba uma mistura com vazão constante e características físico químicas controladas.

A lagoa de equalização tem o fundo e as laterais impermeabilizadas com manta geotêxtil de PEAD. No interior da lagoa possuem instalados dois aeradores flutuantes de 5 CV cada para promover a agitação e incorporação de oxigênio necessária.

Figura 14. Lagoa de Equalização



Fonte: Brasil Citrus, 2021.

d) Medidor de vazão:

A leitura da vazão é realizada por um medidor de vazão do tipo calha Parshall de $W= 3''$.

Figura 15. Calha Parshal



Fonte: Brasil Citrus, 2021

e) Lagoa de Aeração:

Dentro da Lagoa de Aeração são desenvolvidos todos os processos biológicos para degradação da carga orgânica.

O efluente já equalizado permanece em constante agitação, misturando-se com as bactérias aeróbias presente no lodo, durante o tempo de retenção estabelecido no memorial de cálculo, recebendo a incorporação de Oxigênio fornecida pelos 3 aeradores mecânicos, marca HIGRA mod. Tornado, sendo 1 de 15 CV e 2 de 10 CV.

A Lagoa de Aeração possui as laterais e fundo, revestidos com manta geotextil em PEAD de 1,5 mm de espessura; aplicada sobre o terreno escavado.

Figura 16. Lagoa de Aeração



Fonte: Brasil Citrus, 2021

f) Decantador secundário

O decantador é uma construção circular em estrutura metálica, dentro da qual existe um sistema rotatório para limpeza do fundo e superfície do mesmo. Dentro deste equipamento ocorre à separação entre o lodo biológico e o efluente tratado,

resultando no que chamamos de sobrenadante. Água com características físicas e químicas muito próximas do efluente final.

O tempo de permanência dentro do decantador permiti que o lodo decante e se deposite no fundo cônico. Este lodo é bombeado para o início da lagoa de aeração, por intermédio de bombas centrífugas de rotor aberto, quando o lodo é recirculado, recomeça um novo ciclo digestivo.

Figura 17. Decantador



Fonte: Brasil Citrus, 2021

g) Lagoa de polimento

Esta lagoa tem por finalidade permitir a decantação de eventuais partículas não sedimentadas no decantador, e servir como tanque de acumulação para posterior aproveitamento do efluente tratado.

O efluente final poderá ser destinado para reuso na indústria, em atividades onde não seja necessário o uso de água potável.

A Lagoa de Polimento também possui o fundo e as laterais revestidos com manta em PEAD.

Figura 18. Lagoa de Polimento



Fonte: Brasil Citrus, 2021

4.2.2 Indústrias Cítricas: Levantamento bibliográfico

4.2.2.1 Indústria Cítrica A - Lodo ativado por batelada

Água residuária da indústria cítrica A foi utilizada como objeto de estudo de biodegradação através de um sistema de lodo ativado por batelada. As análises realizadas por CG/EM mostraram que os compostos provenientes do óleo de laranja como o limoneno, foram resistentes a biodegradação. A avaliação microbiológica realizada no decorrer do período mostrou que o número e tipo de colônias bacterianas variaram de acordo com o tempo, e pode ser observada uma sucessão de microrganismos durante a biodegradação do efluente cítrico. O microrganismo identificado como LAB-9 (*Pseudomonas struzieri*) e LAB-7 (não identificado) prevaleceram durante todo o processo, sugerindo que estes são organismos importantes para remoção da matéria orgânica no processo ou são melhores adaptados ao tipo de água residuária. O sistema de lodo ativado foi eficiente na redução de DBO e DQO, alcançando valores de 79 e 78% respectivamente, num período de 15 h de reação, com uma relação F/M 4:2.

A água residuária oriunda dessa indústria, foi utilizada como matéria-prima para o desenvolvimento do estudo. Os efluentes líquidos gerados pela Indústria Cítrica têm origem no seu processamento industrial de uma empresa de grande porte, que engloba desde a lavagem da laranja no início do processo de esmagamento, até a lavagem de máquina e equipamentos no final de um ciclo de produção. Este resíduo é comumente chamado de água amarela. O efluente gerado na indústria recebe também água oriunda das torres de resfriamento e trocadores de calor, conhecida como água preta, e desinstalações sanitárias (vestiários, banheiros, restaurante, etc.) (PONEZI *et. al.*, 2000).

Para o projeto do estudo foi utilizada uma mistura das águas dos efluentes industriais separadamente das instalações sanitárias. A coleta do efluente industrial foi efetuada em vertedouro situado logo após o decantador primário, o qual tinha como objetivo a retirada de material particulado grosseiro e sólidos suspensos (PONEZI *et. al.*, 2000).

No ponto de coleta o efluente não recebia nenhum tipo de tratamento para correção de pH e nutrientes. Este tratamento era efetuado em outro local antes da entrada na lagoa de aeração, juntamente com o retorno do lodo vindo do decantador. As características qualitativas das águas residuárias geradas na Indústria Cítrica A podem ser observadas na Tabela 9, no item 5.1, a seguir (PONEZI *et. al.*, 2000)

4.2.2.2 Indústria Cítrica B –Processo Eletrolítico

Foi feita a aplicação do processo eletrolítico ao tratamento dos efluentes líquidos resultantes da industrialização de frutas cítricas. Através de um reator de acrílico, sendo instalado sobre um agitador, do tipo Turb-floc, o conjunto de placas paralelas utilizadas como eletrodos construído em alumínio, sendo o conjunto instalado no fundo do reator (NOUR, 1990).

O conjunto de placas foi ligado a uma fonte de alimentação, a qual gerava corrente contínua, possibilitando analisar, principalmente, os Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos, Sólidos Suspensos Voláteis, DQO, Cor, pH, Temperatura e Condutividade. A densidade de corrente aplicada variou de 25 a 150 Nm², com tempos de detenção de 5 a 60 minutos. A velocidade de agitação mais eficiente foi de 50 rpm. Para os volumes escolhidos, não houve efeito

significativo no desempenho do processo eletrolítico, o mesmo ocorrendo com relação aos valores de pH adotados. Houve uma boa remoção de Sólidos Suspensos Totais, cerca de 90%, porém a remoção de matéria orgânica, em termos de DQO, não ultrapassou 45%. A aplicação de processo eletrolítico mostrou-se mais viável na remoção de Sólidos Suspensos, devido aos efeitos de eletrocoagulação e flotação (NOUR, 1990).

4.2.3 Parâmetros de entrada

Na Tabela 7, mostra os parâmetros de entrada dos efluentes analisados no presente estudo, antes de serem submetidos aos processos de tratamento, sendo elas: Indústrias Cítricas A, B e da Indústria Cítrica Brasil Citrus.

Tabela 7. Parâmetros de entrada das indústrias cítricas A, B e da Indústria Cítrica Brasil Citrus

Parâmetros	Indústria Cítrica A	Indústria Cítrica B	Indústria Brasil Citrus
Método de tratamento	Lodo ativado por batelada	Processo Eletrolítico	Lodo ativado por aeração prolongada
DBO (mg / L)	769	4050	1035
DQO (mg/L)	2157	7865	1092
pH	6,40	9,59	7,90
Sólidos totais (mg/l)	252	737	-
Nitrogênio	10	-	-

Fonte: Ponezi *et. al.* (2000), Nour (1990), Brasil Citrus (2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados nas análises realizadas dos efluentes bruto e tratado são apresentados nessa seção. Para a discussão dos resultados encontrados, buscou dados expostos em literaturas cabíveis a este estudo.

5.1 Caracterização físico-química dos efluentes

5.1.1 Efluentes da lagoa de equalização e lago de polimento

Óleos e Graxas Totais

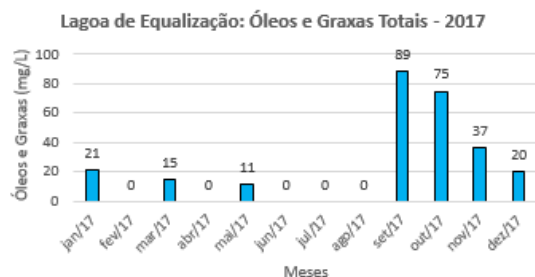
Uma das análises efetuadas foi a quantificação de óleos e graxas totais. As concentrações de óleos e graxas totais da lagoa de equalização, que se dá a entrada dos efluentes da laranja (Figura 19 A) e da lagoa de polimento, efluentes tratados (Figura 19 B), estão apresentados na Figura 19. A concentração média encontrada para o efluente bruto foi de 41,08mg. L⁻¹, próximo ao encontrado por Lemos (2017) estudando uma empresa “Y”, encontrou valor de 50 mg. L⁻¹.

Para o efluente tratado, a concentração média foi de 26,34 mg. L⁻¹. Segundo Pessoa e Jordão (2009), os óleos e graxas estão sempre presentes nos esgotos industriais, provenientes do processo, geralmente da etapa de extração. Podem estar presentes também sob a forma de óleos minerais, como os óleos lubrificantes, utilizados em manutenções corretivas e preventivas dos maquinários. Segundo Marinho (2017), as principais etapas geradoras de efluentes na indústria cítrica são as etapas de extração e moagem.

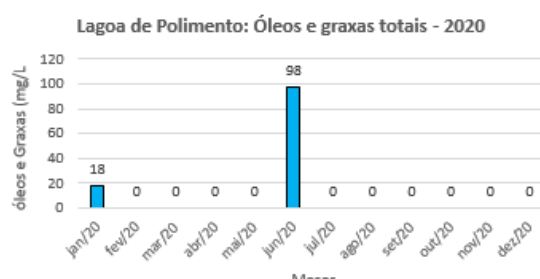
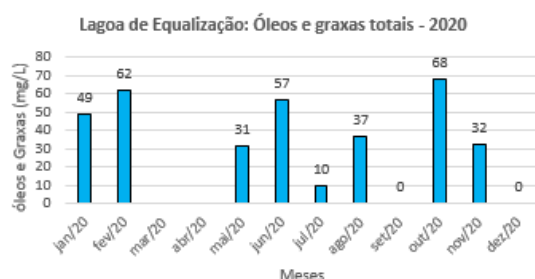
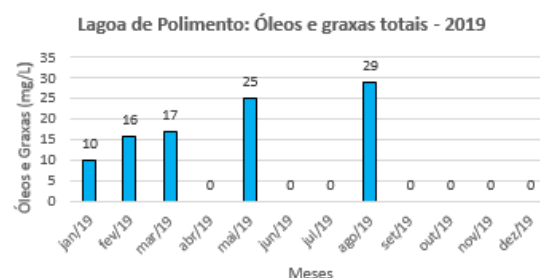
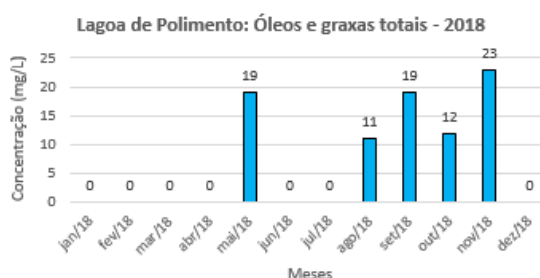
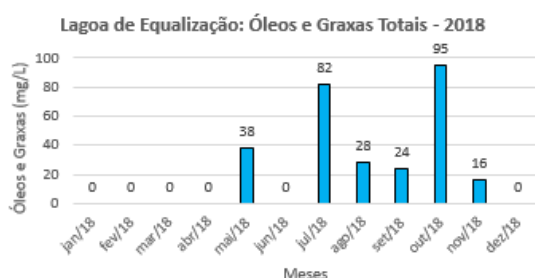
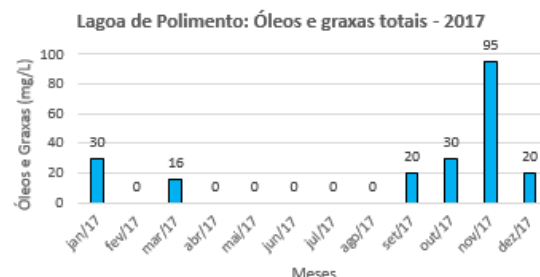
Na Resolução CONAMA 357/05, cita-se que é aceitável a presença destes compostos desde que seja valor inferior a 20 mg. L⁻¹. A mesma resolução estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que estejam nas condições e padrões estabelecidos. Dentro deste contexto, notou-se que após o tratamento dos efluentes os valores para essa análise apresentaram-se pouco acima do padrão estabelecido, encontrando valores superior a 20 mg. L⁻¹.

Figura 19. Resultados da análise de Óleos e Graxas Totais, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, (A) antes do tratamento de efluentes (B) depois do tratamento de efluentes.

(A)



(B)



Demanda Bioquímica Química de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio

Outro parâmetro no tratamento de efluentes que é considerado de suma importância é a concentração da DBO. Na figura 20 estão apresentadas as concentrações obtidas para DBO (Figura 20 A) e para DBO (Figura 20 B) nos efluentes bruto e tratado. Os resultados obtidos das análises demonstram que a lagoa de equalização (Figura 20 A) foi superior para esta análise em relação a lagoa de polimento (Figura 20 B), ao longo do período estudado. A concentração

média de DBO na lagoa de equalização encontrada no presente estudo foi de 1628,67 mg. L⁻¹, enquanto para a lagoa de polimento a concentração média obtida foi de 239,2mg. L⁻¹. Dessa forma, observa-se que houve, em termos dos dois parâmetros mostrados, uma melhoria na qualidade do efluente após o tratamento. A eficiência de remoção média foi de 85%.

Lemos (2017), analisando uma indústria com efluentes da laranja obteve para os meses de janeiro e fevereiro, valores de 2319,20 mg. L⁻¹ e 2286,84 mg. L⁻¹ respectivamente para o efluente bruto, valores superiores comparados com o presente estudo.

No caso de um esgoto doméstico médio, a DBO é da ordem de 200 a 300 mg. L⁻¹, enquanto que a DBO de lagos e rios possui 9 mg de oxigênio /L de água, o que significa que para cada litro de esgoto com 200 mg de DBO consumirá todo o oxigênio de 22 L de água (BRANCO, 1986). Isto significa que um rio com uma vazão de 22 L/s e receber uma descarga de esgotos de 1L/s, ficará totalmente sem oxigênio. Os efluentes industriais contêm mais de 3000 mg. L⁻¹ de DBO, afetando-se assim mil litros de água para cada litro utilizado.

Segundo Braile e Cavalcanti (1979), a DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica.

Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabor e odor desagradáveis e, ainda obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento (CETESB, 1973).

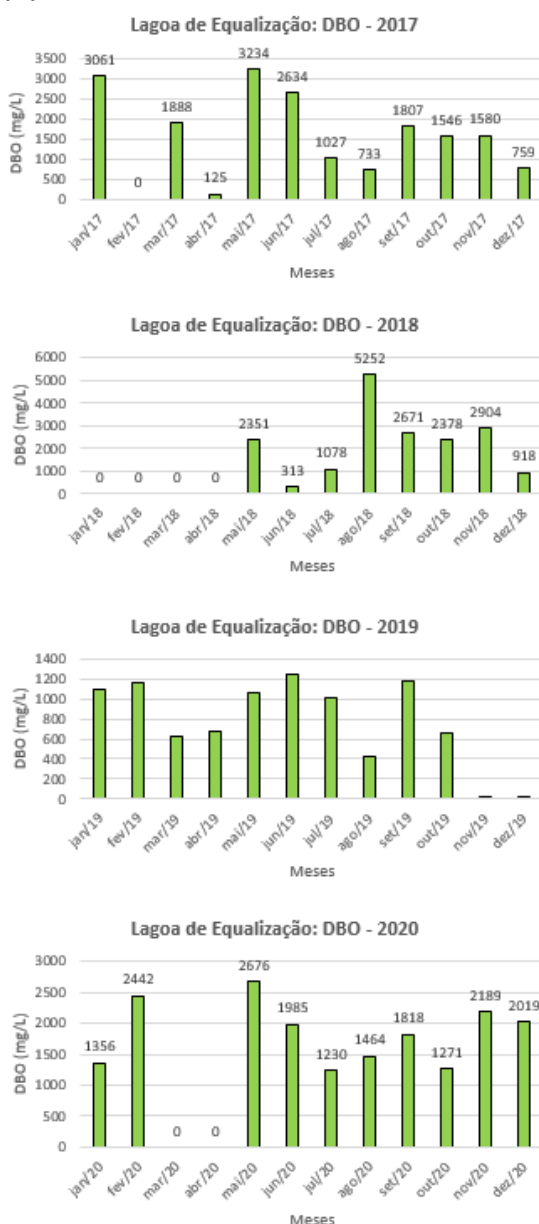
No campo do tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro importante no controle das eficiências das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, bem como físico e químicos (embora de fato ocorra demanda de oxigênio apenas nos processos aeróbios, a demanda “potencial” pode ser medida à entrada e à saída de qualquer tipo de tratamento).

Ponezi *et al.*, (2000), analisando as concentrações de DBO referente a indústria cítrica A verificou que o sistema de lodo ativado por batelada, foi eficiente na redução de DBO e DQO, alcançando valores de 79% e 78%.

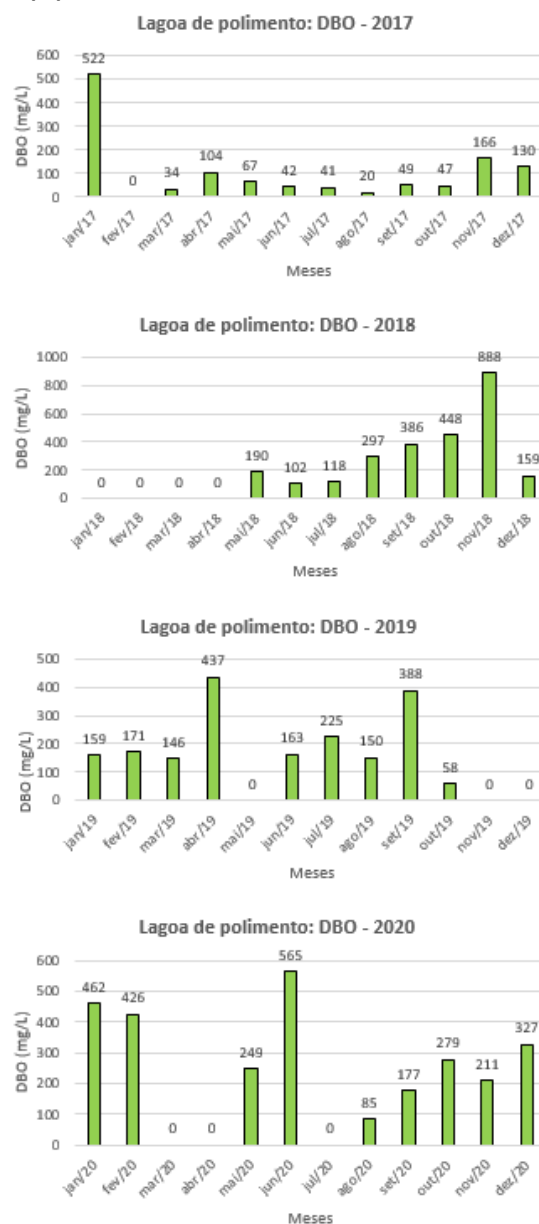
Portanto, comprova-se a eficiência do tratamento de efluentes da Brasil Citrus no quesito DBO. De acordo com o Decreto nº 8468/1976, os padrões de lançamento de efluentes deve apresentar uma redução mínima na carga de 80%, corroborando com a eficiência encontrada no presente estudo de 85%.

Figura 20. Resultados da análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus (A) antes do tratamento de efluentes, (B) depois do tratamento de efluentes.

(A)



(B)



A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, sendo muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Para tanto a Figura 21 apresenta os resultados referentes a este parâmetro de investigação no efluente de laranja, antes (Figura 21 A) e depois do tratamento de efluentes (Figura 21 B).

Figura 21- Resultados da análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO), do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, (A) antes do tratamento de efluentes, (B) depois do tratamento de efluentes.



A concentração média obtida para DQO na lagoa de equalização foi de 3503,23 mg. L⁻¹ e após o tratamento de efluentes observou-se uma redução na lagoa de polimento, apresentando concentração média de 641,49 mg. L⁻¹, atingindo uma eficiência média de 82%, respectivamente.

Quando se analisa a DQO em relação a DBO (Figura 20), é esperado que o valor seja superior, percebe-se que neste trabalho o comportamento incidu desta forma, este fato ocorre porque os resultados da DBO medem apenas a fração biodegradável. Os autores Chernicharo *et al.*, (2006) citam que quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais biodegradável será o efluente.

Andrade e Silva (2018) analisando a DQO de diferentes lagoas obteve resultados diversificados e superiores ao presente estudo, com valores 5179,66 mg. L⁻¹ e 3120,66 mg. L⁻¹ para a lagoa de equalização.

Lemos (2017), analisando efluentes de uma empresa de laranja, nos meses de janeiro e fevereiro obteve valores da ordem de 3220,90 mg. L⁻¹ e 4056,90 mg. L⁻¹, respectivamente, resultados no mesmo patamar com a concentração média da lagoa de equalização do presente estudo. A autora também analisou a lagoa de polimento e obteve resultados de 300 mg. L⁻¹.

O CONAMA não traz referência no padrão e na classificação dos corpos d'água de lançamento de efluentes, porém, outras legislações ambientais estabelecem tais limites, sendo parâmetro global utilizado como indicador do conteúdo orgânico de águas residuárias e superficiais, e bastante utilizado no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos.

O efluente gerado por uma indústria cítrica, a partir das perdas de suco no processo, assim como restos de frutos, acabam sendo a parte que mais afeta o sistema de tratamento como pode ser avaliado. As cascas, sementes e poupas não formuladas que são despejados, contribuem para o aumento de DQO, tornando seu tratamento mais dificultoso.

Ponezi *et al.*, (2000) encontrou eficiências de remoção iguais a 78% e 79%, para DQO e DBO, respectivamente, em efluente de indústria de processamento de frutas cítricas, tratado por lodos ativados. Yano e Gomes (2013), encontraram eficiências de remoção iguais a 97%, para ambos parâmetros, em efluente de indústria alimentícia, também tratado por lodos

ativados. Nour (1991), encontrou remoção de 45% para a concentração de DQO através do processo de tratamento eletrolítico.

Percebe-se que tratamentos por sistemas através de lodos ativados permitem atingir elevada eficiência de remoção. Infere-se, então, que o sistema da indústria Brasil Citrus em estudo está correspondendo ao esperado.

pH

A Figura 22 apresenta os resultados encontrados para os parâmetros de pH para a lagoa de equalização e lagoa de polimento. Os resultados obtidos para o pH da lagoa de equalização são apresentados na Figura 22 A. Observa-se que os valores obtidos variaram de 4,60 a 8,41 com valor médio igual a 6,94. Na lagoa de polimento, os valores variaram entre 5,90 a 8,30, sendo a média dos valores igual a 7,39.

Pessoa e Jordão (2009), citam que o pH dos efluentes industriais podem variar de 6,0 a 9,0, uma vez que a vida aquática se estabelece nessa faixa, sendo favorável para sua sobrevivência. Dessa forma, os resultados evidenciam estar adequados a este parâmetro.

Sperling (2005), relata que pH abaixo de 6,0 potencializa a possibilidade de corrosividade e pH acima de 9,0 facilita problemas de incrustações nas tubulações das empresas.

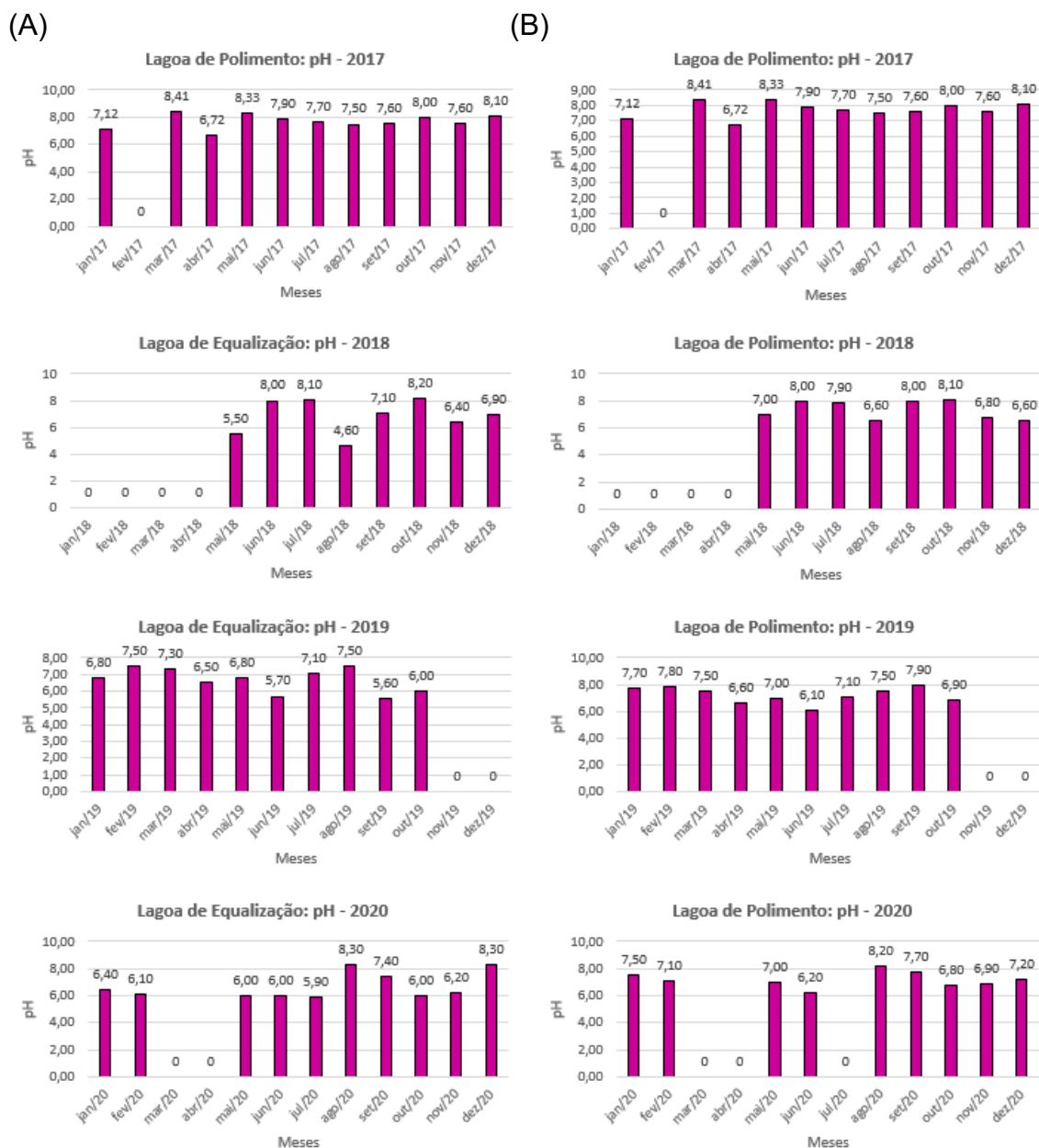
Lemos (2017), em seu estudo no decorrer de alguns meses (janeiro e fevereiro) relatou pH próximos a 6,1 para o efluente sem tratamento, e atrelou este fato aos ácidos presentes na laranja que tendem a ocasionar a baixa do pH. A mesma autora analisou o pH após processo de tratamento do efluentes e observou valores de 7,8 estes resultados são similares aos resultados encontrados na lagoa de polimento, neste estudo.

O potencial hidrogeniônico (pH) influi em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas e/ou efluentes. É um parâmetro importante em estudos no campo do saneamento ambiental. No tratamento físico e químico de efluentes industriais muitos são os exemplos de reações dependentes do pH: a precipitação química de metais pesados ocorre em pH elevado, à oxidação química de cianeto ocorre em pH elevado, a redução do cromo hexavalente à forma trivalente ocorre em pH baixo; a química de fenóis em pH baixo; a quebra de emulsões oleosas mediante

acidificação oxidação. O arraste de amônia convertida à forma gasosa se dá mediante elevação de pH (APHA, 1998).

A COPAM (n°1) cita que o pH aceitável para tratamento de efluentes é na faixa de 6,0 a 9,0, corroborando com os valores observados no presente estudo.

Figura 22. Resultados da análise de pH do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, (A) antes e (B) depois do tratamento de efluentes.

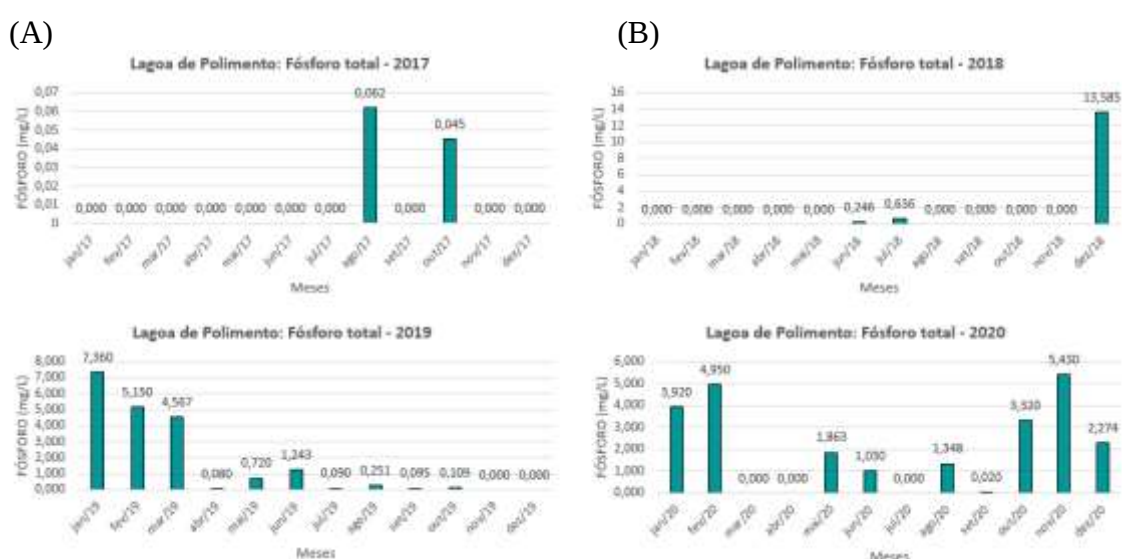


Fósforo

A Figura 23, apresenta os valores de Fósforo total, para os quais não obteve resultado na lagoa de Equalização. Esses dados corroboram com Nemerow (1978), que em seu estudo com efluentes observou em efluentes não tratados a ausência de fósforo.

No entanto percebe-se um incremento nesta biomolécula para a lagoa de polimento com teor médio de 2,38 mg. L⁻¹.

Figura 23. Resultados da análise de Fósforo Total, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus, na lagoa de polimento.



Novais e Smith (1999), registraram que a concentração crítica inicial para o estabelecimento de efeitos de eutrofização em lagos pode ser tão baixa como 0,02 mg. L⁻¹ de Fósforo.

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece o limite de 0,020 a 0,15 mg. L⁻¹ de fósforo total, de acordo com a classificação das águas doces em classes 1, 2 e 3, estabelecendo que, não havendo metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final para este parâmetro no efluente a ser lançado, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, o padrão de qualidade a ser obedecido será aquele que consta na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado (BRASIL, 2005).

A liberação excessiva de fósforo pode provocar um aumento na população de organismos aquáticos. O crescimento exagerado da população de algas em águas doces, decorrente da elevada concentração de nutrientes, é um fenômeno

bastante comum, tendo como consequência a depleção de oxigênio em corpos aquáticos resultante da oxidação da biomassa formada por algas mortas, levando a uma situação de anaerobiose, fatal para muitos organismos (PESSOA; JORDÃO, 2009).

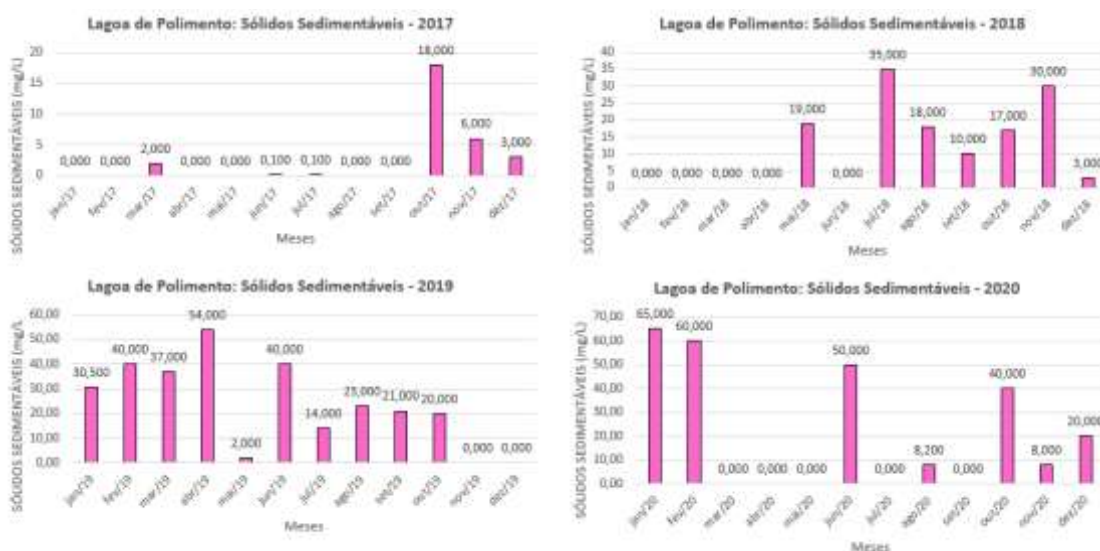
O fósforo está presente nos esgotos sob a forma de ortofosfato, polifosfato, e fósforo orgânico. O fósforo apresenta-se na água sob duas formas principais: total e solúvel. É essencial para o crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, e também para o crescimento de algas, podendo levar a eutrofização dos corpos d'água.

Em um processo de tratamento de efluentes, o acréscimo deste composto pode acontecer devido ao processo empregado no tratamento do efluente. Paganini (1997), relaciona que fósforo ocorre por precipitação química com alumínio e ferro e na forma de fosfato de cálcio, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, por adsorção no complexo de troca e na superfície das argilas, e por absorção pela vegetação em crescimento nas rampas de tratamento.

Os sistemas de tratamento de efluentes são baseados na transformação dos poluentes dissolvidos e em suspensão em gases inertes e ou sólidos sedimentáveis para a posterior separação das fases sólida/líquida.

Uma das análises averiguadas pela empresa foram os sólidos sedimentáveis (Figura 24).

Figura 24. Resultados da análise de Sólidos Sedimentáveis, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus.



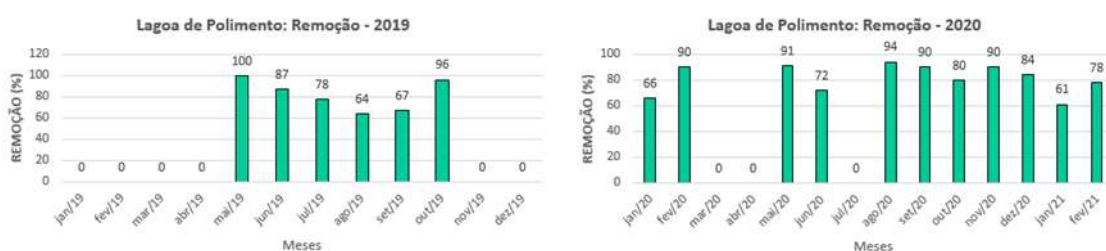
Observou-se que não houve resultados para a lagoa dos efluentes de entrada (Equalização), no entanto este resultado já era esperado uma vez que os sólidos sedimentados, são formados a partir do emprego de tratamentos, para arrastar impurezas, e assim ocorrer a sedimentação das mesmas.

Este fato é concretizado quando se observa a lagoa de saída (polimento), onde relatou-se teor médio de 23, 24ml.L⁻¹.

A Resolução CONAMA 357/05 prevê que as águas de efluentes devem estar virtualmente ausentes materiais flutuantes e substâncias facilmente sedimentáveis.

Assim como o parâmetro de sedimentação de sólidos, o percentual de remoção de impurezas das águas de tratamento de efluentes é quantificada na lagoa de saída. Para tanto nota-se que a Figura 24, demonstra que a lagoa de Equalização não apresenta resultados para esta análise, por se tratar de uma lagoa de entrada de efluentes que não receberam tratamentos.

Figura 25. Resultados da análise de Percentual de Remoção, do relatório ambiental do tratamento de efluentes da Empresa Brasil Citrus.



Logo, percebe-se que a lagoa de polimento apresentou as porcentagens para este parâmetro avaliado, com um maior valor no mês de novembro / 2020, com 90% de remoção.

Para dos demais meses analisados os resultados demonstram valores acima de 60%, no entanto quanto maior for esta porcentagem, mais satisfatório foi o processo de purificação dos compostos problemáticos ocasionados pelos efluentes do processo da laranja.

Estes resultados são próximos aos encontrados por Bila e Dezotti (2007) com sistemas de tratamento similares, cujas remoções variaram de 78% a 99,8% para efluentes de um processo da laranja.

Nour (1991), encontrou uma remoção satisfatória de 90% para os sólidos sedimentáveis, através de outro tratamento de efluente, utilizando aplicação do sistema eletrolítico.

Leite (2008) descreve que quando não se tem a remoção desses poluentes por completo nos sistemas de tratamento de efluentes industriais, os corpos receptores serão atingidos, acarretando diversos problemas ambientais. Além da contaminação dos recursos hídricos, microorganismos patógenos, como bactérias podem adquirir resistência a fármacos, etc.

6. CONCLUSÃO

Contudo, percebe-se que os índices toleráveis dos aspectos estudados no presente estudo seguem o mesmo padrão para indústrias de portes diferentes, no entanto a estimativa de controle e expectativas são maiores nas empresas de grande porte, onde tem-se uma função ambiental de responsabilidade, extremamente importantes, para a atuação e seguimento industrial, e até mesmo referência para as novas indústrias implementadas, seguindo assim um controle rigoroso sobre as melhorias destes efluentes.

O controle e tratamento dos efluentes da laranja necessitam ser empregados em qualquer porte de empresa apresentado, principalmente por se tratar de um setor que tem crescimento constante, e com carga poluidora alta.

Atualmente independente do segmento industrial, a prática da sustentabilidade e do reaproveitamento através de tratamento de resíduos como os dos efluentes, não são apenas uma melhoria na indústria, na verdade são consideradas como etapas dos processos, fazendo com que sua atuação seja imprescindível para o sucesso da empresa.

Independente de qual operação de tratamento a indústria aplicará em sua rotina, o desígnio é o mesmo, tornar subprodutos poluidores da cadeia da laranja, passíveis de reutilização sem danos ambientais, seja do porte industrial, pequeno ou grande.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPORTADORES DE CÍTRICOS (ABECITRUS). **Industrialização da laranja**. Disponível em: <http://www.abecitrus.com.br>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

Associação Nacional dos Exportadores de Suco Cítrico. **O Retrato da Citricultura**. Disponível em: <https://citrusbr.com/biblioteca/publicacoes-citrusbr/>. Acesso em 15 março de 2021.

AL-SHAMRANI, A.; JAMES, A.; XIAO, H. Separation of Oil from Water by Dissolved Air Flotation. **Colloids and Surfaces: Physico Chemical and Engineering Aspects**, Elsevier Sci., v. 209, n. 1, p. 15-26, 2002.

ANDRADE, J. SILVA. **Caracterização do efluente de uma empresa de reciclagem de garrafas pet e ajuste nas etapas de tratamento para adequação aos parâmetros legais de lançamento**. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal do Triângulo Mineiro, 2018.

BRANCO, S.M. **Hidrologia aplicada à engenharia**. 3a Ed. São Paulo: CETESB, 640 p. 1986.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio 2011.

BILA, D. M. DEZOTTI, M. **Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências**. Quím. Nova, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 651-666, Jun. 2007.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de água residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

BEAL, L.J.; RAMAN, D.R. Sequential two-stage anaerobic treatment of confectionery wastewater. **Journal Agricultural Engineering Research**, 76, 211-217, 2000.

BWOEN, E.R. Potential by-products from microbial transformation of d-limonene. **Proc. Flo. State Hort. Sci.**, v. 88, p. 304-308, 1975.

BORBA, F.H. **Aplicação dos Processos Foto - Fenton e Eletrofoculação no Tratamento de Efluente de Curtume**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2010.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle da Poluição das Águas de acordo com a lei nº 118, de 29 de junho, de 1973.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1997. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 5).

CHERNICHARO, C.A; S. et al. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado à análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 295-304, out/dez 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000400001>.

CONAMA. Resolução no 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 05 de julho de 2002. **Diário Oficial da União**, v. 136, de 17 de julho de 2002 - Seção 1.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos, SP: Editora LDIBE, 2008. v. 1.

ECKENFELDER Jr., W. W. **Industrial Water Pollution Control**. 3rd. ed. Boston, Mass.: McGraw-Hill, 2000.

FUNDECITRUS FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. **Inventário de Árvores e estimativa de safra de 2018/2019 laranja do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro**, Araraquara, 2018.

HENARES, J. F. **Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) Engenharia de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, 2015.

KAMJEA, W., T. Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories. **Journal of Cleaner Production**, v. 8, p.503-510, 2000.

LEITE, G.S. **Caracterização, por Espectrometria de Massas, dos Micro poluentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2008.

LEMOES, V.C.M. **Tratamento de Efluentes da Indústria de Sucos**. Dissertação (Pós-Graduação Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

LIMA, A.C.A. **Gerenciamento e Controle de Poluição**. Curso de Especialização em Gestão Ambiental. CEUCLAR, 2005.

LIMA. R. **Genes que protegem a agricultura**. Disponível em: <http://correio.rac.com.br/_conteudo/2013/10/capa/projetos_correio/cenario_xxi/108604-genes-que-protegem-a-agricultura.html>. Acesso em: 27 nov. 2017.

MARINHO, I.Q. **Tratamento de Efluentes da Indústria Alimentícia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

NEMEROW, N.J. **Industrial Water Pollution**. Reading . 738 p, 1978.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais** Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

NOUR, E.A.A. (1990). **Tratamento do Efluente de uma Indústria Cítrica pelo Método de Escoamento Superficial no Solo**. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 3ª ed. Aracaju: Gráfica e Editora Triunfo Ltda., 2001.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo**. 2a ed. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. p. 232.

PIVELI, R.P. **Qualidade da Água**. Apostila do Curso de Especialização em Engenharia em Saúde Pública e Ambiental da Fac. Saúde Pública – USP, 1996

PESSOA, C.A.; JORDÃO, E.P. **Tratamento de Esgotos industriais**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

Política Nacional do Meio Ambiente – **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**.

PONEZI, A. N. **Tratamento de efluente líquido da indústria cítrica por lodo ativado por batelada (LAB): tratabilidade e microbiologia**. Tese (Doutorado em 77 Engenharia Civil, na área de concentração Saneamento e Ambiente). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2000.

QUINTERO, A. Constituents and biological activity of Citrus aurantium amara L. essential oil. **Acta Horticulturae**, v. 597, n. April 2017, p. 115–117, 2004.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005, p.24 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 05 abris de 2021.

REZZADORI, K., BENEDETTI, S. **Proposições para Valorização de Resíduos do Processamento do Suco de Laranja**. International Workshop Advances In Cleaner Production. São Paulo, Maio, 2009.

SANTOS, E. V. M. **Desnitrificação em Sistemas de Lodo Ativado**. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária)- Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

SANTOS, B.S; PATTO, N.; TAVARES, T.D. **Exportação do Suco de Laranja pelo Porto de Santos**. X Fateclog. Logística e a Sociedade do Conhecimento. Guarulhos, São Paulo, 2019.

SILVA, D. J.P. **Diagnóstico do consumo de água e da geração de efluentes em uma indústria de laticínios e desenvolvimento de um sistema multimídia de apoio**. Tese (Pós-graduação Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.

SHARMA, N.; TRIPATHI, A. **Effects of Citrus sinensis (L.) Osbeck epicarp essential oil on growth and morphogenesis of Aspergillus niger (L.) Van Tieghem. Microbiological Research**, v.163, n.3, p.337-344, 2008.

THOMAS, A.F.; BESSIÉRE, Y. L. Limonene. **Natural products reports**. v. 6, n. 3, p. 291-309, 1989.

TILLEY, E. **Compendium of sanitation systems and technologies**. 2nd. ed. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014.

URIBE, S & PENA, A. Toxicity of alleopathic monoterpene suspensión on yeast, dependence on droplet size. **Journal of chemical ecology**, v. 16, p. 1399-1408, 1990.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais, 2002. 428 p. v. 4.

VON SPERLING, M. **Princípios Básicos de Tratamento de Esgotos – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais, 1997. 211 p. v. 2.

ZHANG, R. H.; YIN, Y.; SUNG, S.; DAGUE, R. R. Anaerobic treatment of swine waste by the anaerobic sequencing batch reactor. **Transactions of the ASAE**, 40 (3), 761-767, 1997.

ZOUBOULIS, A. I.; AVRANAS, A. Treatment of Oil-in-Water Emulsions by Coagulation and Dissolved-Air Flotation. **Colloids and Surfaces A: Physico Chemical and Engineering Aspects**, Elsevier Sci., v. 172,153-161, 2000.