



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



CAROLINE HORANA LUIZ PINHEIRO

PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES FRIGORÍFICO E CULTIVO DE PEIXE

Ji-Paraná

2021

CAROLINE HORANA LUIZ PINHEIRO

**PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES FRIGORÍFICOS E CULTIVO DE
PEIXE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Dresch Webler

Ji-Paraná

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

P654p Pinheiro, Caroline Horana Luiz.

Pós-tratamento de efluentes frigorífico e cultivo de peixe / Caroline Horana Luiz Pinheiro. -- Ji-Paraná, RO, 2021.

57 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Alberto Dresch Webler

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Reuso de água. 2.Processos Oxidativos Avançados. 3.Sistemas de Recirculação de Aquacultura. 4.Legislação. I. Webler, Alberto Dresch. II. Título.

CDU 628.16:639



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL - JI-PARANÁ

CAROLINE HORANA LUIZ PINHEIRO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná. Aprovada no dia 27 de setembro de 2021, pela Banca Examinadora constituída pelos Docentes:

Prof. Dr. Alberto Dresch Webler
Orientador

Prof. Dr. Robson Alves de Oliveira
Membro da Banca 1

Dr. Inalmar Dantas Barbosa Segundo
Membro da Banca 2

Ji-Paraná, 27 de setembro de 2021



Documento assinado eletronicamente por **ALBERTO DRESCH WEBLER, Docente**, em 28/09/2021, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ROBSON ALVES DE OLIVEIRA, Docente**, em 28/09/2021, às 10:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Inalmar Dantas Barbosa Segundo, Usuário Externo**, em 28/09/2021, às 11:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0768474** e o código CRC **AFEE69C3**.

DEDICATORIA

Dedico este trabalho a minha mãe e meu irmão que me apoiaram, fizeram de tudo para que esse sonho se realizasse, também dedico a minha sogra e meu sogro que me adotaram como filha durante a graduação enquanto estive longe da minha família.

AGRADECIMENTO

Agradeço a DEUS, por realizar meu sonho, no tempo certo e da melhor forma possível, pois vi o seu amor e cuidado deste o dia que me escrevi no processo seletivo, e até aqui ELE me ajudou!

Agradeço a minha mãe por ser meu maior exemplo, uma mulher forte, que criou seus três filhos sozinha, que se destaca na vida profissional como mecânica, e que não mediu esforço para realizar meu sonho, me ensinou a ser independente, me deu asas e me ensinou a voar em busca dos meus sonhos mesmo que fosse longe de seu ninho.

Ao meu irmão Caio por me motivar, pelos livros e materiais comprados, pelas cobranças em obter aprovação nas matérias, por ser meu protetor e amigo.

A minha irmã gêmea Carolaine, por alegrar meus dias e por ter me dado o melhor presente da vida, que é ser tia. Todo meu esforço e dedicação teve uma motivação e minha maior motivação foi e sempre será minha família.

Ao meu noivo Jhonatan Decoté que me ajudou nas produções e vendas de trufas para meu sustento, que me mimou nos dias de estresse e choro, que nunca mediu esforço para me ajudar, que não disputou pelo meu tempo e teve paciência, pois sabia da minha prioridade no momento.

A minha sogra Sandra, por tanto amor, por me cuidar como filha, pelas marmitas nos dias de correria e nos dias de laboratório, por me acolher em sua casa, por me cobrar dizendo que eu tinha que estudar e me forma. Toda a minha admiração por essa mulher tão dedicada a família.

Ao meu sogro Decoté que me mostrou como é ser amada como filha e como é ter um pai, por se preocupar com minha saúde quando passava a noite em claro, por me aconselhar a largar tudo que atrapalhava meu desenvolvimento na faculdade.

Agradeço minha amiga Gabrielly, por disponibilizar sua casa, internet e computador no último dia de inscrição do processo seletivo, por me aconselhar, torcer e sempre ficar feliz com minha vitória.

A minha amiga Milena que me acompanhou no processo de matrícula e na mudança de Ariquemes para Ji-paraná. Amiga que se tornou irmã mais nova ao longo dos 10 anos de amizade, amiga que fica feliz pelo meu sucesso, que me aconselha, que me anima nos dias escuros. Agradeço aos seus avôs Benedito e Alestina que me acolheram em sua casa enquanto procurava um apartamento.

Ao meu Amigo Paulo Henrique, pois esteve comigo no momento mais escuro e doloroso da minha vida. No abismo da tristeza ele sempre soube as palavras certas em me dizer até mesmo sem contar meus problemas, arrancou sorrisos, sempre exaltou minhas qualidades, acreditou no meu potencial e esteve comigo até me ver bem e feliz.

Agradeço a Família Decoté, Família Moraes, Família Araújo, Karilha Rodrigues e Ivan Moreira, por me acolherem, pela amizade e por contribuírem com minha formação acadêmica.

A UNIR pela oportunidade de ter esse ensino, pelas várias experiências, como aluna, monitora especial, pelos auxílios e bolsas que recebi durante toda a graduação, aprendizagem e pelos choros que me fizeram crescer e me ensinaram a não desistir.

A PROPESQ/UNIR e ao CNPq por possibilitarem o desenvolvimento dessa pesquisa através da concessão da bolsa de iniciação científica.

Ao professor Alberto Dresch Webler, pela oportunidade de ser aluna de iniciação científica que me proporcionou grande aprendizado e experiências que se resultaram neste trabalho. Agradeço pela paciência, compreensão e por toda orientação, deixo aqui todo a minha admiração por esse grande profissional e pela pessoa que és.

A banca examinadora, Professor Robson Alves de Oliveira e Inalmar Dantas Barbosa Segundo foi um privilégio em tê-los e receber todas as considerações contribuinte para este trabalho.

Aos meus colegas de pesquisa, Graciele Monteiro, Gustavo Tureta, Lorrann Marré, Onéas Eduardo, Hildevan Teixeira e aos Técnicos de laboratório Tiago e Adão, que contribuíram com a produção deste trabalho, agradeço pelo companheirismo.

A minha turma 2016, que já deixou saudades. É a turma que pedi a Deus, turma unida que proporcionou momentos incríveis, momentos de alegria, lutas e também vitórias. Levarei em meu coração e memória todos os nossos momentos.

As minhas amigas Andressa, Daíse, Dara, Rafaela, Giovanna, Graciele, Karoline, Lindolaine, Nayara, Nelma e Maylla, Niely que também foi resposta das minhas orações, como elas são incríveis, cada uma ocupa um lugarzinho especial no meu coração como também leva a minha admiração, cada uma com sua peculiaridade sempre fazendo meus dias melhores, compartilhando conhecimento, vida, alegria, choro, desespero, conquistas e amor mesmo de forma indireta.

A todos meus amigos, a qualquer pessoa que contribuiu direta ou indiretamente no meu conhecimento e formação, deixo minha gratidão.

“Nos gloriamos nas tribulações; sabendo que a tribulação produz a paciência, e a paciência a experiência, e a experiência a esperança. E a esperança não traz confusão, porquanto o amor de Deus está derramado em nossos corações...”

Romanos 5:3-5

RESUMO

Assim como em várias indústrias alimentícias, os impactos ambientais das atividades de frigoríficos, abatedouros e cultivo de peixes estão relacionados com o alto consumo de água, geração de efluentes com grande potencial poluidor oriundos de diversas etapas do processo produtivo. Para minimizar o uso deste recurso, como também diminuir os impactos provocados pela atividade de produção de organismos aquáticos têm surgido tecnologias como os sistemas de recirculação RAS (*Recirculation Aquaculture System*). Dentre as técnicas aplicadas, a ozonização é uma técnica de tratamento eficiente, pois tem o potencial de degradar compostos orgânicos tóxicos, remoção de matéria orgânica recalcitrante e favorece o aumento da biodegradabilidade do efluente. Para isto, foi utilizada metodologia diferente para cada efluente, a seguir: Para efluente frigorífico foram realizadas análises em diferentes pH's 4, 6, 7, 8 e 10 sob diferentes tempos. Para o efluente do cultivo de peixes o ozônio foi avaliado em combinação com biofiltro aeróbio de leito fixo, com duração de 60 minutos e nos diferentes tempos em temperatura natural e temperatura controlada. Os resultados do efluente frigorífico mostram que a aplicação de ozônio apresentou melhor remoção de cor alcançando 100% e turbidez 71,62% no tempo de 10 min de exposição, mas manteve a concentração significativa dos nutrientes nitrogênio ocorrendo pequenas reduções de 18% e fósforo de 25,79%. Os resultados de efluente de cultivo de peixes, apresentou remoção máxima de nitrogênio amoniacal pelo tratamento do ozônio de apenas 18% no efluente ozonizado aos 20 minutos, já para a desinfecção, o tratamento alcançou 99,9% de eficiência, possibilitando uma destinação, como forma de reuso. Ambos efluente tratado promoveu redução do pH devido a interação dos radicais com as moléculas presentes no efluente, como, dióxido de carbono (CO₂). Todos os ensaios foram capazes à CONAMA 430 que trata de padrões de lançamento de efluentes, porém nem todos removeram formas de nitrogênio a ponto de adequá-los às exigências da CONAMA 357.

Palavras-chave: Reuso de água, Processos Oxidativos Avançados, Sistemas de Recirculação de Aquicultura, legislação.

ABSTRACT

As in several food industries, the environmental impacts of the activities of slaughterhouses, slaughterhouses and fish farming are related to the high consumption of water, generation of effluents with great polluting potential arising from different stages of the production process. To minimize the use of this resource, as well as to reduce the impacts caused by the activity of production of aquatic organisms, technologies such as RAS recirculation systems (Recirculation Aquaculture System) have emerged. Among the applied techniques, ozonation is an efficient treatment technique, as it has the potential to degrade toxic organic compounds, remove recalcitrant organic matter and favor the increase in the biodegradability of the effluent. For this, a different methodology was used for each effluent, as follows: For refrigerated effluent, analyzes were performed at different pH's 4, 6, 7, 8 and 10 under different times. For fish farming effluent, ozone was evaluated in combination with a fixed-bed aerobic biofilter, lasting 60 minutes and at different times at natural temperature and controlled temperature. The results of the refrigerated effluent show that the application of ozone presented better color removal reaching 100% and turbidity 71.62% in the time of 10 min of exposure, but maintained the significant concentration of nutrients nitrogen, with small reductions of 18% and phosphorus. 25.79%. The results of fish culture effluent showed a maximum removal of ammonia nitrogen by ozone treatment of only 18% in the ozonized effluent at 20 minutes. For disinfection, the treatment reached 99.9% efficiency, enabling a destination such as form of reuse. Both treated effluent promoted a reduction in pH due to the interaction of radicals with molecules present in the effluent, such as carbon dioxide (CO₂). All tests were able to CONAMA 430 which deals with effluent discharge standards, but not all of them removed forms of nitrogen to the point of adapting them to the requirements of CONAMA 357.

Keywords: Water reuse, Advanced Oxidative Processes, Aquaculture Recirculation Systems, legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos tipos de processos oxidativos avançados, adaptado de Miklos et al, Araújo e colaboradores.....	17
Figura 2 - Sistema de recirculação do cultivo de alevinos.	23
Figura 3 - Representação simplificada do sistema de recirculação.....	25
Figura 4 - Dreno central do tanque de cultivo onde ocorrerá sucção das partículas de sólidos que serão transportadas ao decantador.	25
Figura 5 - Sistema filtro biológico (MBBR)	26
Figura 6 - Sistema de aeração.....	27
Figura 7 - Sistema de bombeamento do efluente tratado.	27
Figura 8 - Gerador de ozônio para ensaio em diferentes tempos.	32
Figura 9 - Tratamento combinado, ozônio – biofiltro.	33
Figura 10 - Tratamento em um frasco lavador de gases.....	34
Figura 11 - Variação dos valores de pH em função do tempo.	36
Figura 12 - Cor do efluente bruto (1) e tratado com ozônio (2).	37
Figura 13 - Eficiência da remoção da amônia no efluente ozonizado inserido no biofiltro.	39
Figura 14 - Variação dos valores de pH em função do tempo.	41
Figura 15 - Remoção de cor em diferentes valores de pH e comprimentos de onda em função do tempo, (a) 400 nm, (b) 436 nm, (c) 525 nm e (d) 620 nm.....	42
Figura 16 - Resultados médios de temperatura em função de tempo.....	43
Figura 17 - Remoção da turbidez em função do tempo.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atividades para destinação de água de reúso para fins não potáveis.	15
Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos conforme Resolução do Conama n.357/2005.....	22
Tabela 3 - Lista de materiais utilizados para a montagem do sistema de recirculação do cultivo de alevinos.....	23
Tabela 4 - Parâmetros, métodos e referências nos processos analíticos.....	28
Tabela 5 - Padrões de lançamento alemães para a indústria têxtil: parâmetro de cor. ..	31
Tabela 6 - Caracterização do efluente de piscicultura com estatística descritiva dos parâmetros físico e químicos.	35
Tabela 7 - Análises microbiológicas do efluente de piscicultura, desinfecção por meio do ozônio.	38
Tabela 8 - Valores de nitrogênio e fósforo do efluente tratado.	44

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 REFERENCIAL TEÓRICO	14
1.1 REÚSO DE EFLUENTES FRIGORÍFICO	14
1.2 PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs).....	15
1.3 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE AQUACULTURA - (RAS).....	19
1.4 OZONIZAÇÃO NA PISCICULTURA.....	20
1.5 PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	21
2. MATERIAIS E MÉTODOS	22
2.1 DESCRIÇÕES DO EXPERIMENTO.....	22
2.1.1 DESENVOLVIMENTO E SISTEMA	24
2.1.2 TANQUE DE CULTIVO E DECANTADOR	25
2.1.3 FILTRO BIOLÓGICO (MBBR).....	25
2.1.4 SISTEMA DE BOMBEAMENTO E AERAÇÃO	26
2.1.5 EFLUENTE FRIGORÍFICO.....	27
2.2 COLETAS DAS AMOSTRAS	28
2.3 PROCEDIMENTO ANALÍTICO	28
2.3.1 pH, TEMPERATURA E TURBIDEZ	29
2.3.2 NITRITO (NO_2^-)	29
2.3.3 NITRATO (NO_3^-).....	29
2.3.4 NITROGÊNIO AMONÍACAL (NH_4^+).....	30
2.3.5 FÓSFORO TOTAL	30
2.3.6 COR.....	30
2.3.7 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA	31
2.4 ENSAIOS DE TRATABILIDADE.....	32
2.4.1 OZÔNIO.....	32
2.4.2 OZONIZAÇÃO DO EFLUENTE DE PISCICULTURA	33
2.4.3 OZONIZAÇÃO EFLUENTE FRIGORÍFICO	33
2.5 COMPARAÇÃO DOS DADOS COM AS NORMAS VIGENTES	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1 EFLUENTE DE PISCICULTURA	34
3.1.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH).....	36
3.1.2 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE COR.....	37
3.1.3 COLIFORMES	38

3.1.4 ANÁLISE DO EFLUENTE OZONIZADO NO REATOR PROCESSO BIOLÓGICO PARA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONICAL (NH₄⁺-N)	39
3.2 EFLUENTE FRIGORÍFICO	40
3.2.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH).....	40
3.2.2 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE COR.....	41
3.2.3 TEMPERATURA	42
3.2.4 TURBIDEZ	43
3.2.5 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
REFERÊNCIAS	48

INTRODUÇÃO

Devido ao aumento da população à demanda crescente por três domínios como, consumo de água, produção de alimentos e a geração de energia, dessa forma ocorre rápida formação de centros urbanos, às variações alimentares e crescimento econômico. Dentre estes o maior consumidor mundial de água doce é a agricultura com mais de um quarto da energia usada mundialmente devido à produção de alimentos (ONU, 2017).

Sem água a produção de bens diminui e por conseguinte a economia enfraquece. Sendo este elemento um fator limitante na produção de alimentos, esses argumentos também foram inseridos nas atividades agropecuárias (PALHARES, 2016; RODRIGUES E RIPPEL, 2013).

O desenvolvimento econômico/social mundial tem influenciado no elevado consumo de carne (HENCHION et al., 2014) se tornado o produto preferencial do consumidor e em termos de atributos sensoriais os produtos à base de carne vem de hábitos culturais em todo o mundo (FONT-I-FURNOLS, GUERRERO, 2014). A produção e o consumo carnívoro afetam de forma positiva quanto negativa os três pilares da sustentabilidade – sociedade, economia e meio ambiente (ALLIEVI et al., 2015).

Diante disso, a indústria frigorífica de carne bovina tem grande importância na economia do país tendo faturamento de cerca de US \$7,65 bilhões em 2019 (ABIEC, 2020). Atualmente o segundo maior produtor e o maior

exportador mundial de carne bovina é o Brasil com, 76,3% da produção destinado para consumo interno e apenas 23,6% da produção é exportada (ABIEC, 2020).

Na área de agropecuária encontramos o cultivo de peixe onde a produção brasileira alcançou 802.930t em 2020, tendo 5,93% de crescimento sobre o ano anterior de 758.006t. Rondônia está na liderança nos segmentos de cultivos de peixes nativos com 65.500 toneladas (PEIXE BR, 2021). Dentre essa produção a água é requerida para abastecer as unidades de cultivo, viveiros, tanques e etc. Sendo utilizado para início do processo de produção, repor as perdas por evaporação, infiltração que ocorre no transcorrer do ciclo, renovação das águas diluindo e/ou eliminando resíduos gerados pelo cultivo e conseqüentemente, manter a qualidade da água (OLIVEIRA e SANTOS, 2011; KUBITZA, 2008).

Esse aumento da urbanização, industrialização e pressões populacionais resultaram em desafios crescentes no gerenciamento de águas residuais (ALLAOUI et al., 2015). Assim como em várias indústrias alimentícias, os impactos ambientais das atividades de frigoríficos, abatedouros e cultivo de peixes estão relacionados com o alto consumo de água, a geração de resíduos sólidos, geração de efluentes com grande potencial poluidor e emissões gasosas oriundos de diversas etapas do processo produtivo (SCHENINI E ROSA, 2014). A descarga de efluentes em corpos d'água tornou-se um importante rota de descarte, os impactos causados por esse tipo de atividade justificam a aplicação de ações de prevenção da poluição conhecida, como, comando e controle que envolve a definição de limites ou o estabelecimento de padrões relacionados à quantidade e qualidade do efluente sendo depositado para garantir a proteção do corpo de água receptor (ALLAOUI et al., 2015).

As estações de tratamento de efluente são projetadas para coletar e tratar os esgotos domésticos, resíduos comerciais e industriais de maneira que o efluente não comprometa a capacidade do corpo hídrico receptor e que suporte valores econômicos, ecológicos e sociais (MORIS, 2017). Os processos de pós-tratamento são aplicados para produzir efluentes de maior qualidade antes da descarga no corpo receptor.

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são alternativas que têm se destacado devido à sua maior eficiência na remoção de poluentes orgânicos do efluente. Dentre as técnicas aplicadas, a ozonização é uma técnica de tratamento eficiente, pois tem o potencial de degradar compostos orgânicos tóxicos, remoção de matérias orgânica

recalcitrante e favorece o aumento da biodegradabilidade do efluente (JAGADEVAN, 2013; ASGHAR, 2015).

De com Resolução 430, de 13 de maio de 2011 os efluentes somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que satisfaçam às condições, padrões e exigências legais. Diante deste cenário, a validação de tecnologias limpas é importante, capazes de remover os poluentes presentes, assim assegurando o desenvolvimento sustentável da aquicultura e pecuária brasileira.

Visto isso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência do processo de ozonização no pós-tratamento de efluentes frigoríficos bovinos e no sistema de recirculação no cultivo de peixes, por meio da verificação do potencial poluidor e análise de remoção de patógenos, nutrientes e cor dos efluentes.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 REÚSO DE EFLUENTES FRIGORÍFICO

A deficiente gestão de águas residuais nos setores de indústria frigorífica contribui para alteração da qualidade da água. Os problemas mais sérios de poluição da água são os variados tipos de composição de substâncias, das quais muitas são tóxicas, causando efeitos adversos sobre todos os seres vivos de curso hídrico (MIERZWA, 2002). Sendo assim, com a expansão industrial focada em atender às necessidades da população abundante e crescentes, o recurso finito de água doce do mundo continuará sofrendo estresse sem precedentes a cada dia (EGBUIKWEM, 2020).

A escassez de água e o aumento da população mundial, exige grandes quantidades de alimentos e recursos hídricos, desta forma, a prática de reaproveitamento de águas residuais é indispensável e essencial. Segundo Nações Unidas (2018) as regiões habitadas por mais de 25% da população mundial já se encontram em condições em que a demanda de água ultrapassa a oferta.

O tratamento de efluentes seguido de reúso é considerada a alternativa mais adequada e confiável para a gestão sustentável da água (Marteleira et al., 2014) e para o desenvolvimento agroindustrial (VERGINE et al., 2017). A reutilização é acompanhada por uma sequência de benefícios e grandes avanços para a produção de efluentes tratados seguros, como, remoção bem-sucedida de nutrientes, metais e demanda

química de oxigênio (DQO) de níveis baixos, reduzindo o impacto das descargas de efluentes nos recursos hídricos e permitindo ciclagem de nutrientes (FATTA-KASSINOS et al., 2011, RIZZO et al., 2013, ABEGUNRIN et al., 2016, KÜMMERER et al., 2018, PIÑA et al., 2018). Vergine et al. (2017), constataram que nos períodos de seca a água residual tratada reduz o estresse sobre os recursos convencionais.

Desta forma, o reúso é um instrumento de extrema importância na busca de controle de perdas, desperdícios, redução dos elevados volumes de efluentes produzidos e do consumo de água. Com o aumento da demanda de água se tem exigido um reúso planejado, mais racional e eficiente, garantindo a conservação dos recursos e acrescentando vantagem econômica (OLIVO 2012).

Na Tabela 1, são apresentadas atividades de reúso previstos de acordo com a resolução nº 54/2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), visando minimização de geração de resíduos a fim de não causar grandes impactos ambientais, fortalecendo a tomada de ações planejadas de reúso de águas residuárias para fins potáveis e não potáveis (ESTENDER; PINHEIRO, 2015).

Tabela 1 - Atividades para destinação de água de reúso para fins não potáveis.

Destinação	Atividades usuais
Fins urbanos	Irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana
Fins agrícolas e florestais	Produção agrícola e cultivo de florestas plantadas
Fins ambientais	Implantação de projetos de recuperação do meio ambiente
Fins industriais	Processos, atividades e operações industriais
Aquicultura	Criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos

Fonte: Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional Recursos Hídricos.

1.2 PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs)

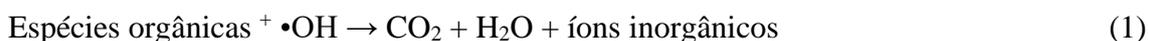
O aumento do padrão de vida das sociedades e o desenvolvimento da indústria criaram problemas associados à remoção de contaminantes de águas poluídas, especialmente águas residuais. Nas estações de tratamento de águas residuais (ETEs) os métodos tradicionais de tratamento usados são insuficientes para aniquilar completamente os compostos inseridos pela atividade humana (KIEJZA, 2021).

Para que os regulamentos de descarte ou reutilização de águas residuais sejam atendidos é necessária combinação de processos físicos, químicos e biológicos. Desta forma, os tratamentos secundários consistem em métodos biológicos que podem ser aeróbicos ou anaeróbicos. Os sistemas anaeróbicos são menos eficientes na remoção de matéria orgânica (DBO), porém mais baratos e fáceis de operar (LIU D.H.F, LIPTAK B.G., 2000; AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 1997 e GRAY N.F. 2005). O tratamento terciário, consiste em métodos de desinfecção microbiana. Também é utilizado para remoção de matéria orgânica, nutrientes e desintoxicação (SHARMA et al., 2018). Aplicação de tecnologias avançadas são usados atualmente para tratamento terciário, bem como os processos de oxidação avançados (DENG Y., ZHAO R. 2015; MOHAJERANI M., MEHRVAR M., EIN-MOZAFFARI F., 2009).

Segundo Rekhate (2020), os processos avançados de oxidação (POAs) são alternativas que têm se destacado devido à sua maior eficiência na remoção de poluentes orgânicos do efluente, são um conjunto de procedimentos de tratamento químico, capazes de remover materiais recalcitrantes por reações de oxidação com um poderoso radical hidroxila não seletivo ($\text{OH}\cdot$) que podem aumentar a biodegradabilidade das águas residuais.

Os métodos de POAs dependem da formação de espécies oxidantes altamente reativas *in situ*, principalmente radicais hidroxila ($\text{OH}\cdot$). Os radicais OH são altamente habilidosos, ativo, poderoso e presentes em todas as partes, não seletivo com reação eletrofílico, seu potencial redox é de 2,8 V, que proporciona uma rápida oxidação e degradação de uma série de contaminantes, subtraindo um átomo de hidrogênio de carbono alifático, ou então a adição de um átomo de hidrogênio nas ligações duplas e anéis aromáticos (WANG e XU, 2011; OTURAN e AARON, 2014).

O $\text{OH}\cdot$ é composto capaz de destruir totalmente os compostos orgânicos em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) de acordo com a Equação (1)



Para $\text{OH}\cdot$ os compostos orgânicos formam ligações duplas carbono-carbono em sua estrutura e são mais reativos, portanto, o tempo de vida do $\text{OH}\cdot$ é extremamente curto ($t \leq 10^{-3}\text{s}$). Desta forma quando $\text{OH}\cdot$ é formado, são geradas as várias reações elementares (KUMAR, 2021). Segundo Rekhate (2020) os radicais superóxido ($\cdot\text{O}_2^-$) radicais hidroperoxil ($\cdot\text{OH}_2^-$), radicais sulfato ($\cdot\text{SO}_4^-$), e radicais peroxil orgânicos ($\cdot\text{ROO}$) são gerados em POAs através de outros radicais e espécies de oxigênio ativo (Manickavachagam et al.,2014; Oturan e Aaron, 2014).

O POA usa reagente de Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{2+}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ozônio (O_3) e fotocatalisador para produzir radicais hidroxila altamente reativos. Desta forma os POAs podem ser classificados em geral em quatro grupos, químicos, fotoquímicos, eletroquímicos (e-POA) e sonoquímicos apresentado na Figura 1.

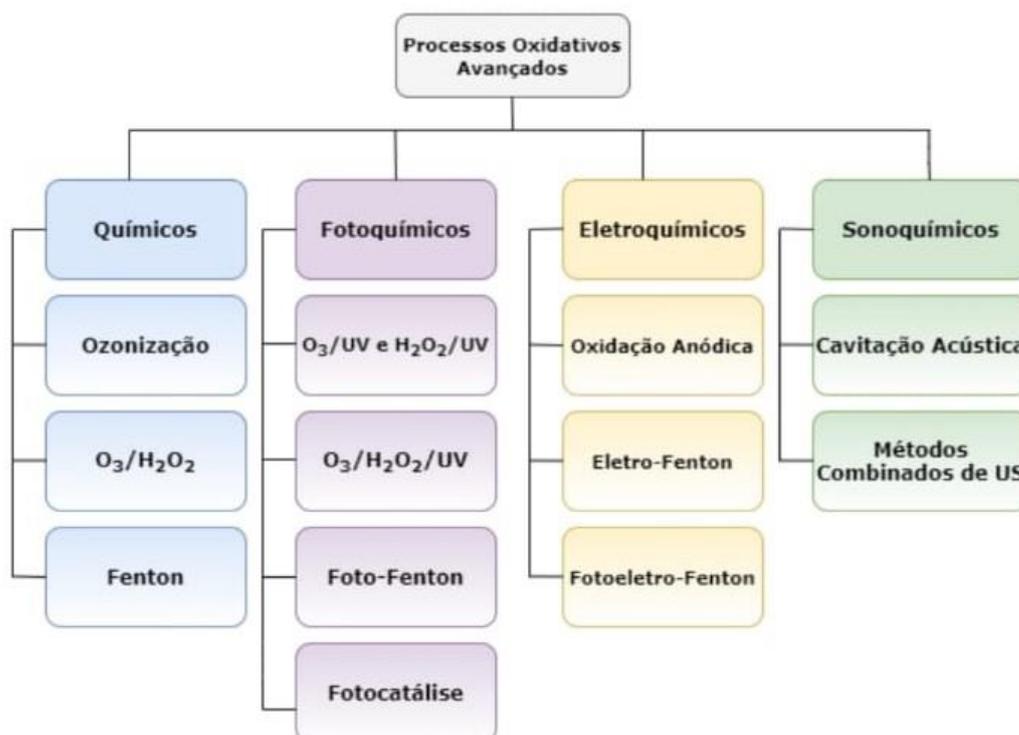


Figura 1 - Classificação dos tipos de processos oxidativos avançados, adaptado de Miklos et al, Araújo e colaboradores.

De acordo com os grupos classificados os métodos químicos empregam reagentes com alto poder oxidante, como O_3 e H_2O_2 . Nos fotoquímicos, a radiação UV é utilizada para potencializar a degradação e a mineralização dos compostos. Os processos

eletroquímicos, por sua vez, sucedem-se pela aplicação de corrente elétrica no sistema e nos processos sonoquímicos é feito o uso da radiação ultrassônica (US) (JESUS, 2021).

O ozônio (O₃) e os diferentes POAs existentes, tem sido mencionadas na literatura como sendo tecnologias de tratamento bastante promissora. As aplicações em escala real já podem ser aplicadas tanto na área de tratamento de efluentes industriais, geralmente associada a processos biológicos (ANDRIOLLI; MELLA; GUTERRES, 2014).

O ozônio é um gás instável a sua geração deve ser realizada in situ, como já mencionado. A geração de ozônio é baseada no processo de descarga corona, é uma tecnologia comercialmente disponível que contém aplicação de uma descarga de alta tensão que ocorre na fase gasosa resfriada/seca contendo oxigênio (O₂). Na equação 2 veremos o processo que leva à geração de ozônio durante a descarga elétrica silenciosa:



De acordo com Souza (2016) o gás (O₃) reage na forma molecular em pH ácido pelo mecanismo direto, ou formando radicais hidroxila (OH•) em pH básico pelo mecanismo indireto, fazendo parte então do POA. Além disso, quando em pH neutro pode reagir de ambas as formas (O₃ ou OH•), também através de descarga elétrica, eletrólise e radiação química.

Rekhate (2020) notou que em alguns poluentes ocorre a taxa de degradação pelo aumento da concentração de ozônio, mas não tem o mesmo efeito na degradação de alguns outros poluentes. A explicação para esse efeito pode ser a ação das moléculas de ozônio reagirem diretamente com os poluentes das seguintes formas:

1° A ação de oxidação-redução, como as reações que ocorre entre O₃ e HO₂⁻ (ou O₂⁻), principalmente no processo de transferência de elétrons (HOIGNÉ J., BADER H., 1893).

2° A reação do ozônio com o poluente por meio do processo de cicloadição, formando a estrutura de ozonídeo de anel de cinco membros (BELTRAN F.J., RIVAS F.J., MONTERO-DE-ESPINOSA R., 2005).

3° O ozônio tem uma influência significativa na reatividade do anel aromático, como, ⁻OH, ⁻NO₂ e ⁻Cl, sendo um agente eletrofílico que pode atacar a posição nucleofílica das substâncias orgânicas (WANG J., CHEN H., 2019a).

4º O ozônio apresenta propriedade nucleofílica, dessa forma a reação nucleofílica acontece especialmente com as moléculas, quando há composto carbonila ou ligações duplas e triplas de nitrogênio-carbono (WANG J., CHEN H., 2019a).

1.3 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE AQUACULTURA - (RAS)

A aquicultura é uma atividade baseada no cultivo de organismos aquáticos, normalmente em um espaço confinado e controlado, sendo estas criadas para o consumo. Nos últimos 10 anos a produção de alimentos em escala industrial teve um notável progresso na aquicultura (VAUGHAN et al., 2018; FAZIO, 2019; BRIJS et al., 2019; AYDIN e BARBAS, 2020). Segundo Karimanzira D. et al., (2014) o setor de crescimento mais rápido do mundo na indústria de alimentos dentro da aquicultura é a piscicultura, fornecendo aproximadamente 50% do pescado consumido globalmente e proporcionando mais de 5 milhões de empregos em todo o mundo.

O meio ambiente, em contrapartida, tem uma série de impactos e impõe certas limitações à piscicultura, como, os resíduos gerados pela reação não consumida e lançados diretamente no corpo hídrico, aumentando os níveis de resíduos orgânicos no ambiente natural (GUNKEL et al., 2015). Conseqüentemente esses resíduos podem causar problemas em razão à alta carga de sedimentação de sólidos totais dissolvidos, compostos nitrogenados, como os íons amônia, nitrito e fósforo causando a depleção do oxigênio nos cursos hídricos e levá-los à eutrofização anormal que podem ser tóxicos à vida aquática (DEGEFU et al., 2011; MOURA et al., 2014 ; DAVID et al., 2015).

Desta forma, o desenvolvimento contínuo requer novas tecnologias de produção para incrementar a sustentabilidade, atendendo as demandas de crescimento ao consumidor, garantindo a segurança alimentar e sendo rentável (SILVA, 2018; FROEHLICH et al., 2018; PARRA et al., 2018).

Considerando as preocupações e impactos ambientais da produção piscícola na aquicultura, a implementação do “Sistemas de Recirculação de Aquicultura (RAS)” é um dos métodos de adaptação e que cada vez se torna mais potenciais (AHMED et al., 2019; BUENO e SOTO, 2017). As economias circulares são sistemas controlados, é uma economia modelo que mantém os recursos em circuito fechado, aumenta consumo de recursos e minimiza desperdícios. Significa que tudo o que é produzido no processo como

resíduo ou coproduto pode ser aproveitado como um material valioso no processo (ENRIQUEZ, 2018).

O RAS foi elaborado e adotado para minimizar a quantidade de água utilizada, chegando à redução de perda de água no sistema menor que 10%, sendo possível a reciclagem de 90 a 99% conservando os recursos hídricos e minimizando também o terreno quando comparado com sistemas de tratamento tradicionais. No sistema a água é reciclada e reutilizada necessitando somente da reposição do volume do descarte do lodo e da água da evaporação. Além do mais, o RAS tem a possibilidade de ser instalado adjacente ao local onde a demanda pelo produto existe é geralmente elevada, sendo que o consumo de organismos aquáticos é predominantemente fresco, desta forma, os custos de transporte diminui e a vida útil do produto aumenta (ALI, 2013; DOLAN; MURPHY; O'HEHIR, 2013; LEKANG, 2013; VAN RIJN, 2013).

Os sistemas de cultivo intensivo contribuem para o crescimento de bactérias indesejáveis, o que leva à potencial proliferação de bactérias oportunistas, especialmente patogênicas. Este, por sua vez, pode gerar um mau funcionamento no sistema prejudicando os peixes por causa das interações de micróbio (ATTRAMADAL et al., 2012; BLANCHETON et al., 2013; VADSTEIN et al., 2018)

As etapas mais significativas para a gestão da água no SRA normalmente envolvem desintoxicação de amônia excretada pelos peixes em nitrito (NO_2^-), que eventualmente é oxidado em NO_3^- por bactérias nitrificantes (LEARMONTH e CARVALHO, 2015, PEREIRA et al., 2017) em um biofiltro e desinfecção de água através das principais técnicas de tratamento, como, radiação UV-C, ozonização ou peróxido de hidrogênio (ARVIN e PEDERSEN, 2015; SUMMERFELT, 2003).

Os RAS apresentam um modelo de aquicultura e piscicultura sustentável com a vantagem de produção intensiva, utilização eficiente da água e do espaço, como também menores efeitos ambientais (HELFRICH e LIBEY, 1991; ZHANG et al., 2011).

1.4 OZONIZAÇÃO NA PISCICULTURA

O controle da qualidade da água é um fator importante para que haja um bom desempenho na piscicultura, uma vez que, as quantidades de produção de dejetos podem ser acumulados nos tanques, desenvolvendo microrganismos patogênicos de grupos bacterianos e coliformes, causando riscos aos peixes (ATTRAMADAL et al., 2012b;

BLANCHETON et al., 2013; VADSTEIN et al., 2018). A presença dos microrganismos do grupo coliformes, tal como a *E. coli*, é um indicador de contaminação de origem fecal na água onde o peixe está sendo cultivado (GASPAR-Jr; VIEIRA; TAPIA, 1997).

Para atender à necessidade de desinfetantes ecológicos, ozonização é um alternativa eficiente que tem sido implementado para melhorar a qualidade da água e reduzir diversos patógenos e bactérias (BULLOCK et al.,1997; TANGO e GAGNON, 2003; SUMMERFELT et al., 2009; HANSEN et al., 2016b). O oxigênio, que é produzido durante a degradação do ozônio na água, proporciona aumento do crescimento dos peixes (GOOD et al., 2011).

Ainda que a ozonização tenha sido utilizada há anos na aquicultura, ainda existe a falta de conhecimento sobre a melhor dosagem de ozônio a se aplicar em um sistema, conhecido como "demanda de ozônio". Uma dose excessiva ozônio residual em um sistema não projetado detalhadamente irá afetar potencialmente as espécies cultivadas (BULLOCK et al., 1997; SUMMERFELT et al., 2004; DAVIDSON et al., 2011; POWELL e SCOLDING, 2016).

Portanto, devido ao alto potencial oxidativo do ozônio dissolvido ou gasoso, é sugerido o uso cauteloso como parte da adoção comercial sustentável e do desenvolvimento da tecnologia RAS (MARTINS et al. 2009).

1.5 PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabeleceu a Lei N° 9.433 de 8 de janeiro de 1997, tendo como principais objetivos a disponibilidade de água com qualidade adequados para a atual e futuras gerações, utilizando de forma racional e integrada, prevenção e defesa de eventos hidrológicos críticos, incentivando ao aproveitamento de águas pluviais, seja de forma natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

Portanto, a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) N° 430 de 13 de maio de 2011, que estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando a CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005 de acordo com a classificação e enquadramento dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, garantindo que o lançamento de efluentes seja em níveis seguros e sustentáveis para o meio ambiente, conforme padrões apresentados no Tabela 2.

Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos conforme Resolução do Conama n.357/2005

Parâmetros	Conama 357/2005			Conama 430/2011
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	5 a 9
T (C°)	-	-	-	< 40°C
Cor	Natural	75 mg Pt.L ⁻¹	Padrão classe 2	-
Turbidez	40UNT	100UNT	100UNT	-
Nitrito	1,0 mg.L ⁻¹	Padrão classe 1	Padrão classe 1	-
Nitrato	10 mg.L ⁻¹	Padrão classe 1	Padrão classe 1	-
Amônia	3,7 mg.L ⁻¹ N ¹ 2,0 mg.L ⁻¹ N ² 1,0 mg.L ⁻¹ N ³ 0,5 mg.L ⁻¹ N ⁴	Padrão classe 1	13,3 mg.L ⁻¹ N ¹ 5,6 mg.L ⁻¹ N ² 2,2 mg.L ⁻¹ N ³ 1,0 mg.L ⁻¹ N ⁴	20,0 mg/L N
Fósforo	0,020 mg.L ⁻¹ P ⁵ 0,025 mg.L ⁻¹ P ⁶ 0,1 mg.L ⁻¹ P ⁷	0,30 mg.L ⁻¹ P ⁵ 0,050 mg.L ⁻¹ P ⁶	0,05 mg.L ⁻¹ P ⁵ 0,05 mg.L ⁻¹ P ⁶ 0,075 mg.L ⁻¹ P ⁷	-
Cor	Natural	75 mg Pt.L ⁻¹	Padrão classe 2	-
Coliformes Termotolera ntes	200 UFC. 100 mL ⁻¹	1000 UFC. 100 mL ⁻¹	2500 UFC. 100 mL ⁻¹	-

Nota: (1) $\text{pH} \leq 7,5$; (2) $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$; (3) $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$; (4) $\text{pH} > 8,5$; (5) Ambiente lântico; (6) Ambiente intermediário; (7) Ambiente lótico ;(-) Não previsto na resolução.

Assim como na legislação brasileira, a lei ambiental alemã aplica o princípio do controle da poluição hídrica. A portaria sobre Requisitos para o Descarte de Águas Residuais nas Águas (Waste Water Ordinance - AbwV) de 17 de junho de 2004 estabelece as diretrizes conforme a cada tipo de indústria. Os padrões de cor aparente DFZ na Alemanha são determinados para o efluente têxtil tendo como controle de qualidade de efluentes industriais tipicamente coloridos, cujos níveis de intensidade de coloração são muito elevados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÕES DO EXPERIMENTO

Para realização do estudo para o efluente de piscicultura, foi montado um sistema de tratamento de bancada no laboratório de pesquisa de Saneamento (SANEAM) do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) *campus* de Ji-Paraná. O modelo do sistema instalado no laboratório está de acordo com a Figura 2.



Figura 2 - Sistema de recirculação do cultivo de alevinos.

O sistema de recirculação é composto pela unidade de criação e mais um conjunto de equipamentos, quais são:

- Tanque de cultivo (1)
- Decantador (2)
- Filtro biológicos (MBBR) (3)
- Sistema de bombeamento (4)
- Aeração (5)

A lista de materiais utilizado para a montagem do sistema apresentado na figura 2, será descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Lista de materiais utilizados para a montagem do sistema de recirculação do cultivo de alevinos

Quantidade	Material	Características
1	Caixa d'água	1.000 L

2	Bombonas	70 L
1	Galão (bomba)	50 L
4 m	Cano soldável	50 mm
1 m	Cano soldável	32 mm
6 m	Cano soldável	25 mm
7	Falange soldável	50 mm
1	Falange soldável	32 mm
1	Falange soldável	25 mm
4	Registro soldável	50 mm
1	Tee soldável	50 mm
1	Tee soldável	25 mm
3	Joelhos soldável de 90°	50 mm
1	Joelhos soldáveis de 90°	25 mm
1	Joelhos soldáveis de 45°	25 mm
2	Curvas soldável de 90°	50 mm
1	Luva soldável	25 mm X 3/4
1	Adaptador soldável	25 mm X 3/4
25	Biomídeas	
1	Motor d'água	Sarlo Better 2700
1	Aquecedor	

2.1.1 Desenvolvimento e sistema

O sistema intensivo foi simulado em um tanque circular utilizado para a criação de peixes, sua característica principal é a utilização de pequenos tanques com elevada

densidade de estocagem e alta renovação de água, o tanque é destinado a receber os alevinos e mantê-los em engorda por um período de 30 dias, conforme a Figura 3.

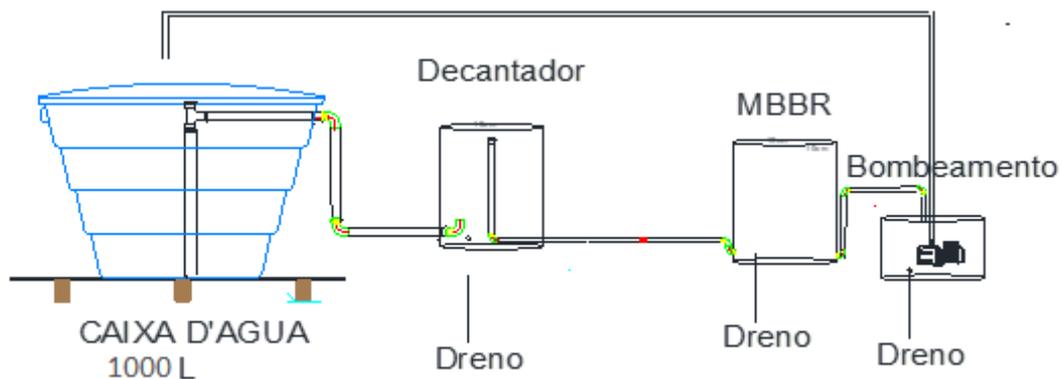


Figura 3 - Representação simplificada do sistema de recirculação.

2.1.2 Tanque de cultivo e decantador

As principais espécies de peixes juvenis cultivadas no tanque são *Collossoma Macropomum* conhecido como, Tambaquis, a água do mesmo (1) é distribuída verticalmente na coluna d'água através de um tubo perfurado e entra em sentido tangencial à parede do tanque, sustentando uma corrente de água circular que facilita a concentração dos sólidos decantáveis no dreno central, que são conduzidos até o decantador (2) figura 4, por um tubo de diâmetro de 5mm onde são drenados constantemente, com objetivo de remover as partículas sólidas geradas, promovendo a melhoria na qualidade do efluente.



Figura 4 - Dreno central do tanque de cultivo onde ocorrerá sucção das partículas de sólidos que serão transportadas ao decantador.

2.1.3 Filtro biológico (MBBR)

Em seguida foi instalado o reator de biofiltros (filtros biológicos), para possibilitar a fixação de bactérias nitrificadoras, promovendo a oxidação da amônia a nitrato, através do filtro bio-mídia tipo modelo AMB500 (MBBR). O biofiltro aerado submerso é um polímero que em contato com o efluente, permite a fixação dos microrganismos em seu interior que oxidam a carga orgânica. Sendo um produto desenvolvido com alta tecnologia para auxiliar os sistemas convencionais de tratamento de efluentes na oxidação da carga orgânica.

Na Figura 5 observa-se os filtros biológicos com seu desenho exclusivo, o anel de enchimento (meio suporte móvel) apresenta um conjunto de ranhuras externas que conferem maior mistura e movimentação.



Figura 5 - Sistema filtro biológico (MBBR)

2.1.4 Sistema de bombeamento e aeração

A aeração/oxigenação apresentado na Figura 6 foi inserida no tanque de cultivo (3), por meio de pedra porosa (2), advindo do difusor de ar (1), gerando bolha de ar em tamanho suficiente, e com profundidade proporcional. A aeração ocorre em outros diferentes pontos com objetivo de suprir as necessidades dos organismos existentes no sistema, como no biofiltros, onde já é promovida aeração por meio da agitação.



Figura 6 - Sistema de aeração.

O sistema foi utilizado bombeamento para a recirculação do efluente tratado, o que mantém a água do cultivo em constante circulação, através de bomba Sarlo Better 2700, (1) com vazões variáveis para subsidiar critérios de dimensionamento, normalmente exigido para obter velocidade de entrada de efluente (Figura 7). Esta última etapa do sistema transporta o efluente já tratado para o tanque principal onde encontra-se os alevinos, este retorno (2) reduz a emissão de poluentes para o ambiente de cultivo maximizando o uso de água e nutrientes, bem como o despejo, colaborando na oxigenação da água.



Figura 7 - Sistema de bombeamento do efluente tratado.

2.1.5 Efluente Frigorífico

O efluente proveniente do frigorífico para a pesquisa proposta foi analisado após passar por tratamento biológico por processos anóxico-anaeróbio com retorno de lodo e, posteriormente, armazenado em freezer a 4°C em recipiente fechado no Laboratório de Saneamento (SANEAM) do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) *campus* de Ji-Paraná, até o tratamento pelos processos físico-químicos.

2.2 COLETAS DAS AMOSTRAS

Todas as análises e procedimentos aplicados para realização dessa pesquisa foram realizados no Laboratório de Saneamento (SANEAM), Laboratório físico-químico (LABFIQ) e Laboratório de Limnologia e Microbiologia (LABLIM) do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária-Campus de Ji-Paraná – UNIR.

O efluente de piscicultura, foi coletado no tanque e na saída do mesmo, conforme a metodologia proposta no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). De forma diferente, o efluente frigorífico, foi coletado após tratamento biológico, armazenado em freezer. Algumas verificações foram feitas dos parâmetros: pH (Potencial Hidrogeniônico), temperatura e oxigênio dissolvido, através da sonda multiparâmetros HANNA 2728.

2.3 PROCEDIMENTO ANALÍTICO

A metodologia empregada nas análises das variáveis estudadas está apresentada na Tabela 4, resumidamente. As amostras foram diluídas conforme a curva de calibração para a leitura espectrofotométrica, utilizando-se espectrofotômetro de emissão de ondas visíveis modelo BEL-VM5, e depois o resultado da leitura foi multiplicado pelo fator de diluição para correção dos valores.

Tabela 4 - Parâmetros, métodos e referências nos processos analíticos.

Parâmetros	Método	Unidade	Referências
Temperatura	Sonda YSI - EC 300	°C	-
Turbidez	Turbidímetro de bancada HACH – modelo 2100 P	UNT	
pH	Sonda LUTRON - PH-221	Escala	-
Cor	Espectrofotométrico	mg Pt.L ⁻¹	APHA, 2005
	DFZ	m ⁻¹	KAMMRADT, 2004

Nitrogênio Amoniacal (NH₄⁺)	Nessler (4500C)	mg.L ⁻¹	APHA, 1992
Nitrito (NO₂⁻)	NED (4500 NO ₂ ⁻ B)	mg.L ⁻¹	APHA, 2005
Nitrato (NO₃⁻)	Brucina (352,1)	mg.L ⁻¹	APHA, 1976
Fósforo	Vanadato-Molibdato (4500 C-P)	mg.L ⁻¹	APHA, 2005
Coliformes Termotolerantes		NMP. 100 mL ⁻¹	APHA (1995)

2.3.1 pH, temperatura e turbidez

Foi determinado o pH das amostras pelo método potenciômetro em um medidor de pH, previamente calibrado e a temperatura foi medida por sonda específica, ambos da marca HANNA, modelo HI 3512. A turbidez foi medida por aparelho turbidímetro HACH 2100P.

2.3.2 Nitrito (NO₂⁻)

As amostras foram diluídas de acordo com a curva de calibração, construída para o intervalo de concentrações 0,05 a 0,5 mg/L de NO₂⁻-N. As amostras foram preparadas com a adição do reagente sulfanilamida em proporção de 25 ml de amostra para 0,5 ml do reagente, seguido da sua homogeneização da solução e reservada por 2 minutos. Após esse tempo, adicionou-se 0,5ml de solução de N-Naftil-etilenodiamina, agitou-se e aguardou-se 10 minutos. Finalizadas essas etapas, a solução foi lida no espectrofotômetro a 543nm.

2.3.3 Nitrato (NO₃⁻)

Este método consiste na reação do íon NO₃⁻ com o reagente brucina em meio ácido, resultando em uma coloração amarelada. Em seguida, as concentrações de nitrato são determinadas por espectrofotometria a 410 nm, sendo diluída a amostra para que se adeque à curva de calibração que expressa concentrações entre 1 a 50 mg/L de NO₃⁻. Para leitura em espectrofotômetro é preciso, primeiramente, preparar a amostra com adição, na proporção de 5ml de amostra para 1ml de brucina e 10ml de solução de ácido sulfúrico

(500 de água/ 75 de ácido sulfúrico 98%). Após reagir por 10 minutos no escuro, juntou-se 10ml de água destilada e novamente reage no escuro por 20 minutos para então ser lida a absorvância.

2.3.4 Nitrogênio amoniacal (NH₄⁺)

Conforme descrito em APHA (2005), as amostras foram diluídas de acordo com a curva de calibração. Antes da leitura das amostras no espectrofotômetro, em comprimento de onda de 425 nm, estas foram preparadas com a adição do reagente Nessler, em uma proporção de 5 ml de amostra para 0,1ml do reagente, sendo homogeneizada em seguida.

2.3.5 Fósforo Total

O fósforo total é determinado através de solução de Vanadato-Molibdato, composto por Metavanadato de Amônio (NH₄VO₃), HCl e Molibdato de Amônio ((NH₄(MO₇) O_{24.4}H₂O). A curva de calibração é elaborada com Fosfato de Potássio e a leitura é realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda de 420 nm (APHA, 2005).

2.3.6 Cor

Para análise de cor foram adotadas duas metodologias. Desta forma, as amostras foram centrifugadas durante 2 min com velocidade de 2000 rpm, conforme metodologia de absorvância integrada, avaliando a percentagem de redução de cor, determinando então a cor verdadeira.

No segundo método foi determinado o fator DFZ, onde os valores são fixados para uso de cor aparente, sendo o coeficiente de absorção espectral, é uma expressão da cor em três comprimentos de onda do espectro da luz visível (436, 525 e 620 nm), correspondendo a uma concentração máxima de aproximadamente 1,5 mg Pt.L⁻¹ (VISHNU, 2008; BELTRAME, 2006) de acordo com a norma alemã DIN 7887/1994 que

adota princípios para o controle de qualidade de efluentes industriais. O cálculo para determinação do coeficiente de absorção foi realizado segundo a equação 3.

$$DFZ \text{ (m}^{-1}\text{)} = \frac{A}{m} \quad (3)$$

Onde:

A = absorvância; m = caminho ótico da cubeta em metros.

Os valores máximos permitidos podem ser observados no Tabela 5 através do Anhang 38, pelo Allgemeinen Rahmen-Abwasser-VwV, que é como um quadro de regulamentação para águas residuárias têxteis (NOVACK, 2016).

Tabela 5 - Padrões de lançamento alemães para a indústria têxtil: parâmetro de cor.

Pigmentação	Unidade	Padrão de Lançamento
Amarelo: DFZ a 436nm	m ⁻¹	7
Vermelho: DFZ a 525nm	m ⁻¹	5
Azul: DFZ a 620nm	m ⁻¹	3

Fonte: Anhang 38 Allgemeinen Rahmen-Abwasser-VwV apud Novack (2006).

2.3.7 Análise Microbiológica

A metodologia empregada é descrita por APHA (1995) cujo nome é método de membrana filtrante em meio cromogênico. São filtrados 100 ml das amostras, diluídas ou não, em membrana de éster de celulose com diâmetro de 0,45 µm, com auxílio de conjunto kitassato e bomba à vácuo. As membranas, após filtração, são dispostas em placa de petri contendo meio de cultura *chromocult coliform agar*. Em seguida são incubadas em estufas bacteriológicas a 35°C. Após 24 horas é realizada a contagem das colônias formadas, sendo coliformes totais (colônias rosas/lilases) e *E. coli* (colônias violetas/pretas). Os coliformes totais são representados pelo somatório de todas as colônias, e os coliformes termotolerantes, por essa metodologia, são indicados pelas colônias de *E. coli*. Os resultados são expressos em unidade formadora de colônia por 100 ml (UFC/100 ml).

2.4 ENSAIOS DE TRATABILIDADE

2.4.1 Ozônio

Para o ensaio com o ozônio, foi utilizado pH natural, verificando se os mecanismos (direto e indireto) será relevante (GOTTSCHALK et al.,2010).

O ozônio foi produzido através de um gerador de ozônio comercial modelo N202F 500mg/h O₃ - Diluka Power, no qual o método utilizado é através de descargas elétricas, também conhecida por efeito corona. Durante o tratamento o ozônio vai reagindo oxidando a matéria orgânica e os metais que possivelmente possam estar presentes, a fim de, possibilitar um perfil de amostragem temporal, verificando a eficiência do processo de ozonização, tanto quanto a remoção de cor e demais parâmetros. A Figura 8 permite visualizar o gerador de ozônio utilizado durante a pesquisa em diferentes tempos.



Figura 8 - Gerador de ozônio para ensaio em diferentes tempos.

2.4.2 Ozonização do Efluente de Piscicultura

O tratamento do efluente com ozônio é um procedimento que permite alcançar uma qualidade de água adequada para o cultivo e manutenção de qualquer tipo de peixe. O gás ozônio foi inserido em becker de vidro de 1,5 L através de um tubo de plástico flexível e difusor de pedra multifuncionais, com volume de amostras residual de 1 L.

Os testes tiveram duração de 60 minutos e nos tempos de 0, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos e temperatura controlada de 26 °C com Banho Maria SL- 150f. Após o tratamento, o efluente ozonizado foi inserido no reator de biofiltro em batelada de 1,5 L com aeração, para verificar a eficiência da qualidade do tratamento combinado, conforme a Figura 9.

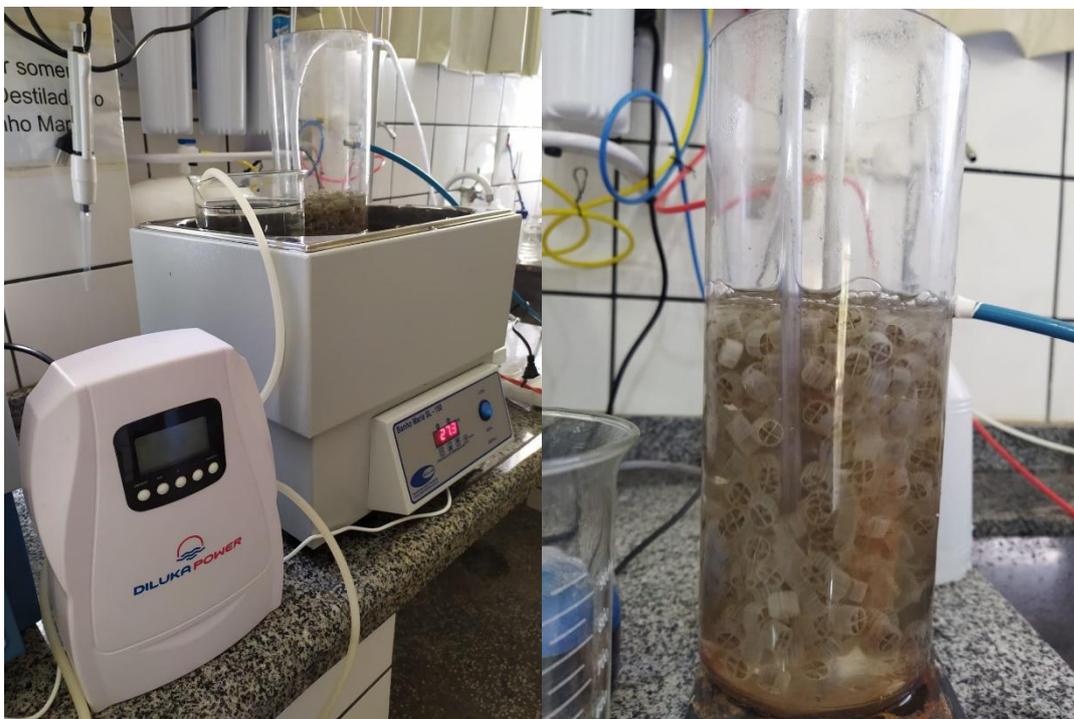


Figura 9 - Tratamento combinado, ozônio – biofiltro.

2.4.3 Ozonização Efluente Frigorífico

O ensaio a partir do ozônio foi realizado com amostras em diferentes valores de pH, sendo eles: 4, 6, 7, 8 e 10. O ajuste do pH se deu por meio de dosagem de 16 μl NaOH (Hidróxido de Sódio) em solução para aumentar o pH natural de 7,15 para 10 e para diminuir o pH foi usado o 10 μl e 70 μl H₂SO₄ (Ácido sulfúrico) em solução para alcançar os respectivos pHs desejados de 6 e 4.

As amostras de 70 mL foram inseridas em um frasco lavrador de gases de 125 mL, no qual, por meio de difusores, o ozônio percolava a amostra (Figura 10). Os testes tiveram duração de 10 minutos e nos tempos de 0, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 minutos, foram realizadas determinações da cor verdadeira, temperatura, pH, nitrogênio e fósforo.



Figura 10 - Tratamento em um frasco lavrador de gases.

2.5 COMPARAÇÃO DOS DADOS COM AS NORMAS VIGENTES

Devido à ausência de normativas, estritamente sobre reúso da água, no Brasil, as análises foram comparadas com base na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA N° 430 de 13 de maio de 2011, que estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando a CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005 de acordo com a classificação e enquadramento dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, garantindo que o lançamento de efluentes seja em níveis seguros e sustentáveis para o meio ambiente.

Sendo assim, o tratamento para a emissão de efluente industrial e piscícola, deve atender padrões de lançamento e de qualidade especificados no Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA n° 430 de 13 de maio de 2011.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EFLUENTE DE PISCICULTURA

Para o desenvolvimento do experimento foi realizada a caracterização do efluente bruto permitindo que o sistema alcance um melhor desempenho utilizando a estatística descritiva por meio de planilha eletrônica, com nível de significância de 95%. Na Tabela 6 são apresentados os valores referentes às análises realizadas.

Tabela 6 - Caracterização do efluente de piscicultura com estatística descritiva dos parâmetros físico e químicos.

Parâmetros	Número amostral	Média	Desvio Padrão	Variância
pH	138	7	0,4	0,2
T (°C)	138	29	2,5	6,5
OD (mg/L)	138	6,5	1,2	1,4
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	18	1,3	1,7	2,9

Os resultados dos valores da média do pH (7,0), com desvio padrão de 0,43 está de acordo com dispostos na legislação e com a regra geral para a produção de peixes com valores de 6 a 9 os valores abaixo ou acima desta faixa podem prejudicar o crescimento e a reprodução e, em condições extremas, causar a morte dos peixes. Sabendo que o pH é a concentração de íons de hidrogênio (H⁺) na água, indicando se esta reage como um ácido (pH $0 \leq 7$) ou uma base (pH $7 \geq 14$), sendo 7 o ponto de neutralidade (CYRINO J.E.P, 2018).

As mudanças na temperatura da água podem causar "stress" e morte aos peixes em um tanque. Desse modo, a faixa ideal de temperaturas para cultivo de peixe é de 25 a 32°C (CYRINO J.E.P, 2018). Os resultados mostram que a média da temperatura de 29 °C, com desvio padrão 2,56 proporciona boa qualidade da água quanto para sobrevivência dos peixes.

Oxigênio dissolvido é um parâmetro mais limitante num sistema intensivo de produção de peixes. A solubilidade do oxigênio na água pode ser influenciada pela temperatura, como, se a temperatura do meio aumentar o OD diminui. Para que não ocorra "stress" para os peixes a concentrações de OD deve ser acima de 5 a 8 mg.L⁻¹. Dessa forma, a média de 6,5 mg.L⁻¹, com desvio padrão de 1,20 do efluente bruto atende ao exigido (ALFAKIT, 2019).

A concentração de amônia (NH_3) se dá pela decomposição microbiana de resíduos orgânicos, como a reação depositado no tanque para alimento dos peixes, e também da excreção nitrogenada comprometendo a qualidade da água e de vida dos peixes por ser tóxico. Sua toxicidade aumenta em função do aumento de pH (ALFAKIT, 2019). Para o resultado do efluente bruto encontramos a média da concentração de NH_3 de 1,35, com desvio padrão de 1,75 para o pH 7,0 estando de acordo com todas as classes de água doce do CONAMA 357/05.

3.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Conforme SENAR, 2019 o resultado apresentado na Figura 11 com média inicial do pH é de 7,81, estando de acordo com o ideal entre 6,5 e 8 para que o ambiente seja adequado e de boa qualidade para cultivo de peixe.

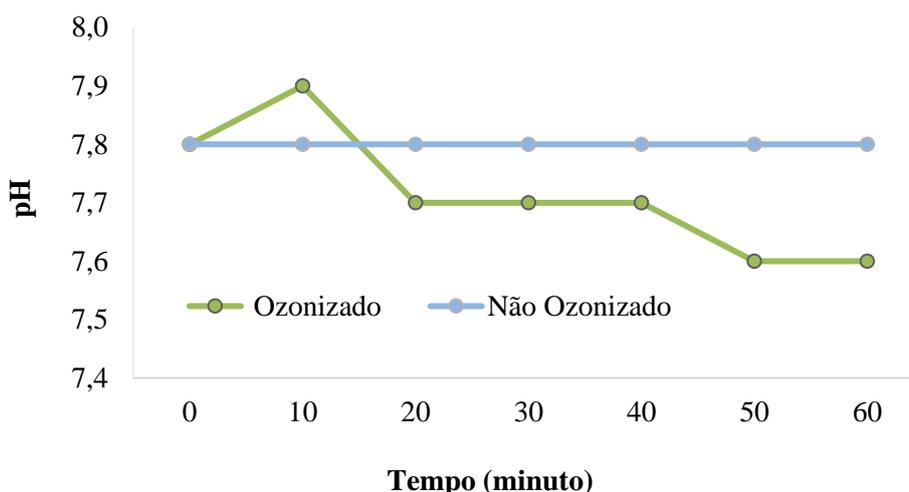


Figura 11 - Variação dos valores de pH em função do tempo.

Durante os 60 minutos de tratamento de efluente com ozônio ocorreu uma redução do pH de 7,9 para 7,6, já no efluente não ozonizado se manteve estável, ou seja, constante. Duarte et al. (2008) e Rosa (2014) a queda dos valores de pH ocorre indicando a interação dos radicais com as moléculas presentes no efluente, como o dióxido de carbono (CO_2) gerado pelos peixes e pelos microrganismos (MASSER et al., 1999), sendo um subproduto da oxidação de poluentes, devido à formação de ácido carbônico (H_2CO_3) que tem poder acidificante, para que ocorra formação de carbonatos, desta forma é liberado íons de hidrogênio (H^+), responsáveis por diminuir o pH.

Quando comparado com Resolução CONAMA 430/2011, verificamos que os resultados está de acordo com a padrões de lançamento de efluentes nos corpos receptores que só é permitido se estiverem na faixa de pH entre 5,0 a 9,0 estando também de acordo para todas as classes da Resolução CONAMA 357/2005 de pH entre 6,0 a 9,0.

3.1.2 Eficiência na remoção de cor

Na Figura 12 demonstra a cor do efluente bruto e o tratado com ozônio, as amostras iniciais foram lidas no espectrômetro seu resultado foi de ~0abs antes do tratamento com ozônio.



Figura 12 - Cor do efluente bruto (1) e tratado com ozônio (2).

O resultado da diferença de cor foi nulo, sendo assim não foram realizadas todas as análises de cor. A ausência da concentração de cor no efluente, indica que está de acordo com padrões estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para todas as classes (Natural a 75 mg.Pt.CO^{-1}). Segundo Alfakit (2019) a transparência é um fator de enorme importância para a piscicultura, pois está ligado diretamente com a existência ou não, dos

pequenos vegetais e animais conhecido como Plânctons, proporcionando boa qualidade para o cultivo de peixes.

3.1.3 COLIFORMES

As análises microbiológicas na Tabela 7, quantifica coliformes totais e *Escherichia coli*, indicadores de contaminação fecal recente de animais e/ou humanos a possibilidade da existência concomitante de germes patogênicos, a presença destes microrganismos são habitantes normais do intestino de animais de sangue quente (CHRISTOVÃO, 1974; GELDREICH, 1974; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 1972)

Tabela 7- Análises microbiológicas do efluente de piscicultura, desinfecção por meio do ozônio.

Amostra	Col. Totais (UFC/100 mL)	Eficiência
Efluente bruto (0 minutos)	140.000	24,2%
10 minutos	44.000	76,2%
20 minutos	400	99,8%
30 minutos	223	99,9%
60 minutos	105	99,9%

Nota: UFC - Unidade Formadora de Colônia.

Nas análises microbiológicas, observou-se eficiência na remoção de Coliformes Totais por ozônio de 76,2% para o tempo de 10 minutos, 99,8% para 20 minutos e 99,9% para 30 e 60 minutos, para os coliformes *Escherichia coli* a remoção foi de 100%, todos em relação à amostra de efluente bruto, associadas à ação do ozônio como desinfetante. Conforme estes resultados o interesse na utilização de ozônio existe para inativação de microrganismos patogênicos de acordo com Bilotta e Daniel (2011). A reação do ozônio é extremamente rápida (<0,1s) e não seletiva matando todos micro-organismos bactérias, fungos, bolores, vírus, existente no meio (Lima e Kollnberger, 2009).

Conforme a resolução CONAMA n° 357/2005 as amostras do efluente tratado aos 60 minutos, pode se enquadrar no padrão de qualidade de água classe 1 (200 UFC/100 mL). Os tempos de contatos do ozônio com o efluente por 20 e 30 minutos se enquadram no padrão de qualidade de água classe 2 (1000 UFC/100 mL), para o tempo de 10 minutos

o efluente não se enquadra no padrão de qualidade de classe 1, 2 e 3. Significando que este efluente pode ser destinado, como forma de reuso, citados a seguir: irrigação, paisagístico, proteção das comunidades aquáticas, aquicultura e atividade de pesca.

3.1.4 Análise do efluente ozonizado no reator processo biológico para remoção de Nitrogênio Amoniacal ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)

O efluente ozonizado do cultivo de peixe foi operado dentro do biofiltro batelada de leito fixo aerado submerso único. O efluente ozonizado aplicado no biorreator apresenta uma taxa média de $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ de $6,51 \text{ mg.L}^{-1}$, o oxigênio dissolvido se encontra em $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Devido a aeração no sistema, as espécies predominantes de microrganismos no biofiltro são heterotróficas. Bactérias nitrificadoras foram fixadas e cultivadas em biomódia para proteção e crescimento da mesma (IRANIL, 2020).

Os resultados apresentados na Figura 13, são do efluente ozonizado no tempo de 0, 10 e 20 minutos, tendo como objetivo verificar a eficiência da remoção de nitrogênio amoniacal no efluente ozonizado, consistir em um sistema combinado para o tratamento por 60 minutos, com temperatura ambiente com média de 24°C .

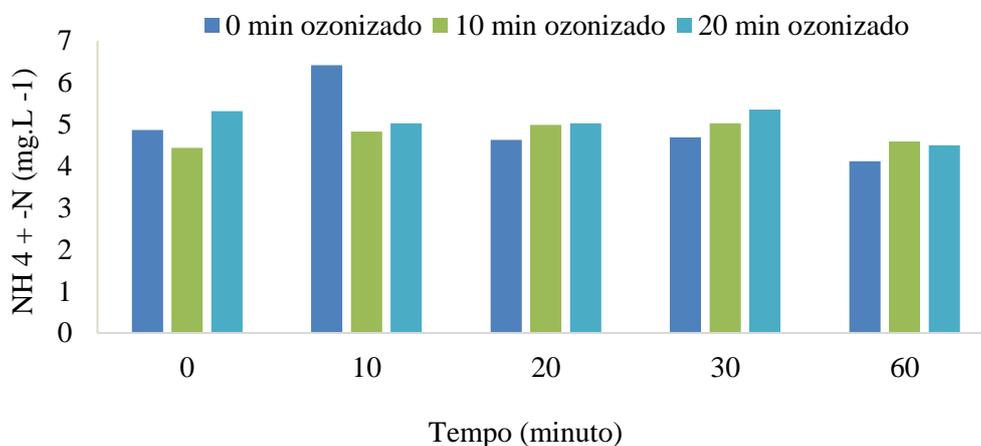


Figura 13 - Eficiência da remoção de nitrogênio amoniacal no efluente ozonizado inserido no biofiltro.

De acordo com o gráfico, o tratamento combinado não propiciou um incremento na remoção de nitrogênio amoniacal, ocorreu pequenas variações, mas não teve influência

no tratamento mesmo com diferentes tempos e com diferentes dosagens de ozônio, com temperatura ambiente.

Em relação a este comportamento, Barreto (2018), notou que a exposição do efluente à ozonização tende a aumentar a forma ionizada (NH_4^+) da amônia, significando a ausência da amônia livre (NH_3) que é tóxicas aos peixes em baixas concentrações.

O comportamento da amônia é explicado por Von Sperling (2014), quando o pH é < 8 , amônia é formada por NH_4^+ ; quando o pH se encontra em 9,5, 50% forma de NH_4^+ e 50% em forma de NH_3 , para o pH > 11 toda amônia na forma de NH_3 .

Durante os 60 minutos os efluentes varia de $4,11 \text{ mg.L}^{-1}$ a $6,41 \text{ mg.L}^{-1}$ de amônia, já no estágio final de tratamento, os efluentes ozonizados inseridos no biofiltro de 0, 10 e 20 minutos, se encontra com $4,11 \text{ mg.L}^{-1}$, $4,58 \text{ mg.L}^{-1}$ e $4,49 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivamente, não estando de acordo com os padrões de qualidade 357/2005, pois o nível de amônia para pH 8,0 a 8,5 é de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para classe 1 e 2, já para classe 3 é de $2,2 \text{ mg.L}^{-1}$, desta forma não é permitido o lançamento do efluente em um corpo hídrico.

Visto que não obteve eficiência da remoção da amônia no sistema pelo tratamento de ozônio, não foi realizado as análises de Nitrito ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) e Nitrato ($\text{NO}_3^- \text{-N}$).

3.2 EFLUENTE FRIGORÍFICO

3.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

De acordo com a Figura 14 os ensaios com O_3 mostram redução do pH conforme o tempo de reação, os pHs 6, 7, 8 e 10 estão de acordo com a normativa, o único pH que não se encontra adequado é o pH 4 com redução para 3,3 em 10 minutos, considerando a Resolução CONAMA 430/2011 o lançamento de efluentes nos corpos receptores só é permitido se estiverem na faixa de pH entre 5 a 9.

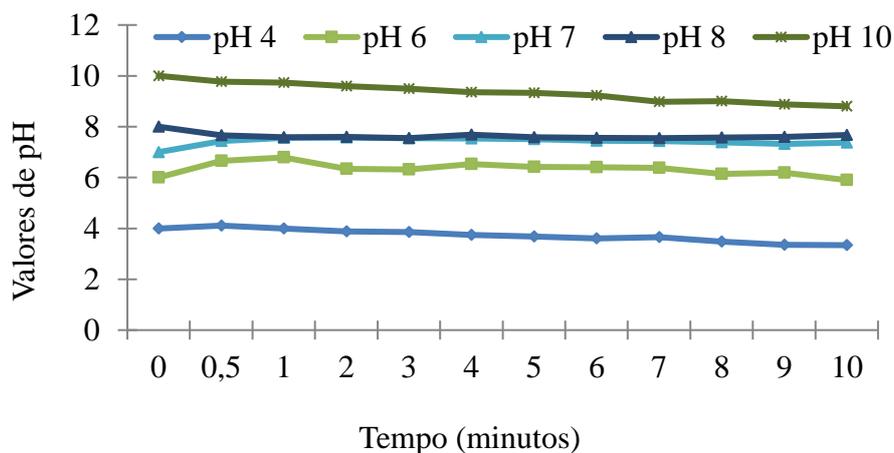


Figura 14 - Variação dos valores de pH em função do tempo.

Segundo Silva (2016) e Rosa (2014) a queda dos valores de pH ocorre mesmo quando existe concentração de radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) tanto no efluente com pH corrigido para 3,0 quanto com pH corrigido para 10,0 indicando assim a interação dos radicais com as moléculas presentes no efluente. Como mencionado anteriormente o dióxido de carbono (CO_2) presente no efluente tem poder acidificante devido à formação de ácido carbônico (H_2CO_3) responsáveis por diminuir o pH.

3.2.2 Eficiência na remoção de cor

As concentrações de cor após os ensaios de ozônio (Figura 15) se encontram dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para todas as classes (de 75 mg.Pt.CO^{-1}). A maior eficiência de remoção de cor nos comprimentos de 400 nm, 436 nm (DFZ), 525 nm (DFZ) foi no pH 6, com uma eficiência de remoção próximo a 100% passando de 207,4 para aproximadamente 0 mg.Pt.CO^{-1} . No comprimento de onda 620 nm a melhor eficiência de remoção de cor foi no pH 4 de 100% aos 3 minutos. A leitura feita no comprimento de onda de 400 nm está de acordo com a legislação brasileira vigente.

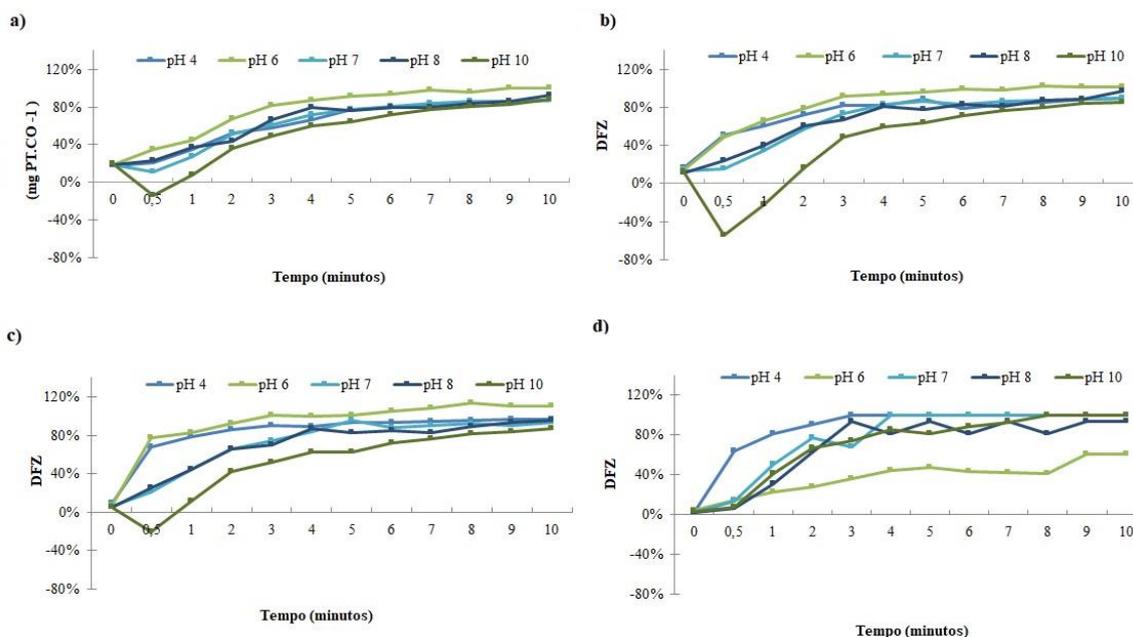


Figura 15 - Remoção de cor em diferentes valores de pH e comprimentos de onda em função do tempo, (a) 400 nm, (b) 436 nm, (c) 525 nm e (d) 620 nm.

De acordo com a tabela 1 e a Figura 3 (b, c e d) observa-se que os valores de remoção de cor efluente estão de acordo os padrões de lançamentos alemães. Conforme o gráfico o pH 6 apresentou a melhor eficiência para remoção de cor passando de 1,4 para -0,002 DFZ (436 nm), de 0,75 para -0,008 DFZ (525 nm) e para os comprimentos de onda 620 nm a melhor remoção é do pH 4 de 0,22 para 0 DFZ que se encontra sendo o segundo maior em termos de eficiência do tratamento de 1,67 para 0,01 DFZ (436 nm), de 0,98 para 0,03 DFZ (525 nm).

3.2.3 Temperatura

A Figura 16 apresenta a variação de temperatura do sistema e essas variações ocorre durante o tratamento.

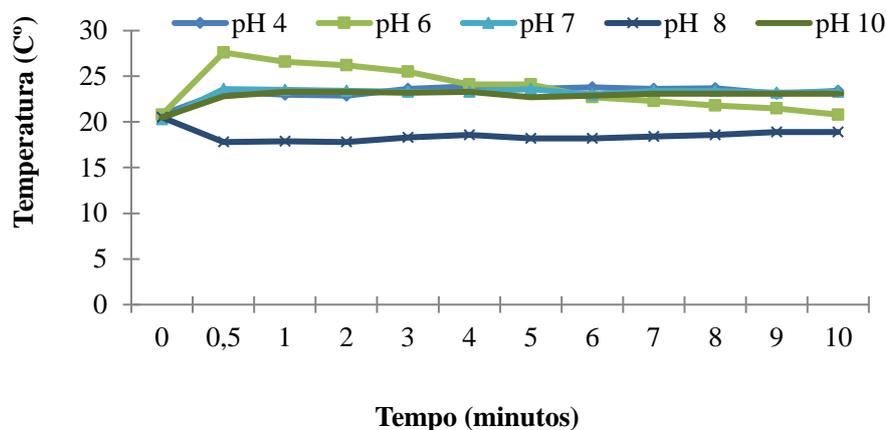


Figura 16 - Resultados médios de temperatura em função de tempo.

As variações de temperatura são importantes, segundo Filho (2008), na fase líquida as temperaturas relativamente baixas ($\leq 15^{\circ}\text{C}$) são prejudiciais, pois interfere no comportamento do ozônio como um desinfetante, diminuindo a sua eficácia. Já no aumento da temperatura a decomposição do ozônio é acelerada sendo que o pH do líquido maior que 7 também acelera o processo de decomposição do ozônio.

Todos os valores de pH analisados, mesmo sofrendo algumas variações de temperatura, estão de acordo com os padrões da Resolução CONAMA 430/2011, pois determina que este esteja abaixo de 40°C , assim o lançamento do efluente em um corpo hídrico é permitido.

3.2.4 Turbidez

A turbidez está diretamente relacionada com a quantidade de sólidos presentes no efluente. As amostras analisadas para os pH neutro, ácido e básico, respectivamente 7, 4 e 10 de acordo com a Figura 17. Observa-se que a turbidez apresentou diminuição em todos os ensaios de ozonização, alcançando a maior remoção de 71,62% para o pH 10, cujo valor inicial era de 19,1 UNT e após a ozonização apresentou valor de 5,4 UNT.

Segundo Marce et al. (2016), a redução ocorre devido o ozônio atacar as partículas sólidas da matéria orgânica já no início da reação, assim promove uma diminuição no teor de sólidos e, conseqüentemente, uma rápida redução na turbidez.

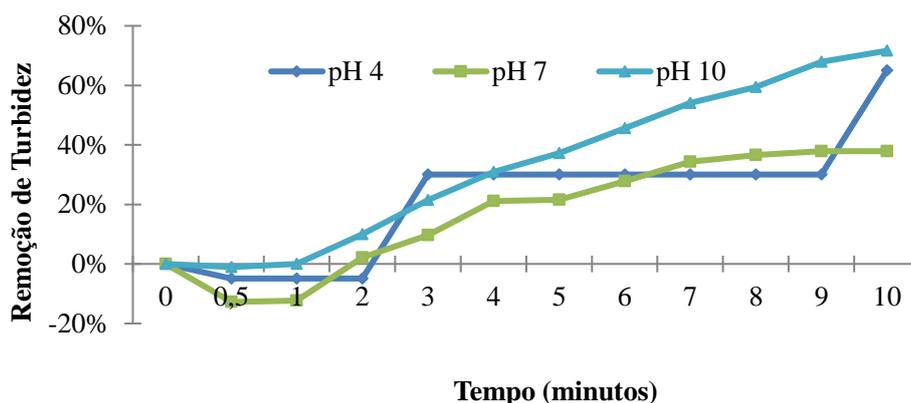


Figura 17 - Remoção da turbidez em função do tempo.

Para fins de comparação com as resoluções, os parâmetros turbidez foram analisados no pós-tratamento, sendo que todos os valores estão de acordo para todas as classes 1 (40 UNT), 2 (100 UNT) e 3 (100 UNT) da Resolução CONAMA 357/005, que complementa e altera a Resolução 430/2005 do CONAMA.

3.2.5 Remoção de nitrogênio e fósforo

Observa-se na Tabela 8 que houve um aumento na concentração de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) e de nitratos (NO_3^-), já nos ensaios de nitrito (NO_2^-) não houve acréscimo e nem diminuição no pós-tratamento, mantendo o seu valor constante proveniente do tratamento MBBR.

De acordo com Domenjoud et al. (2011), Singer e Zilli (1975) e Wang e Pai (2001), o processo de ozonização convencional só é capaz de oxidar o nitrogênio amoniacal presente em amostras de efluente, somente se a amônia estiver sob a forma não ionizada ($\text{NH}_4 + \text{NH}_3 + \text{H}^+$), sendo esta dependente do pH. A amônia se encontra na forma livre (NH_3) em valores de pH acima de 7, podendo ser removida pelo O_3 por meio da reação indireta (HOIGNÉ; BADER, 1978). Os resultados das análises podem ser explicados pela presença de matéria orgânica dissolvida no meio, aumentando o nitrogênio amoniacal com a aplicação de ozônio, devido a oxidação.

O aumento de nitrato, pode ser explicado pela reação de amônia livre com ozônio, desta forma, uma parcela da amônia pode ter sido oxidada a nitrato (ARAÚJO, 2018).

Tabela 8 - Valores de nitrogênio e fósforo do efluente tratado.

Parâmetros	Efluente					
	Amostra	pH 4	pH 6	pH 7	pH 8	pH 10
NH₄⁺-N (mg.L⁻¹)	Bruto	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4
	Tratado	4,2	2,8	3,4	2,6	2,9
NO₃⁻-N (mg.L⁻¹)	Bruto	10	9,8	10	9,8	9,7
	Tratado	12	8,7	13	9,5	12
NO₂⁻-N (mg.L⁻¹)	Bruto	0	0	0	0	0
	Tratado	0	0	0	0	0
P (mg.L⁻¹)	Bruto	5,3	5,4	5,4	5,1	5,4
	Tratado	4,1	5,0	4,4	4,7	4,0

O pós-tratamento apresentou concentração média de nitrogênio amoniacal de 3,2 mg.L⁻¹ estando de acordo com a legislação ambiental CONAMA 357/05 classe 3, exceto o pH 10 pois excede o limite. O fosforo total não se encontra de acordo com a legislação de para nenhuma classe, seja de ambiente lótico, lêntico ou intermediário. A média de nitrato é de 11,10 mg.L⁻¹ somente os pHs 6 (8,7 mg/L) e 8 (9,5 mg.L⁻¹) estão de acordo com as normas de 10 mg.L⁻¹. O nitrito e nitrogênio total estão de acordo com a legislação, pois, a média das análises é \cong 0 mg.L⁻¹ e 14,28 mg.L⁻¹ respectivamente sendo os padrões máximo de lançamento 1,0 mg.L⁻¹ (NO₂⁻-N) e 20 mg.L⁻¹ (NT).

Os resultados nos parâmetros de nitrogênio e fósforo mostrar-se pouca ou nenhuma influência do ozônio. De acordo com Lima (2006), Iaconi (2012) e Costa (2007) também não alcançaram resultados expressivos na remoção destes parâmetros. O fósforo é responsável pelo crescimento de produtores primários nos corpos hídricos, sendo na maioria das condições o nutriente na qual desencadeia o fenômeno da eutrofização, ou seja, é um indicador do estado trófico de um ambiente aquático (ASSUNÇÃO, 2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu analisar a eficiência do ozônio (O_3) no pós-tratamento de efluente frigorífico e piscícolas. O efluente tratado promoveu redução do pH para os dois efluentes devido a interação dos radicais com as moléculas presentes no efluente, como, dióxido de carbono (CO_2).

A operação do biofiltro aeróbio de leito fixo foi avaliada em combinação com processo de ozonização para tratamento de efluente de piscicultura. Observou a concentração significativa do nitrogênio amoniacal presente no efluente, a remoção máxima de amônia pelo tratamento do ozônio (O_3) foi de 18% aos 60 minutos do efluente ozonizado em 20 minutos e inserido no biorreator. Para desinfecção do efluente piscícola, o tratamento foi de 99,9% eficiente, proporcionando a redução de coliformes totais. Possibilitando uma destinação, como forma de reuso.

O tratamento de efluente de indústria frigorífica promoveu redução total de cor (100%) e turbidez (71,62%) no tempo de 10 min de exposição. Para nutrientes nitrogênio e fósforo, com remoção máxima está na faixa de 13% e 25,79% respectivamente. Os resultados nos parâmetros de nitrogênio e fósforo mostrar-se pouca ou nenhuma influência do ozônio, não estando conforme o padrão de classificação da CONAMA 357(2005).

Conclui-se que o pós-tratamento de efluente de indústria frigorífica quanto o efluente de piscicultura pelo o ozônio (O_3) é de muita eficiência para remoção de cor, turbidez e patógenos, mas pouca fração de remoção de nutrientes sob as condições estudadas.

REFERÊNCIAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Perfil da Pecuária no Brasil: Relatório Anual 2020**. São Paulo. 2020. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>. Acesso em: julho de 2021.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL: **Manuais de tratamento de águas residuais. Tratamento primário, secundário e terciário**. Ardavan, Wexford, Irlanda, 1997.

AHMED N.; THOMPSON S.; GLASER M. **Produtividade da aquicultura global, sustentabilidade ambiental e adaptabilidade às mudanças climáticas** *Environ. Manag.* 63, pp. 159 - 172, 2019.

ALFAKIT, LTDA. **Manual de qualidade da água para aquicultura**. Florianópolis/SC 2019.

ALI, S. A. **Design and evaluate a drum screen filter driven by undershot waterwheel for aquaculture recirculating systems**. *Aquacultural Engineering*, v. 54, p. 38–44, 2013.

ALLAOUI, M., et al. Programme UNE (Ed.), **Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation**. Policies and Standards, 2015.

ALLIEVI, F. et al. **Meat consumption and production – Analysis of efficiency, sufficiency and consistency of global trends**. *Journal of Cleaner Production*. pp. 142-151, 2015.

ANDRIOLLI, E.; MELLA, B.; GUTERRES, M. **A tecnologia de ozonização no tratamento de efluentes de curtume**. Florianópolis. 2014.

ARAÚJO, RAÍSSA FARIA. **Ozonização convencional e gas stripping no pós-tratamento de efluente sanitário**. Uberlândia, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PISCICULTURA – PEIXE BR. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2021**. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2021/>. Acesso em julho 2021.

APHA. HunterLab. Measuring the Water Whiteness of Liquids Using the APHA Index. p. 2 – 4, 2005.

ARAÚJO, K. S. D., ANTONELLI, R., GAYDECZKA, B., GRANATO, A. C., & MALPASS, G. R. P. **Advanced oxidation processes: a review of fundamentals and applications in the treatment of urban and industrial wastewaters.** Revista Ambiente & Água. pp. 387-401, 2016.

ARAÚJO, K.S. ANTONELLI, R. et al. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, vol.11,n.2, abr./jun. 2016.

ARVIN, E.; PEDERSEN, L. F.; **Cinética de decomposição do peróxido de hidrogênio em água cultura água.** Aquacult. Eng. vol. 64, pag. 1-7, 2015. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.12.004>.

ASGHAR A., AAA RAMAN. WMAWD Daud **Processos avançados de oxidação para produção in situ de peróxido de hidrogênio / radical hidroxila para tratamento de águas residuais têxteis: uma revisão.** J. Limpo. Prod. pp. 826 – 838, 2015.

ATTRAMADAL, K. J. K.; ØIE, G.; STØRSETH, T. R.; ALVER, M. O.; VADSTEIN, O.; OLSEN, Y. **Os efeitos da ozonização moderada ou da irradiação UV de alta intensidade no micro ambiente crobiano em RAS para larvas marinhas.** Aquaculture 330 (333), pag.121-129, 2012a. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2011.11.042> .

ATTRAMADAL, K. J. K.; BAKKE, I.; OLSEN, Y.; K-SELECTION. **Os micróbios, estratégia de gestão da comunidade: um método para melhorar a viabilidade das larvas em aquicultura.** Frente. Microbiol. 9, 2730, 2018. Doi:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02730>.

AYDIN, BAKI, BARBAS, LUIS ANDRÉ L. **Propriedades sedativas e anestésicas de essenciais óleos e seus compostos ativos em peixes: uma revisão.** Aquaculture 520, pag. 1-9 ISSN 0044-8486, 2020.

BARRETO CAMILO, O. JR. **Ozonização como pós-tratamento de efluente de esgoto doméstico.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2018, 52 p. Dissertação de Mestrado.

BELTRAN F. J.; RIVAS F. J; **Montero-de-Espinosa R. Catalisadores do tipo ferro para a ozonização de ácido oxálico em água.** Water Res., v.39, pp. 3553 - 3564, 2005. Doi: 10.1016 / j.watres.2005.06.018.

BILLOTA, P.; DANIEL, L. A. **Inativação de indicadores microbiológicos com ozônio no tratamento de esgoto sanitário visando o reuso de água.** Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica. v. 4, n. 2, p. 48-56, 2011.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 17 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, v.53, p.58-63, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Diário Oficial da União, n. 92, 16mai. 2011.

BRIJS, JEROEN, SANDBLOM, ERIK, AXELSSON, MICHAEL, SUNDELL, KRISTINA, SUNDH, HENRIK, KIESSLING, ANDERS, BERG, CHARLOTTE, GRÄNS, ALBIN. **Remote physiological monitoring fornece insights únicos sobre o desempenho cardiovascular e a recuperação do estresse patrocinadores da truta arco-íris nadando livremente na aquicultura**. Sci. Rep. vol. 9 (1), pag. 1–12 .2019.

BLANCHETON, J. P.; ATTRAMADAL, K. J. K.; MICHAUD, L., D'ORBCASTEL, E. R.; VADSTEIN, O. **Visão da população bacteriana em sistemas de aquicultura e suas implicações**. Aquacult. Eng. 53, pag. 30 - 39, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.009>.

BUENO P.B.; SOTO D. **Estratégias de Adaptação do Setor de Aquicultura aos Impactos das Mudanças Climáticas**. vol. 1142. Circular FAO Pescarias e Aquicultura. Roma, 2017.

BULLOCK, G. L.; SUMMERFELT, S. T.; NOBLE, A. C.; WEBER, A. L.; DURANT, M. D.; Hankins, J. A. **Ozonização de um sistema de cultura de recirculação de trutas arco-íris**. I. Efeitos sobre doença branquial bacteriana e bactérias heterotróficas. Aquicultura, 1997. Doi: [http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00063-X](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00063-X).

CHRISTOVÃO, D. de A. **Padrões bacteriológicos**. In: Água. qualidade, padrões de potabilidade e poluição. São Paulo, CETESB, 1974. p. 57-119.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - (CNRH). **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências**. RESOLUÇÃO No 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005.

CYRINO J.E.P; OLIVEIRA A.M.B.M. S; COSTA A.B. **Curso Atualizado Em Piscicultura** - 2018. Disponível em: <<https://azdoc.tips/documents/curso-atualizado-em-piscicultura-cyrino-5c134dd55c457>>. Acesso em: 14 set. 2021.

DAVID G. S.; CARVALHO E. D.; LEMOS D.; SILVEIRA A. N.; DALL'AGLIO-SOBRINHO M. **Capacidade ecológica de suporte para aquicultura intensiva de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em um grande reservatório hidrelétrico no sudeste do Brasil.** Aquac. Eng. 66, pp. 30 de - 40, 2015. Doi 10.1016 / j.aquaeng.2015.02.003.

DAVIDSON, J.; GOOD, C.; WELSH, C.; SUMMERFELT, S.; 2011. **O efeito do Ozônio na água, taxas de câmbio sobre a qualidade da água e truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss* por desempenho em sistemas replicados de recirculação de água.** Aquacult. Eng. <http://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.04.001>.

DEGEFU F.; MENGISTU S.; SCHAGERL M. **Influência da criação em jaulas de peixes na qualidade da água e plâncton em tanques de peixes: um estudo de caso nos reservatórios Rift Valley e North Shoa.** Etiópia Aquacultura, V. 316, pp. 129 - 135. 2011. Doi: 10.1016 / j.aquaculture.2011.03.010.

DENG, Y.; ZHAO, R. **Processos de oxidação avançados (AOPs) no tratamento de águas residuais Enquete atual.** Rep., 1, pp. 167 - 176. 2015.

DOLAN, E.; MURPHY, N.; O'HEHIR, M. **Factors influencing optimal micro-screen drum filter selection for recirculating aquaculture systems.** Aquacultural Engineering, v. 56, p. 42–50, 2013.

DOMENJOUR, B., et al. Ozone-Based Processes Applied to Municipal Secondary Effluents. **Ozone: Science & Engineering**, v. 33, n. 3, p. 243–249, 2011. <https://doi.org/10.1080/01919512.2011.571166>

EGBUIKWEM, P. N.; MIERZWA, J.C.; SAROJ, D. P. **Avaliação do processo biológico aeróbio com pós-ozonização para tratamento de águas residuais industriais e domésticas misturadas para potencial reutilização na agricultura.** Bioresource Technology (2020), Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124200>.

ESTENDER, A. C.; PINHEIRO, A. A. **Reutilização da água na indústria.** Revista de Administração da Fatea - RAF, Lorena-SP, v. 11, p.06-127, Jul/Dez 2015.

ENRIQUEZ, Y. A. M. **Remoção de nitrogênio e fósforo de efluentes da atividade piscícola em sistema fechado em reatores de leito móvel com biofilme.** Sorocaba 2018.

FAZIO, FRANCESCO. **Análise da hematologia de peixes como uma importante ferramenta da aquicultura: a Reveja.** Aquaculture. 500, pag. 237–242, 2019.
Ferreira de Jesus, Maria Fernanda. **Processos oxidativos avançados: uma breve revisão.** São Carlos, 2021.

FONT-I-FURNOLS, M.; GUERRERO, L. **Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview.** Meat Science. pp. 361-371, 2014.

FROEHLICH, H. E.; JACOBSEN, NIS SAND, ESSINGTON, TIMOTHY E.; CLAVELLE, TYLER, HALPERN, BENJAMIN S. **Evitando os limites ecológicos de peixes forrageiros para aquicultura alimentada.** Nat. Sustentar. 1 (6), pag 1–6, 2018.

GASPAR Jr.; VIEIRA, R. H. S. F.; TAPIA, M. S. R. **Aspecto sanitário do pescado de origem de água doce e marinha, comercializado na feira de Gentilândia.** Fortaleza–Ceará. Higiene Alimentar, v. 11, n. 51, p. 20 –23, 1997.

GELDREICH, E.E. Aspectos microbiológicos dos esgotos e dos processos de tratamento. In: **Desinfecção de águas.** São Paulo, CETESB, 1974. p. 115-34.

Gray N. F. **Aspectos biológicos do tratamento de esgoto secundário Tecnologia da Água:** Uma Introdução para Cientistas e Engenheiros Ambientais, Capítulo 15, segunda edição. 2005.

GOOD, C.; DAVIDSON, J.; WELSH, C.; SNEKVIK, K.; SUMMERFELT, S. **Os efeitos de ozonização no desempenho, saúde e bem-estar da truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss* em sistemas de aquicultura com recirculação de água de baixa troca.** Aquacult. Eng. 2011. <http://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.04.003>.

GOTTSCHALK, C.; LIBRA, J.A.; SAUPE, A. **Ozonation of Water and Waste Water – A Practical Guide to Understand Ozone and its Applications.** 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlags GmbH & Co. 2010.

GUNKEL G.; MATTA E.; SELGE E.; SILVA G. M. N.; SOBRAL M.C. **Limites de capacidade de carga da aquicultura em tanques-rede em reservatórios brasileiros.** Revista Brasileira Ciências Ambientais. Vol. 36, pp. 128 - 144. Doi:10.5327 / Z2176-947820151008. 2015.

HANSEN, K. M. S; SPILIOPOULOU, A.; CHEEMA, W. A.; ANDERSEN, H. R. **Efeito de ozonização da água da piscina na formação de desinfecção volátil por produtos - um estudo de laboratório.** Chem. Eng. J. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2015.12.052>.

HANSEN, K. M. S; SPILIOPOULOU, A.; CHHETRI, R. K., ESCOLA CASAS, M.; BESTER, K.; ANDERSEN, R. H. **Ozonização para tratamento de origem de produtos farmacêuticos em esgoto hospitalar - vida útil do ozônio e dose necessária de ozônio.** Chem. Eng. J. 2016b. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.027> .

HELFRICH, L. A.; LIBEY, G. **Fish Farming in Recirculating Aquaculture Systems (RAS).** Serviço Cooperativo do Estado da Virgínia. 1991.

HENCHION, M. ET AL. **Meat consumption: Trends and quality matters.** Meat Science. pp. 561-568, 2014.

HOIGNÉ H.; BADER. **Constantes de taxa de reações de ozônio com compostos orgânicos e inorgânicos na água - II: Dissociando compostos orgânicos.** Water Research. Volume 17, Edição 2 , 1983, Páginas 185-194. 1983.

HOIGNE, J., BADER, H. **Ozonation of water: kinetics of oxidation of ammonia by ozone and hydroxyl radicals.** Environmental Science & Technology, v. 12, p. 79–84, 1978. <https://doi.org/10.1021/es60137a005>

HUTCHINSON, W. et al. **Recirculating aquaculture systems: minimum standards for design, construction and management.** Kent Town: Inland Aquaculture Association of South Australia Inc., 2004.

IRANI REZA; KHOSHFETRAT, A. B.; FOROUZESH, MOJTABA. **Real municipal wastewater treatment using simultaneous pre and post-ozonation combined biological attached growth reactor: Energy consumption assessment.** Journal of Environmental Chemical Engineering. 2020.

JAGADEVAN, S. **Treatment of waste metalworking fluid by a hybrid ozone-biological process.** Journal of Hazardous Materials. pp. 394-402, 2013.

KARIMANZIRA D.; JACOBI, M.; PFUETZENREUTER, T.; RAUSCHENBACH, T.; EICHHORN, M.; TAUBERT R.; AMENT C. **Primeiro teste de um sistema de planejamento e orientação de missão AUV para monitoramento da qualidade da água e observação do comportamento dos peixes na piscicultura em tanques-rede.** Information Processing in Agriculture. Volume 1, Issue 2, páginas 131-140, Dezembro de 2014.

KIEJZA, D.; KOTOWSKA U.; POLIŃSKA W.; KARPIŃSKA J. **Perácidos - Novos oxidantes em processos de oxidação avançados: O uso de ácido peracético, peroximonossulfato e sais de persulfato na remoção de micropoluentes orgânicos de preocupação emergente - Uma revisão.** Science of The Total Environment. Vol. 790, 10 de outubro de 2021.

KRAUSE, J. et al. **Design guide for recirculating aquaculture system.** Glassboro, NJ. Rowan University, 2006. 58 p.

KUBTIZA, F. **Sanidade aquícola.** Panorama da aquicultura, 18(107), 28-37, 2008.

KUMAR V.; SINGH K.; SHAH M. P. **Processos de oxidação avançados para águas residuais complexas tratamento.** Processos de oxidação avançados para estações de tratamento de efluentes. pag. 1-31, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821011-6.00001-3>.

LEARMONTH C.; CARVALHO A. P. **Toxicidade aguda e crônica de nitrato para os primeiros estágios da vida dos níveis de segurança de nitrato de fixação do peixe-zebra para a criação do peixe-zebra.** Peixe-Zebra, 12, pp. 305-311, 2015.

LEKANG, O. I. **Aquaculture Engineering.** 2. ed. Oxford: WILEY-BLACKWELL, 2013.

LIMA, Erlon; KOLLNBERGER, Gerhard. **Tecnologias modernas para desinfecção de água e esgotos**. São Paulo : Proquim. Disponível em: <https://proquim.com.br/>. Acesso em 31 agosto 2021.

LIU, D. H. F.; LIPTAK B. G. **Tratamento de água poluída**. Lewis Publishers. Londres, Boca Raton. 2000.

MASSER, M.P., RAKOCY, J., LOSORDO, T.M. **Recirculating aquaculture tank production systems**. Management of Recirculating Systems. SRAC Publication 452. 1999.

MARCE, M., et al. Ozonation treatment of urban primary and biotreated wastewaters: Impacts and modeling. **Chemical Engineering Journal**, v. 283, p. 768–777, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.07.073>

Martins C. I. M.; Pistrin M. G.; Ende S. S. W; Eding E. H; Verreth J. A. J. **The accumulation of substances in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) affects embryonic and larval development in common carp *Cyprinus carpio***. *Aquaculture* 291: 65– 73, 2009.

METCALF; EDDY. **Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización**. 3.ed. México. Mc Graw Hill. 1996. v.1, 752 p.

MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria - estudo de caso da Kodak Brasileira. Tese de Doutorado**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2002. p. 368.

MIKLOS, D.B. et al. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment - a critical review. **Water Research**, v. 139, p. 118-131, ago. 2018.

MIKLOS, D.B. et al. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment - a critical review. **Water Research**, v. 139, p. 118-131. ago. 2018.

MANICKAVACHAGAM, M.; SILLANPAA, M.; SWAMINATHAN, M.; AHMMAD, B. **Processos de oxidação avançados para tratamento de águas residuais**. *Int. J. Photoenergy*. 2014. Doi: <https://doi.org/10.1155/2014/682767>.

MORIS, L. **Águas residuais Municipais efluentes de licenciamento: Uma perspectiva global e recomendações para as melhores p**. *Science of the Total Environment*. pp. 1327-1339, 2017.

MOURA R. S. T.; LOPES Y. V. A., HENRY-SILVA G. G. **Sedimentação de nutrientes e material particulado em reservatório de apoio à aquicultura no semiárido do Rio Grande do Norte**. *Quím. Nova*, 2014. Doi: 10.5935 / 0100-4042.20140203.

MOHAJERANI, M.; MEHRVAR, M.; EIN-MOZAFFARI F. **Uma visão geral da integração de tecnologias de oxidação avançadas e outros processos para tratamento de água e esgoto.** Int. J. Eng. pag. 120 - 146, 2009.

OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. S. **Conservação e uso racional de água: Integração aquicultura-agricultura.** In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (Eds). Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p.113- 161.

OLIVO A. M. **Análise de um modelo industrial de reúso da água no setor frigorífico: reflexão acerca da sustentabilidade.** 2012.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. **Normas internacionales para el agua potable.** 3ªed. Ginebra, 1972.

OTURAN, M. A.; AARON, J. **Processos de oxidação avançados em água/ águas residuais tratamento: princípios e aplicações.** Uma revisão. Crit. Rev Environ. Sci. Technol. 44 (23), pag. 2577–2641. 2014.

PALHARES, J. C. P. **Produção animal e recursos hídricos.** Editora Cubo. 183 p. São Carlos, 2016.

PARRA, L.; LLORET, G.; LLORET, J.; RODILLA, M. **Sensores físicos para água de precisão cultura: uma revisão.** IEEE Sensors J. 18 (10), pag. 3915–3923 de maio de 2018.

PEREIRA A.; CARVALHO A. P.; CRUZ C.; SARAIVA A. **Alterações histopatológicas e desempenho zootécnico em peixes-zebra juvenis (Danio rerio) sob exposição crônica a nitrato.** Aquicultura, 473, pp. 197 - 205, 2017.

POWELL, A.; SCOLDING, J. W. S. **Direct Application of Ozone in Aquaculture Systems.** pp. 1 -15. 2016. Doi: <http://doi.org/10.1111/raq.12169>.

REKHATE V. C.; SRIVASTAVA, J. K. **Avanços recentes na base de ozônio processos de oxidação avançados para tratamento de águas residuais - Uma revisão.** Chemical Engineering Journal Advances, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2020.100031>.

RODRIGUES K. F.; RIPPEL R. **Crescimento Econômico e Recursos Hídricos: um estudo da agropecuária na Bacia do Paraná III.** Curitiba, v.34, n.125, p.191-212, dez. 2013.

SILVA, JOSE GRAZIANO. **The State of World Fisheries and Aquaculture. Comida e Organização da Imprensa das Nações Unidas para a Agricultura.** Roma, Itália, pag.1-227, 2018.

SOUSA J. M.; GONÇALO M.; PEDROSA M.; BECERRA-CASTROA C.; CASTRO-SILVA S; PEREIRA M. F. R.; SILVA A. M.T.; NUNES O. C.; MANAIA C. M. **Ozonation and UV254nm radiation for the removal of microorganisms and**

antibiotic resistance genes from urban wastewater. Journal of Hazardous Materials, 2016. DOI: 10.1016 / j.jhazmat.2016.03.096.

SHARMA A.; AHMAD, J.; FLORA S.J.S. **Application of advanced oxidation processes and toxicity assessment of transformation products.** Environ. Res. 167, 223–233, 2018. [https:// doi.org/10.1016/j.envres.2018.07.010](https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.07.010).

SHAVA, ELVIN, GUNHIDZIRAI, CONSTANCE. **A piscicultura como uma estratégia inovadora para promoção da segurança alimentar em regiões de risco de seca do Zimbábue.** Jambá 9 (1), 2017.

SCHENINI, P. C.; ROSA, A.L.M.; RIBEIRO, M.M.A. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo como Atrativo ao Investimento Ambiental: Estudo de Caso em um Frigorífico de Bovinos.** In: SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 3, 2014, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2014.

SUMMERFELT, S. T. **OZONIZAÇÃO E IRRADIAÇÃO UV - introdução e exemplo de aplicações atuais.** Aquacult. Eng. vol. 28, pag. 21-36, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00069-9).

SUMMERFELT, S.T.; SHARRER, M.J.; TSUKUDA, S.M.; GEARHART, M. **Process requirements for achieving full-flow disinfection of recirculating water using ozonation and UV irradiation.** Aquacult. Eng. 40, 17–27. 2009.

SUMMERFELT, S. T.; DAVIDSON J. W.; WALDROP B. T.; TSUKUDA S. M.; BEBAK-WILLIAMS J. **Um sistema de reutilização parcial para aquicultura de água fria.** Aquacultural Engineering. Volume 31, Issues 3–4, páginas 157-181, outubro de 2004.

TANGO, M. S.; GAGNON, G. A. **Impacto da ozonização na qualidade da água marinha sistemas de recirculação.** Aquacult. Eng. 29 (3 e 4), pag. 125 - 137, 2003. [http://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00061-X](http://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00061-X).

VADSTEIN, O.; ATTRAMADAL, K. J. K.; BAKKE, I.; OLSEN, Y. **K-selection as microbiais estratégias de gestão da comunidade: um método para melhorar a viabilidade das larvas em aquicultura.** Frente. Microbiol. 9, 2730, 2018. <https://doi.org/10.3389/ fmicb.2018.02730>.

VAN RIJN J. **Waste treatment in recirculating aquaculture systems.** Aquacult. Eng., Vol. 53, pag. 49-56. 2013.

VAUGHAN, D. B.; GRUTTER, ALEXANDRA S.; HUTSON, K. S. **Camarão mais limpo é uma opção sustentável para tratar doenças parasitárias em peixes de viveiro.** Sci. Rep. 8 (1), pag. 1–10, 2018.

VERGINE P.; SALERNO C.; LIBUTTI A., BENEDUCCEL.; GATTA G.; BERARDI G.; POLLICE A. **Fechando o ciclo da água no setor agroindustrial com o**

reaproveitamento de águas residuais tratadas para irrigação. J. Clean. Prod. v. 164, pp. 587 - 596, 2017.

VON SPERLING, M. **Características das águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v. 1, p. 24-42; 82-126. 2014.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.

WANG, G. S.; PAI, S. Y. Ozonation of dissolved organic matter in biologically treated wastewater effluents. **Ozone: Science & Engineering**, v. 23, n. 5, p. 351–358, 2001. <https://doi.org/10.1080/01919510108962018>

WANG J.; CHEN H. **Ozonização catalítica para tratamento de água e esgoto: avanços e perspectivas recentes.** Sci. Total Environ. 2019 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135249>.

WANG, J.L.; XU, L. J. **Processos de oxidação avançados para tratamento de águas residuais: formação do radical hidroxila e aplicação.** Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 42 (3), 251–325. 2011.

ZHANG, S.-Y.; LI, G.; WU, H.-B.; LIU, H.-B.; YAO, Y.-H.; TAO, L.; LIU, H. **An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: the effects on water quality and fish production.** Aquacult. Eng., vol. 45, pag. 93-102, 2011.