

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PAULO VITOR DE FIQUEIREDO BACOVIS
ZACARIAS ALVES SIQUEIRA NETO

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE CASCA DO MALTE NA CONVERSÃO
BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

PONTA GROSSA
2022

PAULO VITOR DE FIQUEIREDO BACOVIS
ZACARIAS ALVES SIQUEIRA NETO

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE CASCA DO MALTE NA CONVERSÃO
BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

Trabalho apresentado à disciplina de OTCC
como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharelado em Engenharia Civil
da Universidade Estadual de Ponta Grossa
Orientador: Prof. Dr. Guilherme Araújo Vuitik

PONTA GROSSA
2022

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer primeiramente aos nossos pais, que nos deram apoio para irmos atrás dos nossos sonhos e objetivos. Obrigado por nos dar força, coragem e incentivo para nossas batalhas. Agradecemos e retribuímos o amor incondicional que vocês nos deram em todos os momentos das nossas vidas.

Agradecemos nossas namoradas, Camila e Nicolly que nos apoiaram sempre que vencemos e nos ajudaram a se erguer sempre que perdemos, muito obrigado por todo apoio neste trabalho e na vida toda.

Aos membros das nossas famílias

À Universidade Estadual de Ponta Grossa que nos disponibilizou dos melhores recursos possíveis durante os cinco anos da graduação.

Ao departamento de engenharia civil e seu corpo de professores, principalmente ao nosso orientador, Prof. Dr. Guilherme Araújo Vuitik, obrigado por aceitar nos orientar nessa pesquisa, agradecemos todo apoio, ajuda e conselhos durante esses meses de pesquisa.

Agradecemos a professora doutora Maria Magdalena e a doutora Ana Barana por contribuírem com equipamentos e explicações da pesquisa, além da doutora Tatiane Martins de Assis por compor a nossa banca.

Agradecemos a todas as inúmeras pessoas que nos ajudaram de qualquer forma nas nossas vidas, vocês nos ajudaram nessa conquista, muito obrigado.

RESUMO

A produção de cerveja gera um efluente que deve ser tratado corretamente antes de ser descartado, pois pode resultar em problemas como risco à vida aquática com o aumento da demanda bioquímica de oxigênio em um processo conhecido como eutrofização dos meios aquáticos, além disso o nitrogênio presente em elevada quantidade na água a torna inviável para consumo por poder causar a síndrome do bebê azul, e aumentar a produção endógena de compostos chamados nitrosaminas e nitrosamidas, que são tóxicas para o organismo. Uma das maneiras de remover o nitrogênio dos efluentes consiste em utilizar bactérias heterotróficas as quais transformam nitrito e nitrato em nitrogênio gasoso, todavia esta transformação exige a presença de uma fonte de carbono orgânico. Tendo isso em vista, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a viabilidade do emprego da casca do malte, um resíduo gerado na própria produção da cerveja e que tem pouca função para esta indústria, no processo de remoção do nitrogênio dos efluentes, servindo como fonte exógena de carbono para as bactérias heterotróficas e como meio suporte para o crescimento da biomassa. A casca do malte não se mostrou adequada para meio suporte e fonte de carbono, todavia mostrou que pode otimizar o processo de desnitrificação quando aliada a um polímero de alta densidade.

Palavras-chave: Efluente; Casca do Malte; Bactéria Heterotrófica; Remoção de Nitrogênio.

ABSTRACT

The beer's production generate an effluente that must be treated correctly before being discarded, as it may result in problems like maritime life's risks with the increase of chemical oxygen demand in a process known as eutrophication, besides that, the nitrogen presentes in high concentration in the water unfeasible the consumption, it can causes sickness like blue baby syndrome, and raise the endogenous production of compost nitrogen known as nitrosamine and nitrosamide, that are toxic to organism. One of the ways to remove nitrogen of the effluentes is use heterotrophic bacterias they convert nitrite and nitrate in nitrogen-gas, but this transformation needs an organic carbon source. From this, the objective of this research is to eveluate the use of malt husk, a residue from beer production, which dont have function to this industry, in the process of remove nitrogen from effluents, serving as both as carbon source to the heterotrophic bacterias and support to them in the biomass growth. The malt husk is not effective when used as support and carbon source, but is when combined whit a high-density polymer and used just as carbon source.

Keywords: Effluent; Malt Husk; Heterotrophic Bacterias; Nytrogen Removal

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Processo cervejeiro.....	10
Figura 2 - Sistema convencional de remoção de nitrogênio.....	13
Figura 3 - Representação do processo NDS em biofilme aderido em suporte inerte	14
Figura 4 - Casca do malte	17
Figura 5 - BIOBOB	17
Figura 6 - Etapas da Pesquisa	18
Figura 7 - Recipiente acrílico.....	18
Figura 8 - Reator e suas dimensões	18
Figura 9 - Bomba Tecnozon LDP-104-6	19
Figura 10 - Representação do município de Castro no estado do Paraná.....	20
Figura 11 - Água de drenagem agrícola.....	20
Figura 12 – Gráfico da variação da concentração de nitrato por ensaio	23
Figura 13 - Gráfico da variação da eficiência por ensaio	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros do efluente de cervejarias e comparação com a legislação..	11
Tabela 2 - Faixas ideais de operação	13
Tabela 3 - Caracterização do efluente	22

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	OBJETIVOS	9
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1	INDÚSTRIA CERVEJEIRA	10
3.2	CONVERSÃO BIOLÓGICA DE CARBONO E NITROGÊNIO.....	11
3.2.1	Nitrificação e desnitrificação	11
3.2.2	Sistema convencional de remoção de nitrogênio	12
3.2.3	Sistema de nitrificação de desnitrificação simultânea (NDS)	14
3.2.4	Fontes alternativas de material suporte	15
3.2.5	Meio suporte como fonte de carbono	16
4.	METODOLOGIA	17
4.1	REATOR	18
4.2	EFLUENTE	19
4.3	INOCULAÇÃO	20
4.4	CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E ENSAIOS DE MONITORAMENTO	21
5.	RESULTADOS	22
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA	22
5.2	FASE 1	22
5.3	FASE 2.....	23
6.	CONCLUSÃO	25
7.	REFERÊNCIAS	26

1. INTRODUÇÃO

A indústria cervejeira no Brasil vem em constante crescimento, incluindo a maior produção dos últimos 6 anos no ano de 2021, com um crescimento de 7,6% em venda com 14,32 bilhões de litros e com um crescimento estimado para 15,46 bilhões de litros em 2022 (ALVARENGA; SILVEIRA, 2022).

O processo industrial gera resíduos sejam eles líquidos, sólidos ou gasosos, os quais podem impactar diretamente no meio ambiente e na sua biodiversidade. Na produção de cerveja, o resíduo que se destaca é o bagaço do malte, 20kg para 100 litros produzidos, este consiste em aproximadamente 85% dos subprodutos gerados, além de não possuir funcionalidade nessa indústria e de ser um grande agente poluidor quando descartado de forma incorreta (MAIA, 2020).

O efluente, se descartado sem tratamento num corpo d'água, pode gerar a eutrofização, que consiste num crescimento excessivo de algas devido à concentração elevada de nutrientes, este processo aumenta a demanda bioquímica de oxigênio que dificulta o desenvolvimento de seres aeróbicos (BRANCO et al., 2015). Além disso, a presença de nitrogênio oxidado na forma de nitrito e nitrato neste efluente torna a água imprópria para consumo, visto que estes podem ocasionar doenças ao ser humano como metahemoglobinemia que causa insuficiência respiratória em pessoas e animais, conhecida como síndrome do bebê azul (NASCIMENTO et al., 2017).

Com todos os problemas já citados, além do aumento constante da população mundial e conseqüentemente do consumo, surgem novos desafios acerca da sustentabilidade, entre eles o de criar e aperfeiçoar novas tecnologias capazes de tratar recursos hídricos atendendo aos parâmetros apontados nas resoluções CONAMA 430/11 e CONAMA 357/05.

Uma das soluções que vem sendo empregada para atender às questões supracitadas é a utilização do reator com nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS), este, quando operado com a tecnologia Biobob[®], mostrou-se efetivo para redução da demanda química de oxigênio (DQO) (SOUZA, 2019) e, também, para remoção de matéria orgânica em esgoto sanitário (POLAK, 2018).

Além da tecnologia citada, existem pesquisas que apontam a viabilidade da utilização de resíduos sólidos para fonte de carbono orgânico, como casca de arroz (FOWDAR, 2015), endocarpo de coco (TORRES, 2011), hastes de algodão (ASLAM

et al., 2017) e casca de couro *wet blue*¹ (FRANCHIN, 2006). Desta forma se mostra interessante avaliar o emprego da casca do malte, resíduo da própria atividade cervejeira, como fonte de carbono na NDS.

¹ Wet blue refere-se à pele bovina que sofreu o primeiro processo de transformação no curtume, através de um banho de cromo, que a deixa molhada e com tom azulado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a possibilidade do emprego de casca do malte como fonte de carbono e meio suporte no processo de conversão biológica de Nitrato em Nitrogênio gasoso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o processo de partida de um reator biológico do tipo batelada com leito empacotado com casca de malte empregado na conversão biológica de Nitrato em Nitrogênio molecular;
- Estudar a eficiência de um reator biológico do tipo batelada com leito empacotado com casca de malte e Biobob® empregado na conversão biológica de Nitrato em Nitrogênio molecular;

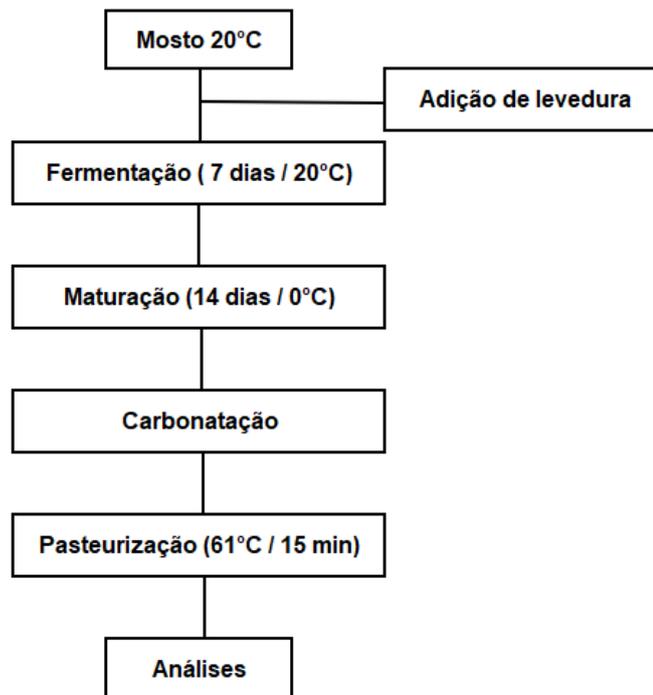
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 INDÚSTRIA CERVEJEIRA

A cerveja veio ao Brasil no início do século XIX, após as aberturas dos portos, nesta época ela começou a competir com a cachaça pela preferência do povo brasileiro (MONTELEONE, 2019). Com esta chegada e com a rápida popularização, logo o Brasil começou a produzir rapidamente a cerveja que décadas depois teria o país como terceiro maior produtor mundial.

A cerveja é uma bebida não destilada que é proveniente da fermentação alcoólica do mosto do cereal maltado, geralmente malte de cevada (JUNIOR et al., 2009). Esta produção pode ser melhor mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Processo cervejeiro



Fonte: ROGERIO, Bruna Muriano; MORETTI, Roberto Hermínio. Produção de cerveja Pilsen com malte concentrado. Congresso Interno de Iniciação Científica. Departamento de Tecnologia de Alimentos, UNICAMP, SP, Brasil, set, 2008.

O processo cervejeiro gera uma quantia de efluente estimada entre 3 a 6 litros para cada litro de cerveja produzida, esta pode ser de origem direta ou indireta, sendo que a direta é representada por toda etapa de produção sem levar em conta a limpeza, que consiste na origem indireta (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

A origem direta pode ser principalmente representada pelas etapas de maltaria, cozimento mosto, fermentação e maturação e, mesmo representando apenas 3% do volume gerado, consiste em 97% da carga orgânica total (PAIVA, 2011). Já os efluentes de origem indireta são principalmente gerados nas operações de lavagem de garrafas, linhas e equipamentos (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

De forma geral, os efluentes gerados no processo cervejeiro, quando se tratando de composição, apresentam alto potencial de poluição, principalmente os originados diretamente, isto se deve a sua carga orgânica, teor de sólidos em suspensão e presença de fósforo e nitrogênio (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Tabela 1 - Parâmetros do efluente de cervejarias e comparação com a legislação.

Parâmetro	Efluente Bruto	CONAMA 357	SEMA 070
pH	6,18	6 a 9	-
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	580	-	-
Turbidez (NTU)	228	100	-
DQO (mg.L^{-1})	3635	-	200
Fósforo (mg.L^{-1})	5,65	0,05	-
Ortofosfato (mg.L^{-1})	2,05	-	-
Nitrogênio Amoniacal (mg.L^{-1})	21,98	20	-
Nitrito (mg.L^{-1})	0,14	1	-
Nitrato (mg.L^{-1})	5,59	10	-

Fonte: Gonzales (2015)

Além do resíduo líquido, a indústria também gera, para cada hectolitro de cerveja produzida, 14 a 20 kg de casca do malte na etapa de mistura do malte moído à água aquecida (FILLAUDEAU et al., 2006), 0,2 a 0,4 kg de trub² na cocção do mosto para sua extração (BRIGGS et al., 2004) e 1,5 a 3 kg de levedura na fermentação (FILLAUDEAU et al., 2006).

3.2 CONVERSÃO BIOLÓGICA DE CARBONO E NITROGÊNIO

3.2.1 Nitrificação e desnitrificação

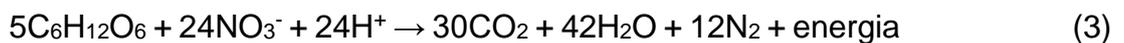
Os processos de nitrificação e desnitrificação são realizados pelas bactérias do tipo heterotróficas, ou seja, bactérias que utilizam de uma fonte externa de carbono orgânico para seu metabolismo (DOMINGUES et al., 2007), estes processos têm como primeiro produto o nitrogênio amoniacal e último reagente o nitrogênio gasoso.(ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016).

² Trub é o resíduo gerado na etapa que promove o whirlpool, sucede a fervura do mosto

Entende-se por nitrificação o processo no qual a amônia é oxidada a nitrito (Equação 1), e o nitrito a nitrato (Equação 2), esta etapa é a primeira do processo de remoção biológica do nitrogênio (METCALF & EDDY, 2003). A oxidação da amônia é feita pelas bactérias do tipo BOA, tem-se como exemplo mais comum as dos seguintes gêneros: *Nitrospira*, *Nitrobacter*, *Nitrospina* e *Nitrococcus*; sendo as mais estudadas as *Nitrobacter*.(BELTRAN, 2008)



A desnitrificação é um processo respiratório anóxico da bactéria, consiste na remoção biológica do nitrato a óxido nítrico, óxido nitroso e gás nitrogênio (METCALF; EDDY, 2003). Os gêneros mais representativos incluem *Alcaligenes*, *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Thiobacillus* e *Thiosphaera* (CIUDAD et al., 2007). Esta remoção é através do processo de oxidação da matéria orgânica (carbono) oriunda de fontes de carbono orgânico (FERREIRA, 2000), quando esta fonte é a glicose, a reação é demonstrada pela (Equação 3):



3.2.2 Sistema convencional de remoção de nitrogênio

O método convencional de remoção do nitrogênio de efluentes geralmente ocorre em duas etapas e unidades separadas, em uma delas ocorre a nitrificação, e na outra ocorre a desnitrificação. Em ambos os processos é necessário o controle do sistema, pois podem ser afetados por diversos fatores, como por exemplo: Temperatura, pH, alcalinidade e oxigênio dissolvido. As faixas ideais de operação em cada fator estão descritas na (Tabela 2) (KOREN et al., 2000).

Tabela 2 - Faixas ideais de operação

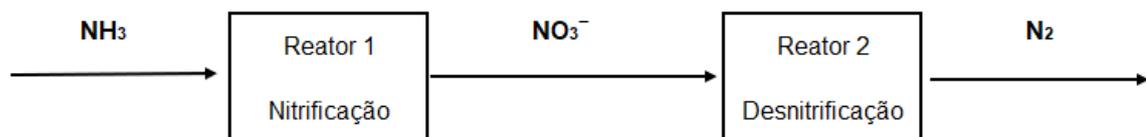
Parâmetros	Nitrificação	Desnitrificação
Gêneros de microorganismos que atuam no processo	Nitrosomonas, Nitrobacter, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus, Nitrococcus, Nitrospira, Nitrospina, entre outras.	Archromobacter, Acinetobacter, Alcaligenes, Bacillus, Chromobacterium, Flavobacterium, Paracoccus, Pseudomonas, entre outras.
Faixa de temperatura (°C)	25 – 36	10 - 30
pH	7 – 8	6,5 - 8
Oxigênio dissolvido (mg.L)	2 – 3	Inferior a 1
Inibidores	Alta concentração de amônia e ácido nitroso	Alta concentração de oxigênio dissolvido
Alcalinidade (mgCaCO ₃)	Consome alcalinidade: 7,14	Gera alcalinidade: 3,57

Fonte: Alves et al. (2018)

Este sistema, portanto, é realizado em duas etapas e em dois reatores diferentes, o primeiro reator é responsável então pela nitrificação e o segundo pela desnitrificação. O efluente rico em nitrogênio amoniacal é colocado no primeiro reator, em seguida parte dele é recirculado neste e outra parte dele segue ao segundo, no qual é desnitrificado, uma das principais vantagens deste reator é a utilização da matéria orgânica como doador de elétrons na desnitrificação, além da não ocorrência de toxicidade de compostos orgânicos aos microrganismos nitrificantes. (KOREN et al., 2000).

No processo de nitrificação, em uma das etapas, ocorre a transformação do NH₃ em NO₂ (METCALF & EDDY, 2003), este gás, o óxido nitroso, é, ao lado de metano e dióxido de carbono, um dos principais gases do efeito estufa (GEE), portanto outra vantagem desse reator, é a conversão de um GEE em um gás menos danoso para atmosfera, o nitrato (MATTOS, 2001).

Figura 2 - Sistema convencional de remoção de nitrogênio



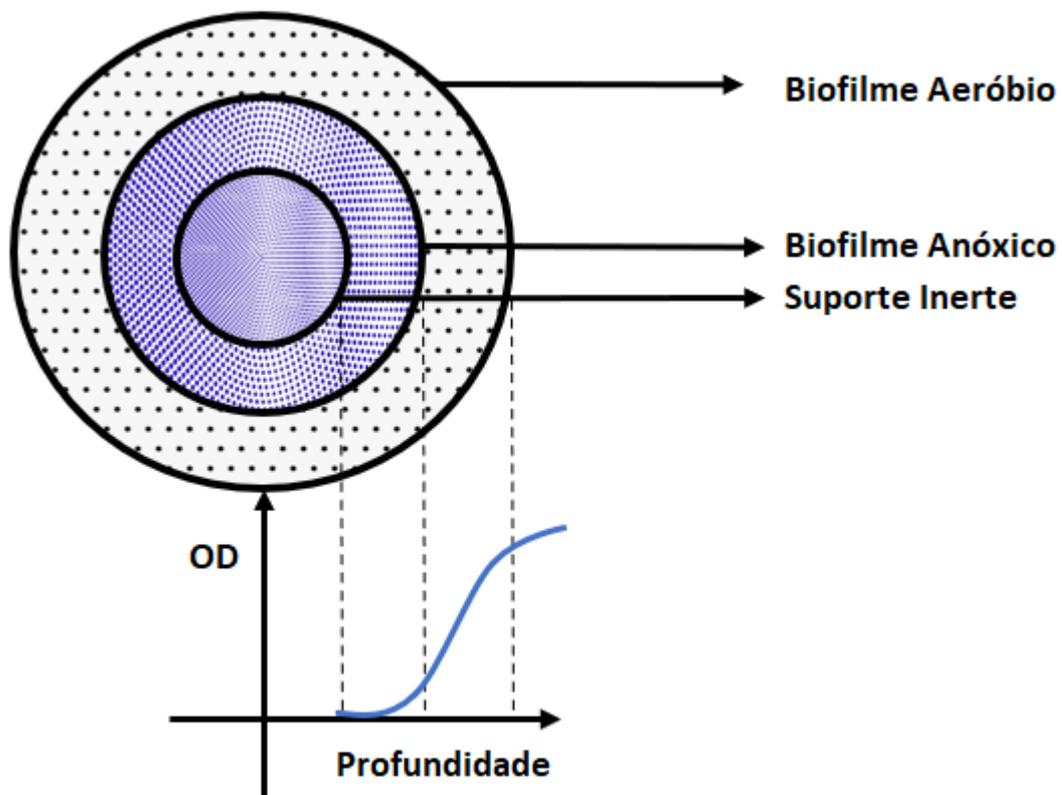
Fonte: Wrage et al. (2016) adaptado.

3.2.3 Sistema de nitrificação de desnitrificação simultânea (NDS)

Uma alternativa para otimizar o processo de remoção de nitrogênio é o reator NDS, que consiste num reator capaz de realizar a nitrificação e a desnitrificação simultaneamente e oferece vantagens sobre o sistema convencional principalmente na economia de espaço e infraestrutura. (ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016)

Devido à distribuição desigual de oxigênio dentro da biomassa, é possível ocorrer a proliferação concomitantemente das bactérias nitrificantes e desnitrificantes. (ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016). Na região com maior concentração de oxigênio dissolvido no reator fixam-se as bactérias nitrificantes, já as desnitrificantes se encontram onde esta é menor. (MUNCH; LANT; KELLER, 1996). O gradiente de oxigênio pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Representação do processo NDS em biofilme aderido em suporte inerte



Fonte: ONO, Alexandre Fernandes. Estratégias de operação de reatores aeróbio/anóxico operados em batelada sequencial para remoção de nitrogênio de água residual industrial. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Foi provada também a capacidade de algumas bactérias desenvolverem o seu sistema NDS, ou seja, convertem nitrogênio amoniacal em nitrogênio gasoso em apenas uma etapa, permitindo então a existência do reator em questão utilizando apenas um tipo de bactéria. (CHIU et al., 2007). Além disso, algumas bactérias nitrificantes podem realizar desnitrificação na presença de pequenas concentrações de oxigênio. (CIUDAD, 2007).

Outro parâmetro importante para efetividade do reator NDS é a menor exigência de carbono quando comparado aos processos convencionais, dessa forma, a remoção de uma mesma quantidade de nitrogênio pode ocorrer com menor consumo de substrato e, como consequência, com menor formação de biomassa (NOCKO, 2008).

3.2.4 Fontes alternativas de material suporte

O Mutag BioChip™ é um meio suporte alemão, desenvolvido em 2008, que já é consolidado no mercado de reatores MBBR (CARVALHO, 2009), uma fonte alternativa para tal meio é o BioBob® que é composto por uma estrutura externa de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), com diâmetro de 1,5 cm e comprimento de 2,0 cm, e a sua parte interna é constituída por espuma de poliuretano (PU) (TELES, 2021).

Um dos exemplos da utilização do BioBob® como meio suporte é no tratamento de águas de drenagem agrícola (SILVA, 2021), o uso deste é amplo e cada pesquisador utiliza tamanhos e maneiras diferentes, na dimensão de 1,5cm de comprimento por 2cm de diâmetro num reator em acrílico de 10L possibilitou um ambiente propício à NDS, além de ser eficiente na remoção de DQO e NT (TELES et al., 2022).

Quando utilizado de forma móvel e ocupando 12% de um reator de polietileno de 500L, foi concluído que ele é eficiente na busca de um melhor escoamento do efluente no interior do reator e de uma eliminação nos efeitos de colmatação do meio (NONAKA, 2019).

A serragem de couro do tipo *wet blue*, quando peneirado e lavado, pode ser utilizada como material suporte de reator anaeróbico no tratamento de esgoto sanitário em diversos tempos de detenção hidráulico com o objetivo de reduzir significativamente as concentrações de matéria orgânica e nitrogênio, além de ser mais efetivo em comparação a outro meio suporte, a brita, quando analisado a remoção de DQO, NTK e nitrogênio amoniacal. (FRANCHIN, 2006)

Para tratar a água residuais contendo sólidos suspensos e dissolvidos, além de turbidez e coloração, foi utilizado hastes de algodão como meio suporte e foi encontrado resultados eficientes nos quatro critérios de análises, além de ser eficaz na redução de DBO e DQO, aproximadamente 70 e quase 80% respectivamente. (ASLAM et al., 2017).

3.2.5 Meio suporte como fonte de carbono

Sabugo de milho foi estudado por Silva (2021) como meio suporte e fonte de carbono simultaneamente, foi utilizado em pedaços de 3cm de diâmetro 1,5cm de altura, contou com uma lavagem de água destilada para remover sujeira e partículas finas. Um reator operado apenas com ele mostrou alta eficiência na remoção de nitrato, acredita-se que a forma da superfície foi fundamental para eficiência do sistema, pois promoveu crescimento na biomassa.

(Fowdar et al., 2015) investigou a eficiência da casca de arroz na remoção do nitrogênio, ela agiu como fonte de carbono e como material suporte, sendo um doador de elétrons no processo de tratamento de água residuária, mostrou uma remoção na casa dos $15\text{mg.L}^{-1}\text{.d}^{-1}$ de nitrato removido em diversas etapas, como tratamento secundário e terciário.

Endocarpo de coco se mostrou efetivo na remoção de nitrato, em águas de abastecimento humano provenientes de poços artesianos, quando utilizado como suporte bacteriano com emprego de câmara anóxica (TORRES, 2011).

Chu e Wang (2015) estudaram o policaprolactona (PCL), um polímero biodegradável, como sendo fonte de carbono e meio suporte num reator NDS para remoção de nitrogênio em águas residuárias e concluíram ser eficiente, visto que atingiram uma remoção de 74,6% em um tempo de retenção hidráulico de 18,5 h.

Palha de arroz, palha de trigo, talo e sabugo de milho, talo e casca de soja foram estudadas por (Ling et al., 2021) como sendo seis meio suportes que atuam como fonte de carbono para remoção de nitrato. Destes, o que se mostrou mais eficiente para o processo de desnitrificação foi o sabugo, todavia os seis atingiram resultados semelhantes e positivos para o estudo de remoção de nitrogênio amoniacal, os autores concluíram que a diferença de rugosidade favoreceu a diferença de resultados entre as fontes, sendo que quanto mais rugoso melhor é para a colônia de bactéria se formar.

4. METODOLOGIA

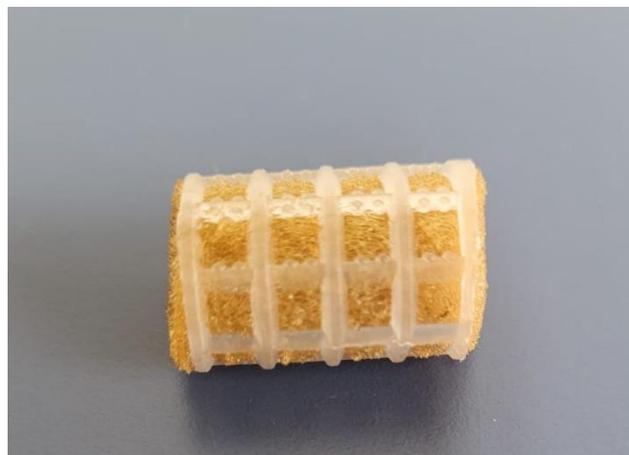
Neste estudo foi investigada a viabilidade da casca de malte como meio suporte e fonte de carbono num reator de nitrificação e desnitrificação simultânea em escala de bancada por meio de ensaio diário de nitrato, a metodologia utilizada consiste em comparar a remoção de nitrogênio de um reator utilizando casca de malte com diâmetro mínimo de 2 mm, com a de um reator tendo mini Biobob® como meio suporte. O fluxograma, Figura 6, apresenta as etapas da pesquisa.

Figura 4 - Casca do malte



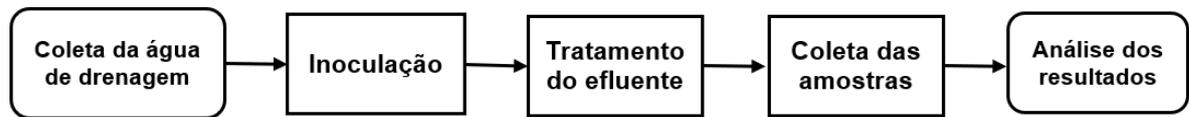
Fonte: Autores (2022)

Figura 5 - BIOBOB



Fonte: Autores (2022)

Figura 6 - Etapas da Pesquisa



Fonte: Autores, 2022.

4.1 REATOR

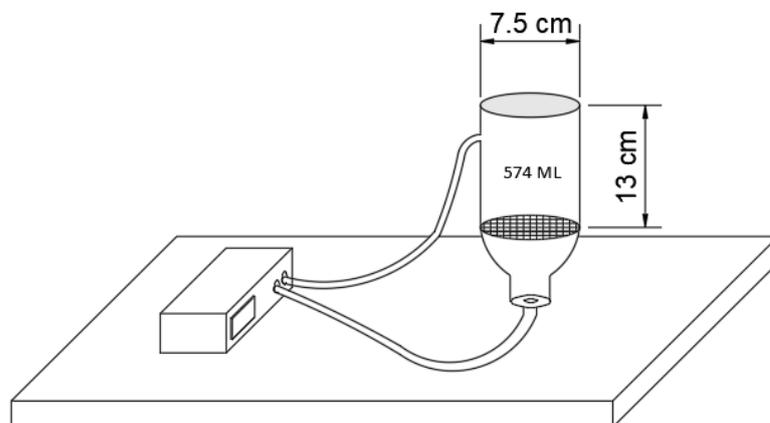
Para o estudo, foram utilizados dois biorreatores em escala de bancada e operados em fluxo descontínuo, batelada, constituídos de um recipiente cilíndrico de acrílico com volume de 574 mL, conforme Figura 7. O esquema do reator e suas dimensões podem ser observados na Figura 8.

Figura 7 - Recipiente acrílico



Fonte: Autores (2022)

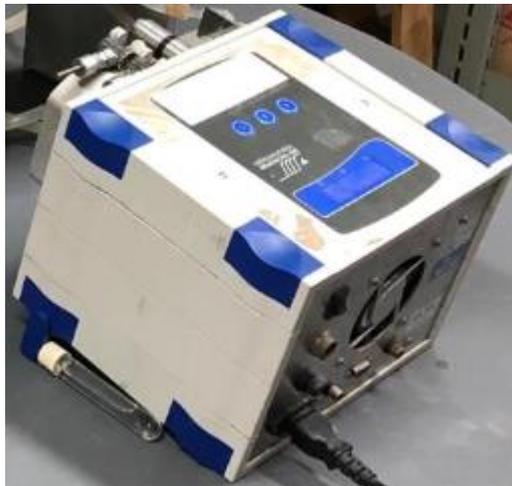
Figura 8 - Reator e suas dimensões



Fonte: Autores, 2022.

Nos ensaios, utilizou-se de duas bombas, a primeira bomba é da marca Tecnozon e de modelo LDP-104-6, Figura 9, operando com uma vazão de 160 mL/min, o qual recirculava a água residuária no interior do reator com casca de malte fixada com uma tela. No segundo reator (meio suporte Biobob[®]), foi utilizada a bomba da marca OFA ambiental com vazão média de 83 mL/min. O reator que utilizou apenas Biobob[®] tinha como função deste apenas meio suporte, diferente do outro reator, que possuía além dessa função, também a de fonte de carbono para a casca do malte

Figura 9 - Bomba Tecnozon LDP-104-6



Fonte: Autores (2022)

4.2 EFLUENTE

O efluente tratado foi uma água de drenagem agrícola retirada de uma fazenda na região da Castrolanda, no município de Castro, Paraná, Brasil (Figuras 10 e 11). Ao se obter o efluente foram realizados ensaios para determinar os seguintes parâmetros: Temperatura, série de sólidos, nitrato, nitrito, pH, alcalinidade e DQO.

Figura 10 - Representação do município de Castro no estado do Paraná



Fonte: Autores (2022)

Figura 11 - Água de drenagem agrícola



Fonte: Autores (2022)

A água foi enriquecida com nitrato de sódio numa faixa de 30 a 50 mg/L, este enriquecimento foi feito para avaliar de uma maneira mais clara se estava ocorrendo remoção de nitrato no processo de recirculação no reator empregado com casca do malte.

4.3 INOCULAÇÃO

Inoculação é a etapa na qual os microrganismos são fixados no meio suporte do reator. Para tanto, água de drenagem agrícola foi recirculada e avaliada

periodicamente a concentração de nitrato e DQO, semelhante ao desenvolvido por Stolle (2022).

Como o objetivo desta etapa é fixar as bactérias heterotróficas, as quais são responsáveis pela remoção do nitrogênio presentes na água de drenagem no reator, esta fixação é observada quando a demanda química de oxigênio (DQO) tende a zero associada à queda na concentração de nitrato, pois aquela indica a quantidade de oxigênio dissolvido e esta indica que as bactérias ali presentes transformaram o nitrato em nitrogênio molecular.

4.4 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E ENSAIOS DE MONITORAMENTO

Após o processo de inoculação, iniciou-se a operação do reator. O efluente da lagoa foi enriquecido com nitrato e recirculado no reator para garantir as condições de mistura, este enriquecimento facilitou a visualização do processo de desnitrificação em laboratório.

Para verificar a viabilidade da desnitrificação em reator batelada com meio suporte e fonte de carbono com casca de malte, foram realizadas duas fases com diferentes tempos de detenção hidráulico, o primeiro sendo o TDH de 24 horas o qual o reator foi preenchido apenas com casca do malte, na segunda etapa, adicionou-se Biobob® a este reator e utilizou-se um TDH de 12 horas.

O parâmetro concentração de Nitrato foi analisado com ensaios de acordo com *Standart Metthods* (APHA, 2005), este parâmetro foi analisado com uma amostra coletada ao periodicamente, a cada 24 h, na fase de inoculação, onde não havia descarte de efluente, e em ciclos de 12 h, onde houve substituição total do efluente.

5. RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

Após a coleta da água de drenagem, foram realizados ensaios para determinar os parâmetros de qualidade deste efluente, na Tabela 3 é mostrada a caracterização do efluente. Os parâmetros escolhidos para caracterização foram: Alcalinidade, condutividade, DQO, nitrato, nitrito, pH, sólidos e temperatura.

Tabela 3 - Caracterização do efluente

Parâmetro	Valor
DQO (mg/L)	0
Temperatura (°C)	13
Nitrito (mg/L)	0,003
Nitrato (mg/L)	2,36
Sólidos totais (mg/L)	53,33
Sólidos fixos (mg/L)	20
Sólidos voláteis (mg/L)	33,33
Alcalinidade (ppm)	9,194
pH	6,04

Fonte: Autores (2022)

A demanda química de oxigênio nula representa ausência de matéria orgânica carbonácea, fundamental para a conversão heterotrófica de nitrato a nitrogênio molecular (PHILIPS, 2008). A presença de sólidos voláteis (33,33 mg/L), no entanto, revela a presença de expressões de matéria orgânica, como a nitrogenada.

Como o potencial hidrogeniônico se encontrava próximo da neutralidade (pH = 6,04) não foi necessária adição de alcalinizante, para além da alcalinidade presente (9,194 ppm) (SOUTO, 2009)

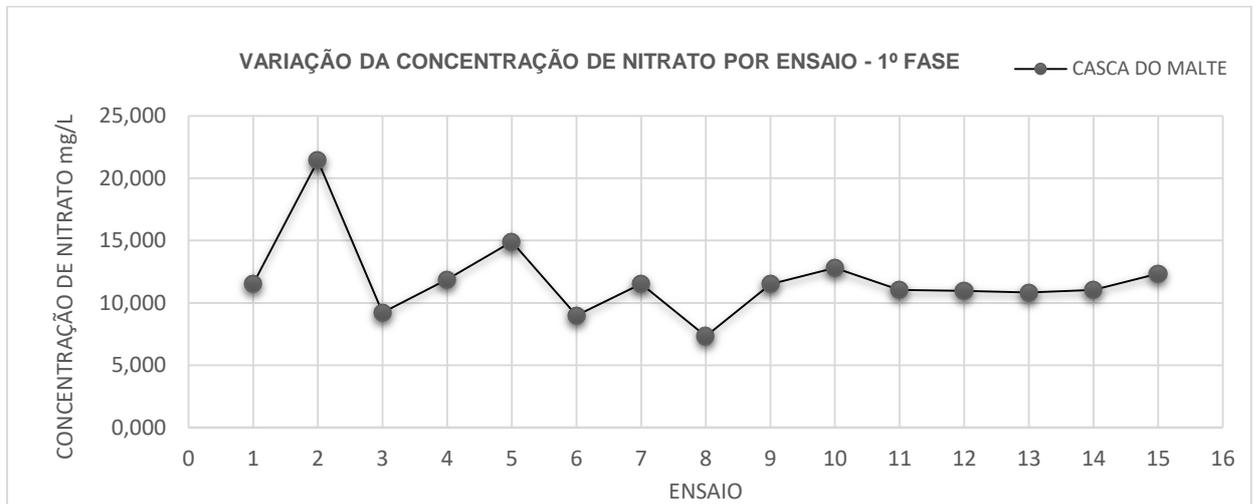
Efluentes com temperaturas na faixa de 8 a 28 °C mostram um aumento na atividade das bactérias (ZOPPAS, 2016). No entanto, em função do baixo valor de nitrato (2,36 mg/L), foram necessários enriquecimentos ao longo do experimento, para se obter uma melhor visualização do processo de desnitrificação. Ademais, a baixa concentração de nitrito (0,003 mg/L) sugere que já ocorrera a nitrificação da água residuária (VON SPERLING, 1996).

5.2 FASE 1

A primeira fase do processo experimental consistiu na análise de remoção de nitrato diariamente para verificar se ocorreu de fato a inoculação no reator de casca

do malte. A variação da concentração de nitrato no reator ao longo da inoculação pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 – Gráfico da variação da concentração de nitrato por ensaio



Fonte: Autores (2022)

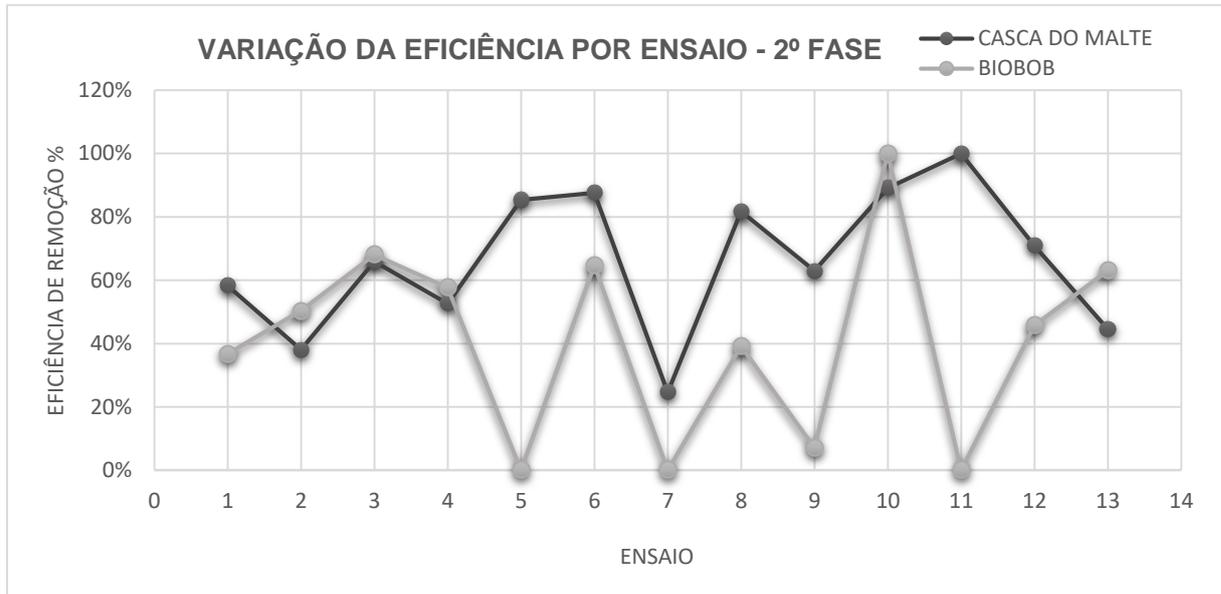
Nesta fase, observa-se pelos valores do gráfico que não ocorreu o processo de inoculação, visto que a concentração de nitrato não reduziu consideravelmente ao passar do tempo, não ocorrendo, portanto, processo de inoculação no reator, e consequentemente definindo que a casca do malte não se mostrou adequada como meio suporte e fonte de carbono para o processo de conversão biológica de nitrogênio.

5.3 FASE 2

Visto que na primeira fase, obteve-se como resultado que a casca do malte se mostrou inviável se utilizada como meio suporte e fonte de carbono, foi testada na segunda fase se a casca do malte possui a capacidade de otimizar a remoção de nitrato, como fonte de carbono, caso o reator possua outro meio suporte, no caso em questão o Biobob®. Para o teste dessa hipótese foi determinado um TDH de 12 horas.

Na Figura 13 são apresentados os dados de eficiência de remoção de nitrato da água residuária, nos ensaios em batelada com TDH de 12 h. a eficiência média de conversão de nitrato foi de 66%. \pm 22,28%.

Figura 13 - Gráfico da variação da eficiência por ensaio



Fonte: Autores (2022)

Na Figura 13 pode ser observada uma eficiência mais baixa nos primeiros ensaios, isso deve a uma adaptação da biomassa no sistema, após essa adaptação, pode ser observada valores mais elevados de eficiência de remoção do nitrato, chegando até mesmo a 100%. Com um nível de significância de 0,05, é possível afirmar que houve aumento na eficiência de remoção de nitrato, confirmado pelo teste ANOVA ($F = 9,59$; $p\text{-value} = 0,004424$).

Observou-se desnitrificação no reator empregado apenas com Biobob®, a qual não era esperada, todavia acredita-se que ocorreu uma desnitrificação autotrófica, ou seja, sem fonte de carbono orgânico. Esta se deve a uma rota alternativa para oxidação da amônia a qual ocorre simultânea à redução de nitrito em meio anaeróbio, como o processo ANAMMOX, sigla em inglês para oxidação anaeróbia da amônia. (ALVES, 2018).

Pela eficiência apresentada, o reator montado não pode ser utilizado no tratamento de efluentes, pois apesar de se observar uma eficiência considerável para uma fonte de carbono que não tem custo para indústria e diminuir a concentração de nitrato, esta não ficou abaixo da permitida pela CONAMA 357, impossibilitando portanto seu descarte sem tratamento secundário.

6. CONCLUSÃO

A casca de malte não se mostrou viável para emprego como meio suporte e fonte de carbono na conversão biológica de nitrato, pois não mostrou utilidade para agregar as bactérias em si, visto que a concentração não baixou de 7,33 mg/L, chegando em uma média de apenas 11,82 mg/L, mostrando que não ocorreu inoculação, todavia atuando apenas como fonte de carbono ela se mostrou viável para indústria.

Em função da eficiência de remoção do nitrato num reator que utiliza casca do malte e Biobob[®] ($66 \pm 22,81\%$), com TDH de 12 h, conclui-se que a casca do malte otimiza a conversão biológica de nitrogênio quando utilizada apenas como fonte de matéria orgânica em um reator que possui o Biobob[®] como meio suporte, com possíveis rotas autotróficas de desnitrificação, visto que o reator com Biobob[®] apresentou eficiência de apenas $20 \pm 80,03\%$.

7. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, D; SILVEIRA, D. Consumo de cerveja cresce no país mesmo com inflação e movimento ainda fraco nos bares. **G1**, 2022. Disponível em < <https://g1.globo.com/economia/noticia/2022/06/11/consumo-de-cerveja-cresce-no-pais-mesmo-com-inflacao-e-movimento-ainda-fraco-nos-bares.ghtml>>. Acesso em: 03 de ago. de 2022.

ALVES, C. F.; BORTOLUCI, C. B. C.; OLIVEIRA, E. P.; PIZZO, M. M.; RODRIGUEZ, R. **Remoção biológica de nitrogênio em águas residuárias: uma revisão dos processos convencionais aos processos modernos**. Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais, v. 9, n. 3, p. 174–187, 2018.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21 ed. Washington: 2005.

ASLAM, M.M.A.; KHAN, Z. M.; SULTAN, M.; NIAZ, Y.; MASMOOD, M.H.; SHOIB, M.; SHAKOOR, A.; AHMAD, M. Ahson et al. Performance Evaluation of Trickling Filter-Based Wastewater Treatment System Utilizing Cotton Sticks as Filter Media. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 26, n. 5, 2017, p. 1960

BELTRAN, C. A. E. **Aplicación de un sistema de control supervisor de pH y OD en la operación continua de un reactor nitrificante de disco rotatório**. 2008. Tese de doutorado. Universidad de La Frontera, 2008.

BRANCO, P.M.P.; NOGUEIRA, R.G.S.; FERREIRA, L.M.S.; BORGES, F.A.; LUCAS, J. Importância dos nutrientes no efluente de águas residuárias humanas à saúde pública. **Ars Veterinaria**, v. 31, n. 2, 2015.

BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. **Brewing Science and Practice**. Flórida: CRC Press LLC and Woodhead Publishing Limited, 2004.

CARVALHO, J.S. **Sistemas MBBR em escala piloto operados em bateladas sequenciais para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de esgoto sanitário: impacto do material suporte no desempenho dos processos e na geração de lodo**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2019.

CHIU, Y.C. LEE, L.L; CHANG, C.N.; CHAO, C.A. Control of carbon and ammonium ratio for simultaneous nitrification and denitrification in a sequencing batch bioreactor. **International biodeterioration & biodegradation**, v. 59, n. 1, p. 1-7, 2007

CHU, L; WANG, J. Denitrification performance and biofilm characteristics using biodegradable polymers PCL as carriers and carbon source. **Chemosphere**, v. 91, n. 9, 2013. p. 1310-1316

CIUDAD, G; GONZALEZ, R; BORNHARDT, C; ANTILEO, C. Modes of operation and pH control as enhancement factors for partial nitrification with oxygen transport limitation. **Water research**, v. 41, n. 20, 2007, p. 4621-4629

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e 120 diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. 2005.

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

DOMINGUES, V.O.; TAVARES, G.D.; STUKER, F.; MICHELOT, T.M.; REETZ, L.G.B.; BERTONCHELI, C.M.; ROENER, R. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. **Saúde (Santa Maria)**, v. 33, n. 1, 2007, p. 15-19

FERREIRA, E. S. CINÉTICA QUÍMICA E FUNDAMENTOS DOS PROCESSOS DE NITRIFICAÇÃO E DENITRIFICAÇÃO BIOLÓGICA. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental 2000. Porto Alegre: UFRGS, 2000. p.1-25

FILLAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G. Water, wastewater and waste management in brewing industries. **Journal of cleaner production**, v. 14, n. 5, 2006.

FOWDAR, H. S.; HATT, B. T.; BREEN, P.; COOK, P. LM.; DELETIC, A. Evaluation of sustainable electron donors for nitrate removal in different water media. **Water Research**, v. 85, nov. 2015., p. 487-496

FRANCHIN, A. C. **Nitrificação de efluente de reator anaeróbio compartimentado em filtros percoladores com a utilização da serragem de couro do tipo wet blue como meio suporte**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.

GONZALEZ, A. C. **Macrófitas aquáticas e efluente de cervejaria: dinâmica e perspectivas**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.

JUNIOR, A. A.D.; VIEIRA, A. G.; FERREIRA, T. P. Processo de produção de cerveja. **Revista Processos Químicos**, v. 3, n. 6, 2009, p. 61

KOREN, D. W.; GOULD, W. D.; BÉDARD, P. Biological removal of ammonia and nitrate from simulated mine and mill effluents. **Hydrometallurgy**, v.56, n.2, 2000, p. 127-144

LING, Y., YAN, G., WANG, H., DONG, W., WANG, H., CHANG, Y., LI, C. Release mechanism, secondary pollutants and denitrification performance comparison of six kinds of agricultural wastes as solid carbon sources for nitrate removal. **International Journal of Environmental Research and Public health**, v. 18, n. 3, 2021, p. 1232.

MAIA, I. C. **Avaliação de compostos bioativos de bagaço de malte de cervejaria artesanal e a influência da fermentação em estado sólido**. 2020. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. 2020.

MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: O caso do Município do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3. Ed. New York, McGraw – Hill Book, 2003, 1334p.

MONTELEONE, J. Uma pequena história da cerveja no Brasil. **Brasil de Fato**, 2019. Disponível em < <https://www.brasildefato.com.br/2019/12/27/uma-pequena-historia-da-cerveja-no-brasil/>>. Acesso em: 03 de ago. de 2022.

MÜNCH, E. V.; LANT, P.; KELLER, J. Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactors. **Water Research**, v.30, n.2, 1996, p. 277-284.

NASCIMENTO, T. S. do; PEREIRA, R. O. L.; MELLO, H. L. D. de; COSTA, J. Metamoglobinemia: do diagnóstico ao tratamento. **Revista Brasileira Anestesiologia**, Campinas, v. 58, n. 6, 2008., p. 652-654.

NOCKO, L. **Remoção de carbono e nitrogênio em reator de leito móvel submetido à aeração intermitente**. 2008. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo. 2008

NONAKA, F. M. **Uso de tubos de Venturi na aeração de um reator de leito móvel aplicado na remoção de matéria orgânica e nitrogênio**. 2019. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2019.

ONO, A. F. **Estratégias de operação de reatores aeróbio/anóxico operados em batelada sequencial para remoção de nitrogênio de água residual industrial**. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PAIVA, G. M. **Estudo do processamento e mercado de cervejas especiais no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Educacional da Fundação Salvador Arena. Faculdade de Tecnologia Termomecânica, São Bernardo do Campo, 2011.

PHILIPS, Angelina Maria de Lima. **Utilização de reator de biodiscos para tratamento de efluentes com altas concentrações de nitrogênio**. 2008.

POLAK, R. **Reator de leito empacotado em escala piloto para remoção de matéria orgânica e nitrogenada de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Área de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cervejas e refrigerantes**. CETESB, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 01 ago. 2022.

SILVA, T. **Remoção de nitratos de água de drenagem agrícola em biorreator com suporte de sabugo de milho e espuma de poliuretano**. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Sanitária e Ambiental, Área de concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2021.

SOUTO, G. D. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (stripping)**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUZA, T. N. **Influência da concentração de alcalinidade e relação C / N no processo de nitrificação e desnitrificação simultânea de efluente de microcervejaria em um reator de leito estruturado**. 2019. Dissertação. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2019.

TELES, J C.; DA SILVA, CORRÊA, G.M.; BARANA, A.C. Reator de leito empacotado com recirculação para remoção de DQO e NT de efluente de microcervejaria. **Revista RedBioLAC**, v. 6, n. 1, 2022.

TELES, J.C. **Remoção de DQO e nitrogênio de efluente de microcervejaria em biorreator de leito empacotado com aeração intermitente**. 2021. Tese de doutorado (Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2021, p. 62.

TORRES, R. M. **Remoção biológica de nitrato em água de abastecimento humano utilizando o endocarpo de coco como fonte de carbono**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). 2011. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

VERDI, A.; VARGAS, A. M.; SANTOS, H. P.; SANTI, A.; DALMAGO, G.A.; ZANCHETTA, P.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 21, n. 1, 2016, p. 29-42.