

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIAS  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**GABRIELLI LEMOS DE OLIVEIRA**

**EFICIÊNCIA DO MELAÇO COMO FONTE DE CARBONO  
NO SISTEMA DE LODO ATIVADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**FRANCISCO BELTRÃO - PR**

**2019**

GABRIELLI LEMOS DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA DO MELAÇO COMO FONTE DE CARBONO  
NO SISTEMA DE LODO ATIVADO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação como requisito parcial para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da UTFPR, Câmpus Francisco Beltrão.

Orientadora: Dra. Elaine Schornobay Lui

FRANCISCO BELTRÃO - PR

2019

**TERMO DE APROVAÇÃO**  
**Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2**  
**EFICIÊNCIA DO MELAÇO COMO FONTE DE CARBONO**  
**NO SISTEMA DE LODO ATIVADO**

por

**Gabrielli Lemos de Oliveira**

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 07:30 horas, do dia 27 de novembro de 2019, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. A candidata foi arguida pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca Avaliadora:

---

**Elaine Shornobay Lui**

(Presidente da Banca)

---

**Marcelo Bortoli**

Membro da Banca

---

**Fábio Gonçalves Novais**

Membro da Banca

---

**Denise Andréia Szymczak**

(Professora Responsável pelo TCC)

---

**Wagner de Aguiar**

Coordenador do Curso de Engenharia

Ambiental

"O Termo de Aprovação encontra-se assinado na Coordenação  
do Curso".

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, proteção e sabedoria nos momentos de dificuldade.

Pelo meu namorado Públio Klein pela confiança em mim depositadas durante minha formação.

À minha amada mãe, Celeste Lemos e pela minha segunda mãe Norma Lemos por todo os conselhos, incentivos, carinho, dedicação e confiança no decorrer de toda a minha vida. Sei que não mediu esforços para que esse nosso sonho pudesse se tornar realidade.

À minha querida amiga Suelen Berndt pelo companheirismo e apoio nesses anos de graduação. Obrigada pelos momentos de descontração e por deixar os meus dias mais felizes.

As minhas amigas Kelli Pasa e Ana Pasa, por amizade e companheirismo durante esses anos de faculdade.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elaine Schornobay Lui pelo apoio e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha professora Izadora Consalter pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho e a professora Naimara Viera por ter me ajudado na realização da estatística no TCC.

Ao meu supervisor de estágio Fábio Gonçalves Novais pelo apoio e confiança para execução desse trabalho.

Pelo Murilo Zucchi pelos conselhos e auxílio na realização desse trabalho.

A indústria de gelatina e colágeno hidrolisado pelo fornecimento dos dados para o desenvolvimento do trabalho.

## RESUMO

Oliveira, Gabrielli Lemos. **Eficiência do melaço como fonte de carbono no sistema de lodo ativado**. 2019. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

Com o aumento da população o consumo da água está cada vez maior, deste modo, toda água retirada do meio ambiente para fins industriais não deve ser retornada aos corpos receptores sem um tratamento adequado, pois pode gerar problemas de poluição e contaminação. O presente estudo foi realizado na indústria de alimentos localizada no estado de São Paulo, sua atuação é na produção de gelatina e colágeno hidrolisado. A indústria possui Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), onde os processos são: tratamento primário/equalização, coagulação e floculação, físico-químico, tanque pulmão, biodigestor, lodo ativado, clarificador final. Após passar pela ETE o efluente é direcionado para o rio. Este estudo foi realizado apenas no sistema de lodo ativado, onde um dos principais problemas neste sistema era a não remoção do nitrogênio amoniacal, que quando encontrado em altas concentrações e se liberado aos recursos hídricos, podem ser excessivamente desfavoráveis para o meio ambiente. Foi testado o melaço como fonte de carbono, sendo um subproduto da produção de cana. Para aplicação do melaço foi utilizado um reservatório de capacidade de 1000 litros e uma bomba dosadora, com vazão de 1000 L/h que foram posicionados na parte inferior do tanque e encaminhamento do melaço para o interior dos tanques. A proporção utilizada foi de 400 litros de melaço diluídos em 600 litros de água e a diluição fez-se necessária em virtude da viscosidade do melaço e capacidade da bomba dosadora. Para analisar os resultados utilizou-se o programa de estatística R-Studio para verificar a eficiência da aplicação do melaço. Foram comparadas as médias por semana de janeiro a junho, com o total de 24 semanas, sendo que, em 10 semanas foi aplicado o melaço e em 14 semanas não houve aplicação do melaço. As semanas foram separadas em dois tratamentos de “com melaço e sem melaço”, sendo utilizado o teste Tukey para comparar se as médias são significativamente iguais ou diferentes. Com os resultados foi possível observar que os valores médios das semanas com e sem aplicação de melaço foram próximos, sendo possível afirmar que durante os períodos em que não houve aplicação do melaço ocorreu maior redução do valor de N-amoniacal, ou seja, o processo de desnitrificação, para o caso deste estudo foi mais eficiente sem a aplicação do melaço. Durante as 10 semanas em que o melaço foi aplicado a eficiência de remoção do nitrogênio amoniacal foi de 64%. Nas semanas sem a aplicação do melaço a média obtida de remoção do nitrogênio amoniacal foi de 84%. Foram analisados parâmetros que, segunda a literatura, interferem no processo de nitrificação e desnitrificação, tais como: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, substâncias tóxicas ou inibidoras e fonte de carbono. Desta forma, no presente estudo, foi possível concluir que a adição do melaço não melhorou a eficiência do processo.

Palavras-chave: Lodo ativado. Melaço. Nitrogênio amoniacal.

## ABSTRACT

Oliveira, Gabrielli Lemos. **Molasses efficiency as a carbon source in the activated sludge system**. 2019. 47f. Course's final work. Environmental Engineering course. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019

As the population increases, water consumption is increasing, so any water taken from the environment for industrial purposes should not be returned to receiving bodies without proper treatment, as it can cause pollution and contamination problems. The present study was carried out in the food industry located in the state of São Paulo. Its activity is the production of gelatin and hydrolyzed collagen. The industry has Effluent Treatment Station (ETE), where the processes are: primary treatment / equalization, coagulation and flocculation, physicochemical, lung tank, biodigester, activated sludge, final clarifier, then the effluent is directed to the river. . The study was conducted in the activated sludge system, one of the main problems in this system is the ammonia nitrogen, when found in high concentrations, if released to water resources, can be excessively unfavorable to the environment. Molasses was tested as a carbon source, being a byproduct of sugarcane production. For molasses application, a reservoir with a capacity of 1000 liters and a metering pump with a flow rate of 1000 L / h were used, which were positioned at the bottom of the tank and routed the molasses into the tanks. The proportion used was 400 liters of molasses diluted in 600 liters of water. Dilution was necessary due to molasses viscosity and metering pump capacity. To analyze the results, an R-Studio statistics program was used to verify the efficiency of molasses application. Averages were made per week from January to June, with a total of 24 weeks, 10 weeks with molasses application and 14 weeks without molasses application, some weeks were not used due to lack of available data. The weeks were separated into two "molasses and no molasses" treatments, using the Tukey test showing whether the means are significantly the same or different. With the results it is possible to observe the average values of the weeks with and without molasses application are close, being possible to affirm that during the periods when there is no molasses application there is greater reduction of the value of ammonia N, that is, the process of denitrification, for the case of this study is more efficient without the application of molasses. During the 10 weeks applied molasses had an average ammonia nitrogen removal efficiency of 64%. Without molasses application, the average ammonia nitrogen removal was 84%. Each parameter that interferes with the nitrification and denitrification process, such as temperature, pH, dissolved oxygen, toxic or inhibitory substances and carbon source was analyzed. Thus, in the present study, through the analysis of the parameters, it was concluded that the activated sludge system with molasses addition was not efficient.

Keywords: Sludge activated. Molasses. Ammonia Nitrogen

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas dos tanques de aeração.....	22
Tabela 2 - Periodicidade das análises físico-químicas.....	27
Tabela 3 - Parâmetros e técnicas analíticas utilizadas.....	28
Tabela 4 - Remoção do nitrogênio amoniacal entre os tanques da saída do biodigestor e do sistema de lodo ativado.....	30
Tabela 5 – Nitrogênio amoniacal na entrada do lodo ativado.....	31
Tabela 8 - Tanque secundário (lançamento do efluente).....	34
Tabela 9 - Médias do tratamento com e sem melaço do parâmetro oxigênio dissolvido.....	37
Tabela 10 - Temperatura no processo da nitrificação.....	38
Tabela 11 - pH no processo da nitrificação.....	39
Tabela 12 - pH no processo da desnitrificação.....	40
Tabela 13- Temperatura no processo da desnitrificação.....	41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de produção de gelatina.....	15
Figura 2 - Processo de produção de colágeno hidrolisado.....	16
Figura 3 - Etapa da estação de tratamento de efluente da indústria produtora de gelatina e colágeno hidrolisado.....	19
Figura 4 - Esquema do fluxo do sistema de lodo ativado.....	20
Figure 5- Gráfico <i>box-plot</i> remoção do nitrogênio amoniacal.....	30
Figura 6 - Gráfico <i>box-plot</i> remoção do nitrogênio amoniacal na entrada do lodo ativado.....	31
Figura 7 - Processo da nitrificação.....	32
Figura 8 - Remoção do nitrogênio amoniacal.....	33
Figura 9 - Remoção em porcentagem do nitrogênio amoniacal com e sem melaço.....	34
Figura 10– <i>Box-plot</i> do lançamento do efluente.....	35
Figura 11 – <i>Box-plot</i> do parâmetro oxigênio dissolvido do tratamento com e sem melaço no processo da nitrificação.....	36
Figura 12 - <i>Box-plot</i> do parâmetro temperatura do tratamento com e sem melaço no processo da nitrificação.....	37
Figura 13 - <i>Box-plot</i> do parâmetro pH do tratamento com e sem melaço no processo de desnitrificação.....	39
Figura 14 - <i>Box-plot</i> do parâmetro pH do tratamento com e sem melaço no processo de desnitrificação.....	42
Figura 15 - <i>Box-plot</i> do parâmetro temperatura do tratamento com e sem melaço no processo de desnitrificação.....	43



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVO .....	13
2.1	OBJETIVO GERAL .....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
3	REVISÃO DE LITERATURA .....	14
3.1	INDÚSTRIAS NO BRASIL .....	14
3.2	INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS .....	14
3.3	INDÚSTRIAS DE GELATINA .....	15
3.4	QUALIDADE DA ÁGUA .....	16
3.5	TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	17
3.5.1	Métodos físico-químicos .....	17
3.5.2	Métodos biológicos .....	18
3.5.3	Sistema de lodo ativado .....	19
3.5.4	Sistema de lodo ativado (Processo em cada unidade individual) .....	20
3.6	FORMAS DE NITROGÊNIO NO EFLUENTE .....	22
3.6.1	Redução dos nitratos (desnitrificação) .....	23
3.7	LEGISLAÇÃO BRASILEIRA .....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	26
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	26
4.2	COLETA DO EFLUENTE .....	26
4.3	APLICAÇÃO DO MELAÇO .....	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
5.1	REMOÇÃO DO NITROGÊNIO AMONÍACAL .....	30
5.2	PARÂMETROS OPERACIONAIS NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO .....	35
5.2.1	Principais fatores ambientais que interferem na nitrificação .....	36
5.2.2	Principais fatores ambientais que interferem na desnitrificação .....	40

6	CONCLUSÕES .....	43
7	REFERÊNCIAS.....	44

## 1 INTRODUÇÃO

A quantidade de água consumida está diretamente relacionada ao crescimento populacional e ao aumento do acesso aos serviços de saneamento. Um fator preocupante relacionado ao consumo de água em grandes quantidades e aos efluentes líquidos gerados é adequá-los aos padrões de lançamento estabelecidos. Assim, toda a água utilizada deve retornar aos corpos hídricos somente após tratamento adequado, visto que o indevido lançamento ou até mesmo o tratamento realizado incorretamente pode causar efeitos prejudiciais à saúde e ao meio ambiente (CAMATTI *et al.*, 2015).

As distintas características que os efluentes gerados apresentam, variam de uma estação de tratamento para outra em função do tipo de empresa geradora, natureza e porte da indústria, grau de modernidade de seus processos produtivos, das diferentes matérias-primas empregadas e da presença ou não de iniciativas de reuso destes (CAVALCANTI, 2009). Por esta razão, não existe um único procedimento para tratamento de efluentes líquidos que possa ser aplicado em todas as situações. Neste contexto, a indústria alimentícia vem se apresentando como grande consumidora deste recurso devido à multiplicidade de usos a que se destina dentro do processamento industrial (RAMJEAWON, 2000).

O estudo foi realizado em uma “Indústria de Fabricação de Gelatinas”, onde a extração e o processamento é feito de pele bovina. A indústria possui uma estação de tratamento de efluentes (ETE), onde os processos são: tratamento primário/equalização, físico-químico, tanque pulmão, biodigestor, lodo ativado, clarificador final, em seguida o efluente é direcionado para o rio.

Apesar da existência de diversas alternativas para o tratamento de efluentes gerados, parte dos processos atuais são onerosos e, em geral, produzem novos resíduos que não são reaproveitados, assim, não solucionando totalmente o problema. Portanto, em alguns casos, é necessário aliar um conjunto de tratamentos com objetivo de garantir a remoção adequada dos contaminantes advindos dos processos industriais (ABREU, 1998).

Segundo Von Sperling (2016) O sistema de tratamento de águas residuárias pelo processo de lodos ativados para despejos domésticos e industriais, corresponde a um dos métodos biológicos mais eficientes na remediação de poluentes em solução. O sistema é constituído de um reator biológico onde ocorrem as reações bioquímicas de remoção de matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada.

Um dos problemas encontrados no sistema de lodo ativado é a falta de aeração, afetando a sobrevivência dos microrganismos. A ausência de oxigênio no sistema biológico aerado acelera o crescimento de bactérias facultativas ou até mesmo anaeróbicas, arriscando o processo de tratamento pelo desenvolvimento de metabólitos indesejáveis e tóxicos (VON SPERLING, 1997). Outro inconveniente neste sistema refere-se a ausência de nutrientes desfavorecendo o crescimento dos microrganismos. Desta forma, o desenvolvimento e crescimento adequado dos microorganismos apresentam benefícios como melhora na qualidade do efluente e aumento na eficiência do sistema.

O objetivo principal deste trabalho foi analisar a utilização do melaço como um enriquecimento na fonte de carbono, visando aumentar a eficiência do sistema de lodo ativado na remoção de nitrogênio amoniacal em uma indústria alimentícia. Além disso, a utilização do melaço, sendo um subproduto da produção de cana, apresenta inúmeras vantagens, dentre elas a redução da quantidade destes resíduos dispostos incorretamente, além de agregar valor a este resíduo. Sendo assim, tal pesquisa visa alcançar resultados na remoção do nitrogênio amoniacal no sistema de lodo ativado bem como alternativas viáveis para a utilização do melaço.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a utilização do melaço como fonte de carbono no desempenho do sistema de lodo ativado.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar o desempenho do sistema de lodo ativado com a aplicação do melaço e sem a aplicação do melaço como fonte de carbono;
- Realizar análise estatística dos dados coletados, através do programa R-Studio.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 INDÚSTRIAS NO BRASIL**

Segundo Mondo (2017), o Brasil é um dos países mais industrializados do mundo, sendo o setor responsável, em 2015, pela geração de R\$ 1,3 trilhão em divisas, o que corresponde a 22,7% do Produto Interno Bruto (PIB). Além disso, os dados de dois anos atrás apontam que os 512.436 estabelecimentos industriais foram responsáveis pelo emprego de mais de 10 milhões de trabalhadores e contribuíram com cerca de 40% das exportações realizadas. A intensificação e maturidade do setor faz com que o Brasil possua um enorme e variado parque industrial, que produz desde bens de consumo à tecnologia de ponta. A maior concentração de indústrias no Brasil está no Sudeste, sobretudo em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, onde há parques industriais modernos e diversificados, com destaque à indústria química e automobilística.

#### **3.2 INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS**

Segundo Gouveia (2006), a indústria de alimentos brasileira, responsável por quase 15% do faturamento do setor industrial e por empregar mais de 1 milhão de pessoas, tem conseguido seguir as tendências internacionais na área de produção, mas ainda precisa desenvolver trajetórias mais consistentes na área de inovação. A produção de alimentos é um dos pilares de qualquer economia, seja por sua abrangência e essencialidade, seja pela rede de setores direta e indiretamente relacionados, como o agrícola, o de serviços e o de insumos, aditivos, fertilizantes, agrotóxicos, bens de capital e embalagens.

Segundo Abreu (1998), os despejos de indústrias alimentícias apresentam dificuldades de tratamento em muitos casos, por serem derivados de matérias ricas em carboidratos, proteínas, gorduras e sais minerais. Consequentemente, as matérias orgânicas destes despejos devem estabilizadas biologicamente antes da descarga no corpo receptor líquido.

### 3.3 INDÚSTRIAS DE GELATINA

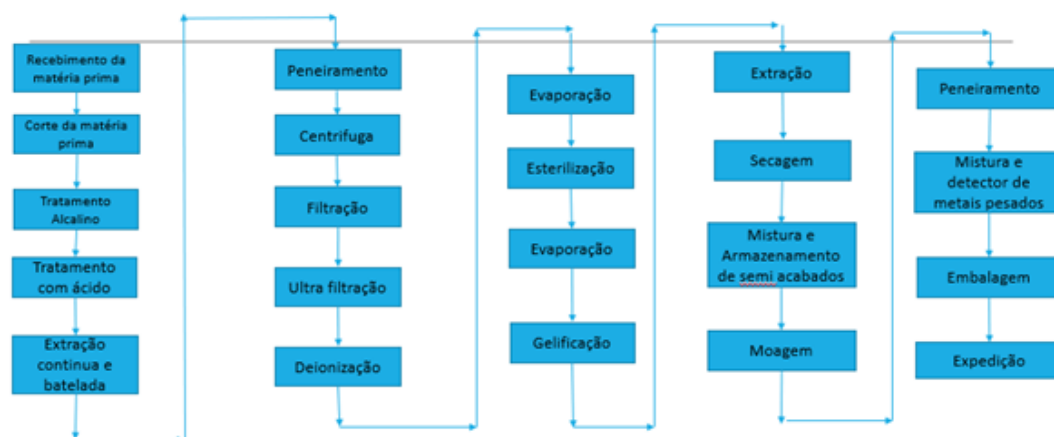
No Brasil o uso de gelatinas e seus derivados, essencialmente na indústria de alimentos, vêm mostrando exponencial crescente nos últimos anos em termos de qualidade, além de acarretar positiva importância comercial ao setor industrial. A matéria prima utilizada para a fabricação da gelatina é originada de materiais que tenham alto teor de colágeno, como pele bovina e suína, retirada exclusivamente de animais aprovados para o consumo humano por autoridades veterinárias. (KLUVER; MEYER, 2013).

Atualmente, o termo “colágeno” é utilizado para nomear uma família de pelo menos 27 isoformas de proteínas descobertas em tecidos conjuntivos ao longo da estrutura física, como ossos, tendões, cartilagem, veias, pele, dentes, bem como nos músculos (DAMORADAN et al., 2010; DEMAN, 1999). A partir do colágeno são comumente obtidos o colágeno parcialmente hidrolisado (gelatina) e o colágeno hidrolisado. O efluente gerado durante o processo de gelatina é totalmente orgânico que tem origem couro do boi.

A produção de gelatina segue etapas específicas e detalhadas, além de contar com um controle rigoroso desde o recebimento da matéria prima à expedição e comercialização do produto final.

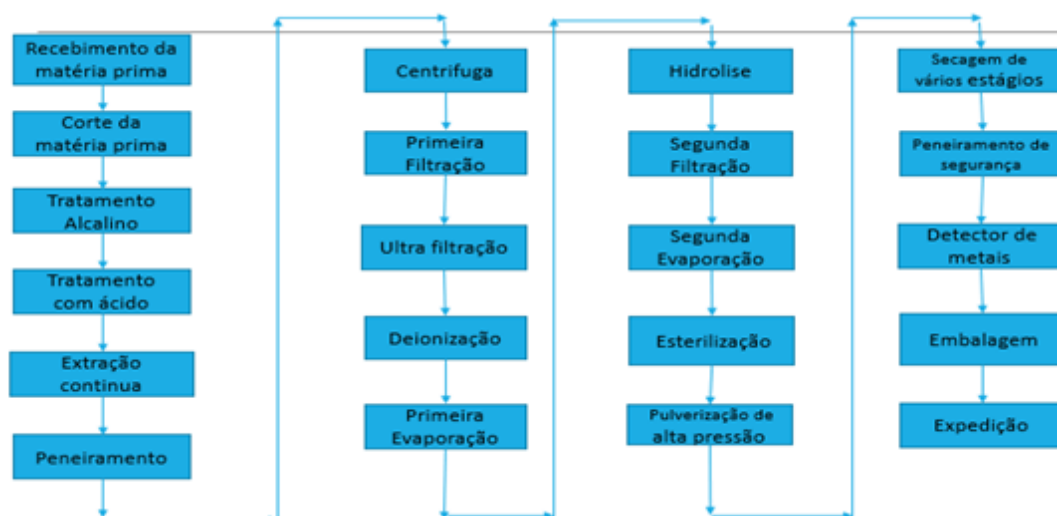
Os fluxogramas dos processos completos de produção de gelatina e colágeno hidrolisado são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 - Processo de produção de gelatina



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 2 - Processo de produção de colágeno hidrolisado



Fonte: Autoria própria (2019).

### 3.4 QUALIDADE DA ÁGUA

Nos últimos anos as questões ambientais têm se tornado cada vez mais preocupantes e constantes, principalmente devido ao ilimitado aumento da população e o crescimento das atividades industriais. Com estas condições a ação antrópica têm atingido influências trágicas, podendo ser explorada através de alterações na qualidade do solo, ar e água (KUNZ *et al.*, 2001).

O lançamento inadequado do efluente ao meio ambiente pode permitir a contaminação do solo e dos recursos hídricos, podendo afetar de maneira negativa animais e a biota (BELTRAME *et al.*, 2016). Além disso, poluição aquática provoca mudanças nas características físicas, químicas e biológicas das águas, interferindo assim na sua qualidade, impedindo o seu consumo pelo ser humano (GLORIA; HORN; HILGEMANN, 2017).

Para a caracterização do efluente, geralmente alguns parâmetros físico-químicos são analisados conforme as características da fonte. Os principais parâmetros a serem citados são, DBO, DQO, fósforo, sólidos suspensos totais (SST), pH, Oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), nitrogênio total, nitrato (N-NO<sub>3</sub>) e nitrito (N-NO<sub>2</sub>).



### 3.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Segundo Archela *et al.* (2003), efluentes são despejos líquidos provenientes de atividades humanas e industriais. O despejo de efluentes industriais, tanto nos corpos d'água quanto na rede de esgoto a ser tratada, sem o devido tratamento prévio, provoca sérios problemas sanitários e ambientais.

Antes do lançamento do efluente nos corpos receptores d'água, é necessário que o mesmo seja tratado adequadamente. O tratamento a ser aplicado depende das características do efluente, pH, temperatura e biodegradabilidade. Efluentes industriais podem ser tratados por métodos físicos, químicos e biológicos.

#### 3.5.1 Métodos físico-químicos

Segundo Giordano *et al.* (2004), no processo de tratamento físico estão incluídos diferentes processos que substancialmente eliminam os sólidos em suspensão sedimentáveis e flutuantes, tais como:

- Gradeamento;
- Peneiramento;
- Separação de óleos e gorduras;
- Sedimentação;
- Flotação.

Além disso, também são considerados procedimentos físicos aqueles capazes de remover a matéria orgânica e inorgânica em suspensão coloidal e diminuir ou remover a presença de microrganismos tais como:

- Filtração em areia;
- Processos de filtração em membranas (micro filtração e ultrafiltração).

De acordo com Giordano *et al.* (2004), são considerados como processos químicos os que utilizam produtos químicos, tais como: agentes de coagulação, floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção em diferentes etapas dos sistemas de tratamento; através de reações químicas promovem a remoção dos poluentes ou condicionem a mistura de efluentes a ser tratada aos processos subsequentes. Os principais processos a serem mencionados são:

- Clarificação química (remoção de matéria orgânica coloidal, incluindo os coliformes);

- Eletrocoagulação (remoção de matéria orgânica, inclusive de compostos coloidais, corantes e óleos/ gorduras);
- Precipitação de fosfatos e outros sais (remoção de nutrientes), pela adição de coagulantes químicos compostos de ferro e ou alumínio;
- Cloração para desinfecção;
- Oxidação por ozônio, para a desinfecção;
- Redução do cromo hexavalente;
- Oxidação de cianetos;
- Precipitação de metais tóxicos;
- Troca iônica.

### 3.5.2 Métodos biológicos

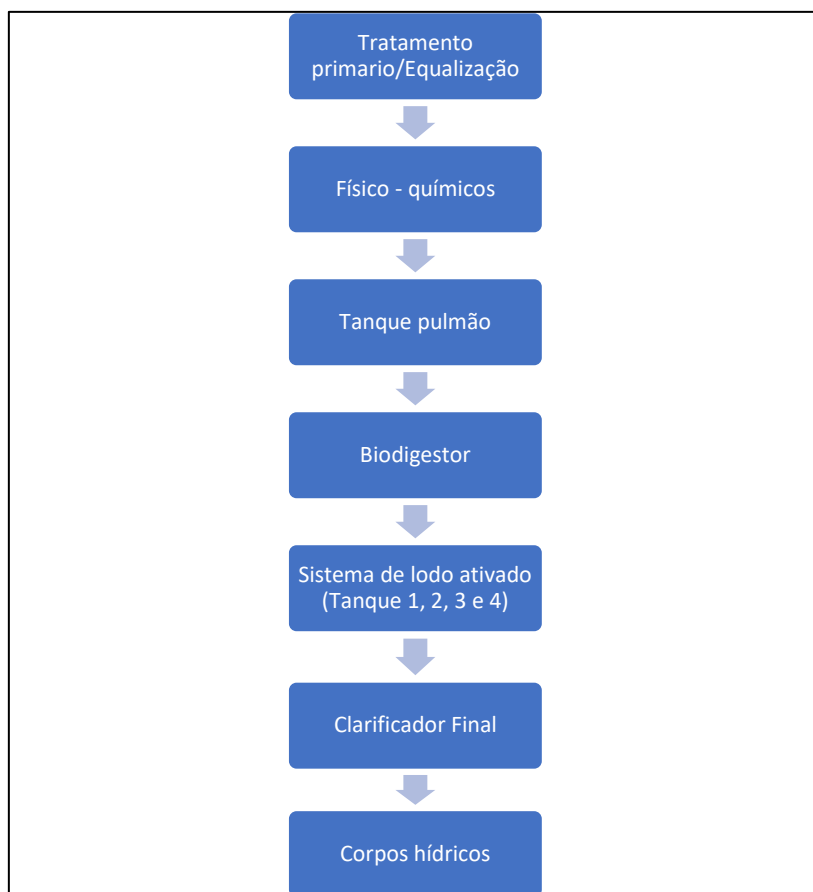
Os métodos biológicos baseiam-se na aplicação dos compostos tóxicos de importância como substrato para o aumento e a preservação dos microrganismos (FREIRE *et al*, 2000). Os microrganismos são incumbidos pela estabilização da matéria orgânica requerem de outros nutrientes, além do carbono para suas tarefas metabólicas. Os principais nutrientes são comumente o nitrogênio e o fósforo, além de outros elementos em concentrações pequenas. Para que o sistema de tratamento remova o carbônico orgânico, é essencial que este seja o nutriente restritivo no meio, e os demais este presentes em concentrações acima da mínima requerida pelos microrganismos. Nos despejos industriais pode haver falta de um determinado nutriente prejudicando o desenvolvimento da biomassa (VON SPERLING, 1997).

A principal ação deste tipo de processo está baseada na eliminação da matéria orgânica presente nos rejeitos industriais, habitualmente medida na forma de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) ou carbono orgânico total (COT). Nos últimos anos, a grande evolução da microbiologia tem disponibilizado muitas possibilidades que propiciam o tratamento biológico de efluentes industriais. Trabalhos atuais têm reportado que uma série de efluentes são tratáveis por meio destes processos (FREIRE *et al*, 2001).

Na indústria de gelatina, avaliada neste trabalho, os processos de tratamento estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de precipitação e coagulação, seguidos de tratamento biológico via sistema de lodos ativados. Na

Figura 3 é representada todas as etapas de tratamento do efluente da indústria de produção de gelatina e colágeno hidrolisado.

Figura 3 - Etapa da estação de tratamento de efluente da indústria produtora de gelatina e colágeno hidrolisado



Fonte: Autoria própria (2019).

### 3.5.3 Sistema de lodo ativado

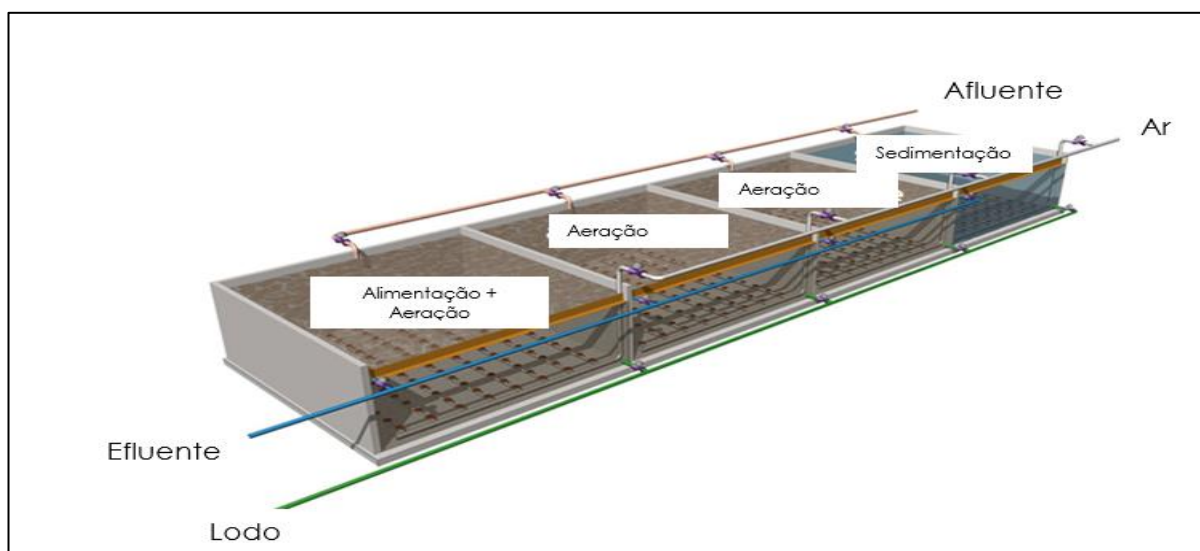
O sistema de lodo ativado foi criado na Inglaterra em 1914 no início do século XX, por Arden e Lockett e herdou o nome por estar comprometido com a produção de uma massa ativa de microrganismos, aptos para estabilizar a matéria orgânica aerobiamente. Este processo vem ocorrendo, em inúmeras formas, bastante aplicadas para o tratamento de esgoto sanitários e outros tipos de despejos (METCALF; EDDY, 1991).

O processo por lodos ativados procede com pouco substrato auxiliar e é apto de eliminar a toxicidade crônica e aguda, com uma mínima duração de aeração. No lodo encontra-se um amplo número de espécies bacterianas, além de fungos, protozoários e outros microrganismos, que podem aprimorar a redução de um grande número de compostos (FREIRE *et al.*, 2000).

### 3.5.4 Sistema de lodo ativado (Processo em cada unidade individual)

No sistema de lodo ativado da indústria de gelatina e colágeno hidrolisado estudada neste trabalho. O reator é operado de forma cíclica e isso permite um tratamento biológico e sedimentação sucessivos em cada unidade do reator. Na figura 3 é apresentada como o sistema alterna entre quatro fases, de tal maneira que, em cada unidade do reator há uma sucessão de três processos de acumulação, regeneração e sedimentação.

Figura 4 - Esquema do fluxo do sistema de lodo ativado



Fonte: Figura cedida pela empresa.

Tempo e ciclos do sistema de lodo ativado

**Primeira fase:**

Na fase principal 1, o afluente é bombeado na unidade A, onde o afluente e lodo ativado são misturados e/ou aerados (fase de acumulação). O mesmo volume que entra na unidade A é transportado para as unidades B e C, onde continuamente a aeração e mistura ocorrem (fase de regeneração) e D, onde ocorre a sedimentação. O efluente tratado é esgotado por um vertedor de efluente de nível fixo e o excesso de lodo pode ser removido do leito de lodo.

**Segunda fase:**

Na fase 2, o afluente é bombeado na unidade D, onde o afluente e lodo ativado são misturados e/ou aerados (fase de acumulação). O mesmo volume que entra na unidade D é transportado para as unidades A e B, onde continuamente a aeração e mistura ocorrem (fase de regeneração) e C, onde ocorre a sedimentação. O efluente tratado é esgotado por um vertedor de efluente de nível fixo e o excesso de lodo pode ser removido do leito de lodo.

**Terceira fase:**

Na fase 3, o afluente é bombeado na unidade C, onde o afluente e o lodo ativado são misturados e/ou aerados (fase de acumulação). O mesmo volume que entra unidade C é transportado para as unidades D e A, onde continuamente aeração e mistura ocorrem (fase de regeneração) e B onde a sedimentação ocorre. O efluente tratado aqui esgotado por um vertedor de efluente de nível fixo e o excesso de lodo pode ser removido do leito de lodo.

**Quarta fase:**

Na fase 4, o afluente é bombeado na unidade B, onde o afluente e o lodo ativado são misturados e/ou aerados (fase de acumulação). O mesmo volume que entra unidade B é transportado para as unidades C e D, onde continuamente aeração e mistura ocorrem (fase de regeneração) e A onde a sedimentação ocorre. O efluente tratado é aqui esgotado por um vertedor de efluente de nível fixo e o excesso de lodo pode ser removido do leito de lodo.

Na Tabela 1 pode ser observado os compartimentos em aeração, estes podem ser facilmente sub-divididos em períodos onde esteja sendo aerados e ou não aerado igual a anóxicos, isto pode ser realizado quando for verificado que a nitrificação foi completa antes da troca de fases de tratamento subsequente. Isto possibilita e indica que é necessário estender a denitrificação a fim de otimizarmos ao máximo a remoção de nitrato.

Tabela 1 - Etapas dos tanques de aeração

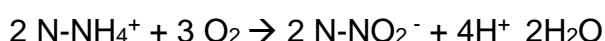
Tanque A	Tanque B	Tanque C	Tanque D
Alimentação + mistura/ aeração	Aeração	Aeração	Descarga
Aeração	Aeração	Descarga	Alimentação + mistura/ aeração
Aeração	Descarga	Alimentação + mistura/ aeração	aeração
Descarga	Alimentação + mistura/ aeração	Aeração	Aeração

Fonte: Tabela cedida pela empresa (2019).

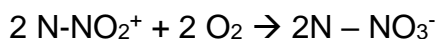
### 3.6 FORMAS DE NITROGÊNIO NO EFLUENTE

No processo de lodos ativados ocorre a nitrificação, segundo qual a amônia é oxidada a nitritos e nitratos. Os microrganismos envolvidos neste processo são autótrofos quimiossintetizantes ou quimioautótrofos para quais o CO<sub>2</sub> é a principal fonte de carbono, e a energia é obtida através da oxidação de um substrato inorgânico, como amônia nas formas mineralizadas. (VON SPERLING, 2016)

A primeira fase é a da oxidação da amônia a nitrito (nitritação). As bactérias predominantes são do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrospira*. Estas bactérias são denominadas BOA (bactérias oxidadoras de amônia), a nitritação ocorre a seguinte reação:



A segunda fase é a oxidação do nitrito a nitrato (nitritação). As bactérias predominantes são do gênero *Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrospina*. Estas bactérias são denominadas BON (bactérias oxidadoras de nitrito) A nitratação ocorre a seguinte reação:



A forma global da nitrificação é a soma das duas equações



A nitrificação não remove nitrogênio total, apenas muda suas formas, convertendo a amônia em nitrato. A energia liberada nestas reações é utilizada pelos microrganismos nitrificantes na síntese de compostos orgânicos a partir de fontes de carbono inorgânicos, como dióxido de carbono, bicarbonato e carbonato. Portanto a nitrificação está associada ao crescimento das bactérias nitrificantes (BARNES; BLISS, 1983).

Um dos principais problemas ambientais dos efluentes lançados sem tratamento é o nitrogênio amoniacal quando lançados em concentrações acima da permitida pela legislação vigente. Esses insumos nitrogenados se lançados aos recursos hídricos, são possíveis causadores de danos ao meio ambiente e organismos aquáticos, promovendo o crescimento excessivo de microalgas, causando a depleção do oxigênio e a eutrofização do meio.

O crescimento da biomassa afeta na estabilidade do ecossistema aquático, sendo capaz de levar à morte de diversos organismos da fauna aquática em consequência da redução do oxigênio dissolvido no corpo natural (ABREU, 2013).

### 3.6.1 Redução dos nitratos (desnitrificação)

Em condições anóxicas (ausência de oxigênio, mas a presença de nitratos), os nitratos são utilizados por microrganismo heterotróficos. Como receptor de elétrons nos processos respiratórios, em substituição do oxigênio. Neste processo é denominado a desnitrificação o nitrato é reduzido em nitrogênio gasoso (METCALF; EDDY, 2014).

Nitrato → nitrito → óxido nítrico → nitrogênio gasoso



A redução do nitrogênio ocorre por transferência de elétrons, associadas à oxidação da matéria orgânica (o nitrogênio é reduzido, isto é ganha carga negativa-elétrons, a matéria orgânica é reduzida e oxidada, perde carga negativa).

No tratamento pode se ter diferentes fontes de carbono orgânico para os organismos desnitrificantes (ex: metanol, acetato e o carbono próprio do efluente)

Ao considerar os processos de tratamento de esgoto mais comumente adotados no Brasil (tratamento biológico + lodos ativados), a aplicação de uma adição de fonte de carbono poderia proporcionar maior qualidade ao efluente, quanto à concentração de compostos nitrogenados, além de ser uma alternativa viável e adaptável.

### **3.7 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA**

No Brasil, a legislação ambiental apresenta normas pertinentes para o tratamento de efluentes. Existe uma rigidez sobre a condução dos efluentes, pois os mesmos apresentam potenciais riscos ao meio ambiente e a saúde humana. Conseqüentemente, as empresas que se incumbem por esses resíduos, precisam ser cautelosos, conhecendo e aplicando as normativas ambientais exigidas.

As indústrias geradoras dos mais diversos efluentes necessitam seguir legislações específicas relacionada ao lançamento de efluentes. Neste sentido, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430 de 13 de maio de 2011, apresenta que todo efluente líquido retirado do processo, necessita de um tratamento para retornar aos corpos d'água (BRASIL, 2011). Caso o efluente seja despejado sem o tratamento adequado, o impacto ambiental e danos gerados podem ser irreversíveis.

De acordo com a resolução CONAMA 430 no Art. 16 os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo em determinadas condições. Desta forma, valores de pH devem estar entre 5 a 9 e a temperatura, inferior a 40°C, o regime de lançamento tem que estar com a vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor. Com relação a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C) a remoção mínima é de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas



do enquadramento do corpo receptor. A legislação determina como parâmetro regulador do lançamento de compostos nitrogenados em efluentes sanitários e industriais o nitrogênio amoniacal, sendo o valor de 20 mg N.L-1 o valor limite de referência (BRASIL, 2011).

A indústria de gelatina e colágeno hidrolisado atende ao Decreto nº 8.468 de 08 de setembro de 1976 que aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Neste decreto está apresentado que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nas coleções de água, desde que obedeça às condições estabelecidas por este decreto (SÃO PAULO, 1976).

De acordo com o Decreto nº 8.468 de 08 de setembro de 1976 no Art. 18 os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nas coleções de água, desde que obedeçam às seguintes condições: pH entre 5,0 e 9,0 a temperatura inferior a 40°C, os materiais sedimentáveis até 1,0 ml/l (um mililitro por litro) em teste de uma hora em "cone *imhoff*", e a DBO 5 dias, 20°C no máximo de 60 mg/l (SÃO PAULO, 1976).

Ao considerar a legislação instituída e avaliar as eficiências dos processos implantados nas ETEs no Brasil, a situação se agrava, pois a capacidade de tratamento ainda é inferior à exigida, principalmente quanto à remoção de nutrientes.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

Para este estudo, foi avaliado o sistema de lodo ativado com utilização do melaço como uma fonte complementar de carbono para verificação de eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal.

### **4.1 ÁREA DE ESTUDO**

Esta pesquisa foi conduzida em uma indústria de fabricação de gelatinas e colágeno hidrolisado, na qual a extração e processamento é realizado de pele bovina. A indústria caracteriza-se como de grande porte, atua com duas plantas produtivas e possui 220 funcionários.

Na fábrica a água é utilizada para diversas finalidades, como a utilização direta no processo produtivo, lavagens de equipamentos, movimentação de materiais, assim como para consumo. A empresa possui uma Estação de tratamento de água (ETA), por conta da demanda de uma grande quantidade de água para suprir todas as suas necessidades. Toda água que é utilizada na produção e nos banheiros tem origem da estação.

### **4.2 COLETA DO EFLUENTE**

O efluente do sistema de lodo ativado como objeto desta pesquisa foi coletado de segunda a sexta-feira entre o mês de janeiro a junho pelos colaboradores da empresa. As amostras foram coletadas do interior de quatro tanques individuais e do ponto final de descarga de efluente do tanque. Para as coletas foi utilizado um coletor de material inoxidável de cabo regulável. Após a coleta, o efluente foi transferido para frascos com identificação apropriada e encaminhado ao laboratório da ETE da própria indústria.

Após os procedimentos diários de coleta das amostras, imediatamente as mesmas foram enviadas ao laboratório responsável para a realização das análises físico-químicas. Dos parâmetros analisados os considerados para este trabalho foram:

pH, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido e temperatura as análises foram realizadas conforme periodicidade apresentada pela Tabela.

Tabela 2 - Periodicidade das análises físico-químicas

<b>Parâmetros</b>	<b>Periodicidade</b>
pH	5 vezes por semana
Nitrogênio amoniacal	5 vezes por semana
temperatura	7 vezes por semana
Nitrato	3 vezes por semana
Nitrito	3 vezes por semana
Oxigênio dissolvido	7 vezes por semana

Fonte: Autoria própria (2019).

As metodologias utilizadas para a realização das análises estão apresentadas na Tabela 3. Para as análises da série nitrogenada, foram adquiridos “kits” e reagentes HACH e analisados por método espectrofotométrico com leitura máxima de 50 ppm para análise do nitrogênio amoniacal.

O monitoramento do oxigênio dissolvido (OD) e a temperatura foram realizados ininterruptamente através de uma sonda inserida no interior do tanque que era controlada diariamente pelos colaboradores da empresa através de um software.

Tabela 3 - Parâmetros e técnicas analíticas utilizadas

Parâmetro	Técnica Analítica	Unidade	Referência
pH	pHmetro	-	APHA (2005)
Nitrogênio amoniacal N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L	Espectrofotometria	mg/L	HACH
Temperatura	Sonda	°C	-
Nitrato N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Espectrofotometria	mg/L	HACH
Nitrito N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Espectrofotometria	mg/L	HACH
Oxigênio dissolvido	Sonda	mg/L	-

Fonte: Autoria própria (2019).

### 4.3 APLICAÇÃO DO MELAÇO

O melaço foi aplicado em 10 semanas entre janeiro a junho, não foi determinado um padrão, apenas foi aplicado quando o sistema necessitava de carbono, quando se notava que o nitrogênio amoniacal se encontrava em altas concentrações. Sendo empregado nos quatro tanques do sistema e dosado na etapa anóxica da desnitrificação.

Para aplicação do melaço foi utilizado um reservatório com capacidade de 1000 litros e uma bomba dosadora com vazão de 1000 L/h, que foram posicionados na parte inferior do tanque encaminhando o melaço para o interior dos tanques. A proporção utilizada foi de 400 litros de melaço diluídos em 600 litros de água. A diluição fez-se necessária em virtude da viscosidade do melaço e capacidade da bomba dosadora.

Para analisar os resultados foi utilizado um programa de estatística, o R-Studio, para verificar o desempenho do sistema de lodo ativado com a aplicação do melaço. Foram calculadas médias por semana de janeiro a junho, com o total de 24 semanas, onde em 10 semanas foi aplicado o melaço e em 14 semanas não houve aplicação do melaço, algumas semanas desse período não foram utilizadas por falta de dados disponíveis. As semanas foram separadas em dois tratamentos de “com

melaço e sem melaço”, sendo utilizado o teste Tukey para avaliar se as médias foram significativamente iguais ou diferentes.

Foi calculada a eficiência em porcentagem da remoção do nitrogênio amoniacal com a seguinte equação:

$$NA\% = \frac{NA(afluente) - NA(efluente)}{NA(afluente)} * 100$$

Onde:

NA% = eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal;

NA (efluente) = nitrogênio amoniacal afluente;

NA (afluente) = nitrogênio amoniacal efluente final.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 REMOÇÃO DO NITROGÊNIO AMONIAICAL

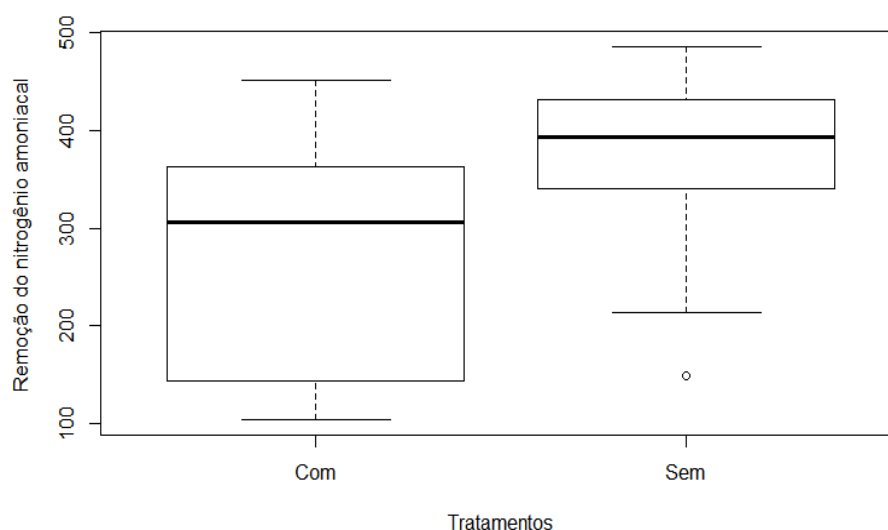
As médias das semanas com e sem aplicação do melaço são apresentadas na Tabela 4 e a figura 5 apresenta o gráfico em *box-plot* das médias semanais.

Tabela 4 - Remoção do nitrogênio amoniacal entre os tanques da saída do biodigestor e do sistema de lodo ativado

Tratamentos	Médias
SEM	369,64 mg/L $\pm$ 117,83a
COM	278,3 $\pm$ mg/L 94,18b

É possível observar que o valor médio das semanas em que não foi aplicado o melaço apresentou um índice maior de remoção do N-amoniacal quando comparado com o valor médio das semanas em que o melaço foi aplicado.

Figura 5 - Gráfico *box-plot* remoção do nitrogênio amoniacal



Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 5 apresenta os valores médios de N-amoniacal na entrada do sistema de lodo ativado. Como é possível observar os valores médios das semanas

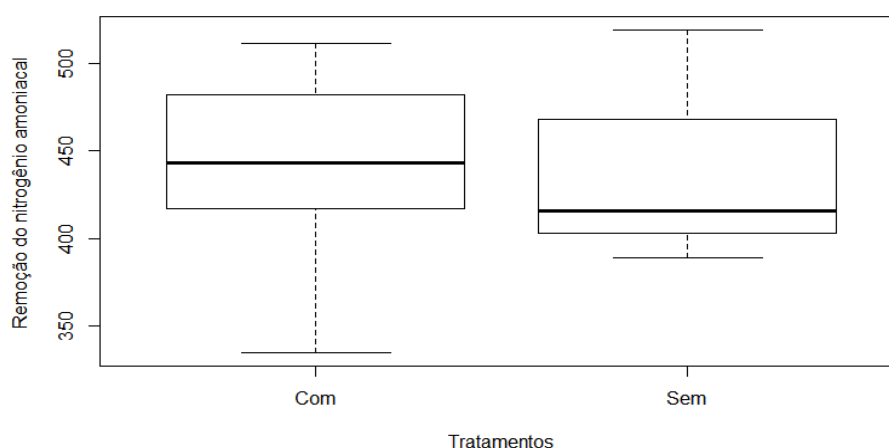
com e sem aplicação de melaço são próximos, sendo possível afirmar que durante os períodos em que não há aplicação do melaço há maior redução do valor de N-amoniacoal, ou seja, o processo de desnitrificação, para o caso deste estudo é mais eficiente sem a aplicação do melaço.

Tabela 5 – Nitrogênio amoniacoal na entrada do lodo ativado

Tratamentos	Médias
SEM	437,1 mg/L $\pm$ 43,25
COM	436,71 mg/L $\pm$ 57,38

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 6 - Gráfico *box-plot* remoção do nitrogênio amoniacoal na entrada do lodo ativado



Fonte: Autoria própria (2019).

Este resultado não é esperado, uma vez que a aplicação de uma fonte externa de carbono, segunda a literatura, Koren et al. (2000), necessita de adição de uma fonte externa de carbono para atuar como doador de elétrons na etapa de desnitrificação. Aun (2007), apresentou o fenol presente no afluente mostrou-se uma fonte de carbono adequada para promover a desnitrificação do despejo sintético. Teixeira (2006), mostrou que bactérias anaeróbicas obtêm energia para o crescimento a partir da conversão do nitrato a nitrogênio gasoso, no entanto requerem uma fonte de carbono para a síntese celular. Outras fontes alternativas de carbono, além da

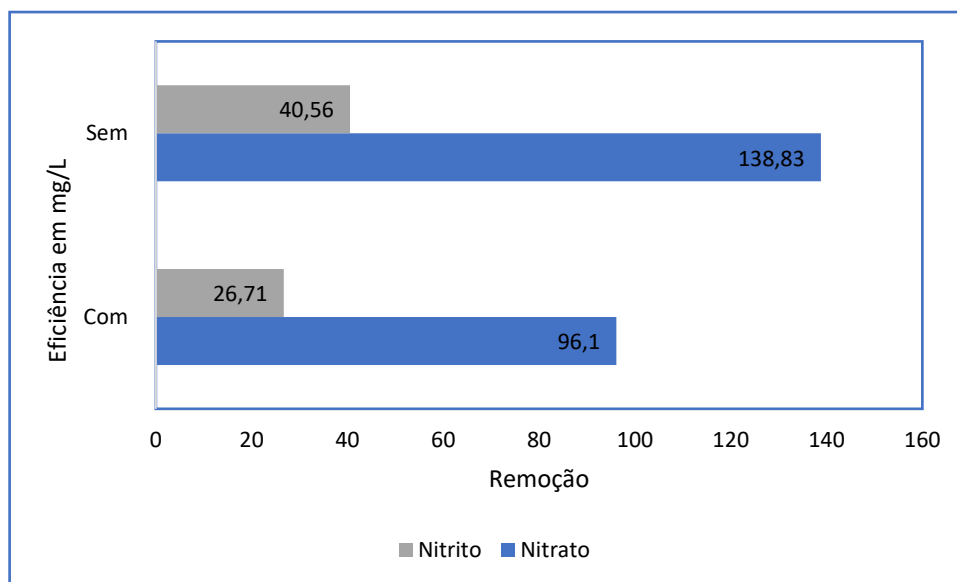
água residuária, vêm sendo utilizadas na desnitrificação como açúcar (glicose, sacarose) e etanol.

Segundo Oliveira et al. (2011), na desnitrificação, realizada por organismos heterotróficos, há necessidade de carbono orgânico, que é utilizado como fonte de carbono e de energia pelas bactérias que realizam a redução do nitrogênio oxidado a  $N_2$ . O carbono orgânico poderá ser proveniente de fonte interna, ou seja, da própria água residuária, ou externa como o etanol.

O primeiro ponto a ser avaliado foi a eficiência do processo de nitrificação, há dois gêneros de bactérias responsáveis pela nitrificação, *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. *Nitrosomonas*, que oxidam a amônia a um produto intermediário: o nitrito, e o nitrito é convertido a nitrato pelas *Nitrobacter*.

A figura 5 mostra o processo de nitrificação, que o nitrito foi convertido em nitrato, com a adição do melaço obteve o seguinte resultado: nitrito 26,73 mg/L  $\pm$  23,69 e nitrato 96,1 mg/L  $\pm$  88,37 e sem o melaço nitrito 40,56 mg/L  $\pm$  15,31 e nitrato 138,83 mg/L  $\pm$  71,17.

Figura 7 - Processo da nitrificação

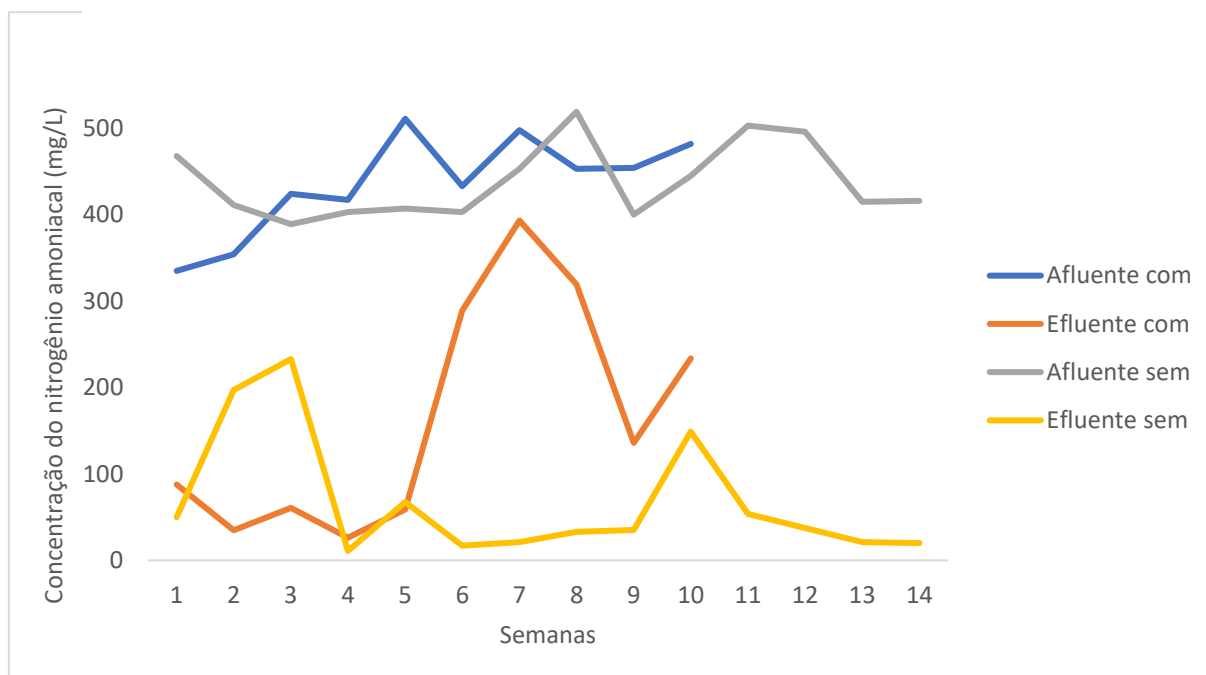


Fonte: Autoria própria (2019).



A figura 8 mostra a remoção do nitrogênio amoniacal do afluente e efluente com e sem melaço, pode-se observar que não houve muita eficiência com a aplicação do melaço, os resultados mostram que na semana 6 e 7 houve picos de nitrogênio amoniacal no sistema, não tendo resultados satisfatórios.

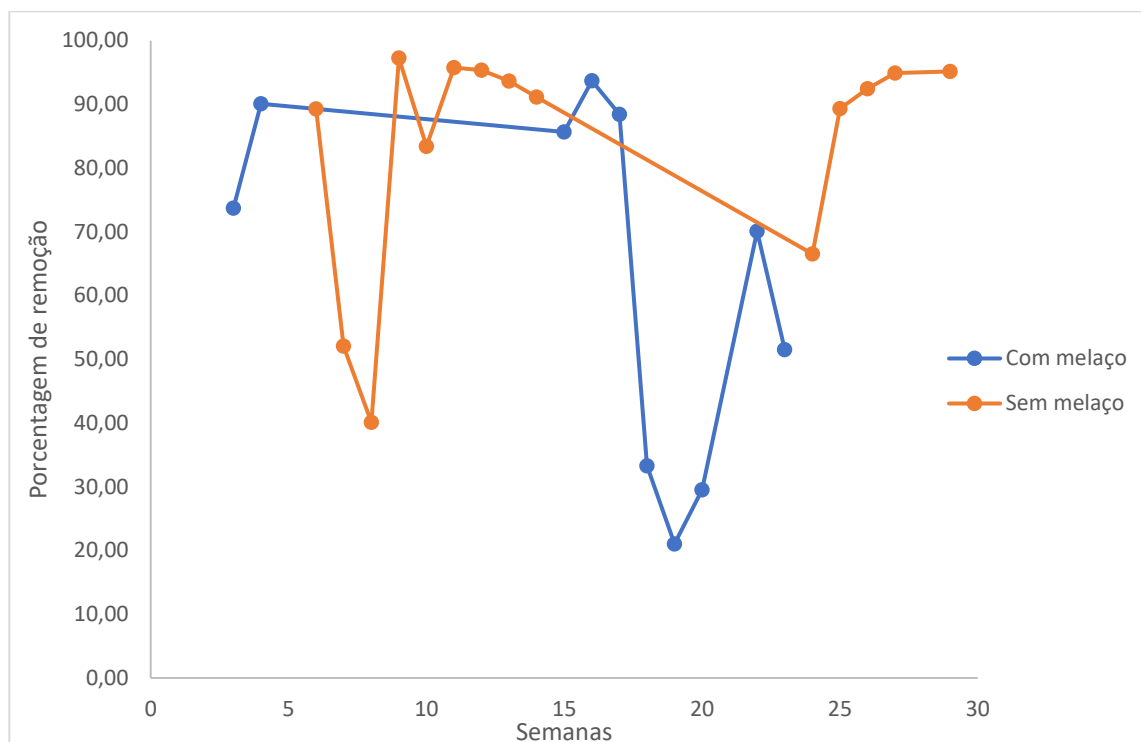
Figura 8 - Remoção do nitrogênio amoniacal do afluente e efluente



Fonte: Autoria própria (2019).

Na figura 9 é apresentado o gráfico das porcentagens de remoção do nitrogênio amoniacal do sistema com e sem melaço. Pode-se observar que com o melaço a porcentagem de remoção foi baixa chegando apenas a 20% de remoção, mas também teve momentos com picos altos que chegou a remover 90% do nitrogênio amoniacal.

Figura 9 - Remoção em porcentagem do nitrogênio amoniacal com e sem melaço



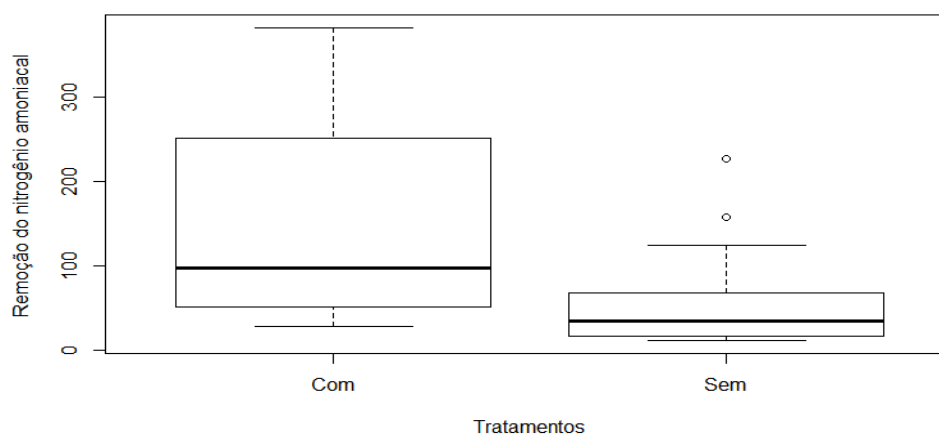
Fonte: Autoria própria (2019).

A legislação ambiental brasileira, sob responsabilidade do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), permite o lançamento do nitrogênio amoniacal para corpo hídrico receptor, em determinada condição, até o limite de 20 mg/L. É possível observar na tabela 8 e na figura 10, que a média das semanas de com e sem melaço está com o valor de lançamento acima do permitido pela resolução Conama nº 430 de 2011.

Tabela 8 - Tanque secundário (lançamento do efluente)

Tratamentos	Médias
SEM	61,5 mg/L $\pm$ 64,36
COM	154,9 mg/L $\pm$ 130,87

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 10 – *Box-plot* do lançamento do efluente

Fonte: Autoria própria (2019).

A indústria tem um problema que a carga que vem da produção é maior do que o sistema suporta, como um balanço de massa tudo que entra tem que ser igual o que sai.

Durante a realização deste trabalho, foram realizados diversos contatos com a empresa, e a partir disso a empresa já realizou algumas alterações no sistema de tratamento primário, com o objetivo de fazer chegar no sistema de lodo ativado uma carga constante, melhorando o desempenho de maneira contínua.

## 5.2 PARÂMETROS OPERACIONAIS NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

Para avaliar porque o melaço não melhorou a eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal, os próximos itens descrevem os principais parâmetros relatados na literatura, que influenciam a remoção de nitrogênio de efluentes com destaque para as condições de obtenção da nitrificação e desnitrificação.

Segundo VON SPERLING (2016), os fatores que influenciam a taxa de crescimento dos organismos nitrificantes e conseqüentemente a taxa de oxidação da amônia são: oxigênio dissolvido, temperatura, pH e a presença de substâncias tóxicas ou inibidoras.

### 5.2.1 Principais fatores ambientais que interferem na nitrificação

Segundo Von Sperling (2016), a nitrificação requer maior garantia de presença de oxigênio do que a remoção da matéria carbonácea. Na remoção da matéria carbonácea, a fase de adsorção que precede o metabolismo, pode armazenar energia de alguma forma até que o oxigênio disponível novamente. Em contraste a nitrificação cessa no instante em que o oxigênio se reduz abaixo do nível crítico.

Downing (1978), recomenda-se que a concentração de OD no reator não se reduza ao menos de 0,5 mg/L. No entanto, EPA (1993), recomenda que o OD mínimo de 2,0 mg/L seja especificado, de forma para evitar problemas com os picos de amônias no efluente. De acordo com Metcalf; Eddy (1991), o teor de oxigênio dissolvido no meio (OD) afeta a velocidade específica de crescimento dos organismos nitrificantes, o qual não deverá ser inferior a 2 mg/L. Outros trabalhos consideram a faixa ótima de OD para remoção de nitrogênio por nitrificação e desnitrificação simultânea de 0,1 a 1,0 mg.L<sup>-1</sup> (HOCAOGLU *et al.*, 2011b) e 1,0 a 1,5 mg.L<sup>-1</sup> (HOCAOGLU *et al.*, 2011a).

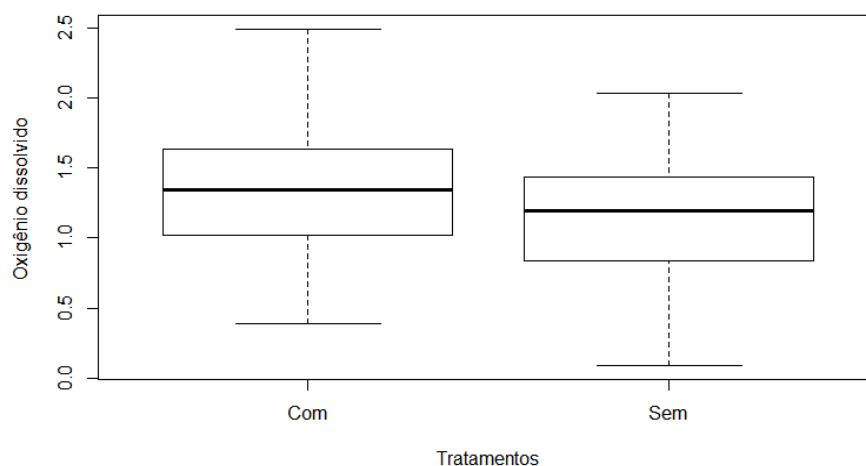
O oxigênio dissolvido no processo da nitrificação pelas médias da semana com e sem a aplicação do melaço, com o teste estatístico pode ser observado na tabela 9 e figura 10, de acordo com a literatura estudada, existe uma variação nos valores encontrados no sistema de lodo ativado, pode-se afirmar que com o melaço o sistema teve mais eficiência.

Tabela 9 - Médias do tratamento com e sem melaço do parâmetro oxigênio dissolvido

Tratamentos	Médias
SEM	1,11 mg/L ± 0,54
COM	1,29 mg/L ± 0,62

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 11 – *Box-plot* do parâmetro oxigênio dissolvido do tratamento com e sem melaço no processo da nitrificação



Fonte: Aatoria própria (2019).

Segundo Mota; Von Sperling (2009) temperaturas do líquido muito elevadas acima de 30 °C podem conduzir uma redução na taxa de crescimento das bactérias nitrificantes. Já Arceivala, (1981); Barnes Bliss (1983) observaram a ocorrência de nitrificação numa faixa de 5 a 50 °C, mas a temperatura ótima encontra-se na ordem de 25 a 36 °C. A faixa de temperatura entre 20 e 25°C foi considerada ótima para o processo de nitrificação (oxidação do amônio a nitrito) (KIM & YOO, 2008). Por sua vez, Cervantes-Carrilo; Pérez; Gómez (2000) estabelecem uma faixa de 15 a 32°C como recomendável para o processo de nitrificação. Baixas temperaturas não só influenciam as atividades metabólicas de nitrificantes e desnitrificantes como também afetam a comunidade bacteriana e a riqueza de espécies.

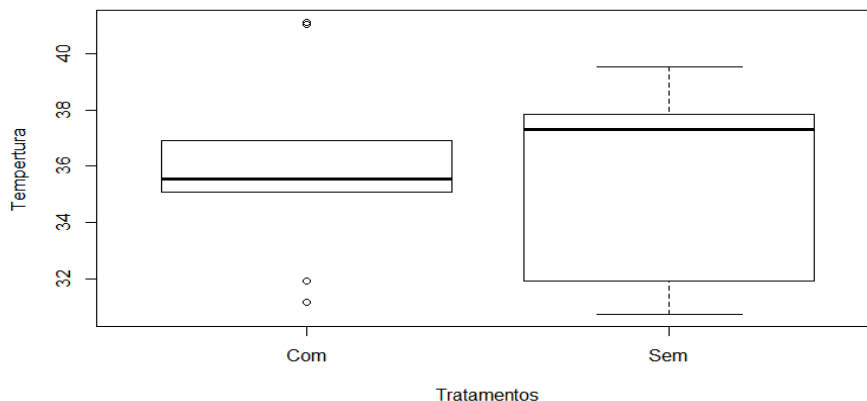
As temperaturas encontradas no processo da nitrificação pelas médias da semana com e sem a aplicação do melaço, de acordo com o teste estatístico as médias apresentadas na tabela 10 e no gráfico 12, os estudos encontrados na literatura demonstram que a temperatura tem uma variação na taxa da nitrificação.

Tabela 10 - Temperatura no processo da nitrificação

Tratamentos	Médias
SEM	35,33 °C ± 3,31
COM	35,99 °C ± 3,24

Fonte: Aatoria própria (2019).

Figura 12 - *Box-plot* do parâmetro temperatura do tratamento com e sem melação no processo da nitrificação



Fonte: Autoria própria (2019).

Metcalf e Eddy (1991), citam velocidades máximas de nitrificação ocorrendo em valores de pH entre 7,2 e 9,0. Segundo Downing (1978), a taxa de nitrificação apresenta-se seu ótimo e aproximadamente constante na faixa do pH de 7,2 a 8,0. Também foi observado o crescimento favorável das bactérias nitrificantes em pH variando de 7,5 a 8,0 (COLLIVER & STEPHENSON, 2000), porém, em pH menor do que 5,0 essas bactérias não são capazes de realizar a nitrificação. Yoo *et al.* (1999) relatam um valor ótimo entre 7,5 e 8,6 para as bactérias nitrificantes.

Na prática, a alcalinidade natural das águas residuárias poderá ter um valor inferior àquele necessário para manter um pH estável no reator onde ocorre a nitrificação. Nesse caso, torna-se necessário aumentar a alcalinidade da água residuária, o que geralmente é feito através de adição de cal (BUENO, 2011).

No lodo ativado da indústria de gelatina, não há problemas com alcalinidade por conta de a produção conter cor de curtume que é um processamento do couro cru, que passa pelo processo de produção por um tratamento alcalino e de ácido e acaba indo diretamente para a estação melhorando o sistema e deixando mais alcalino e ajustando o pH.

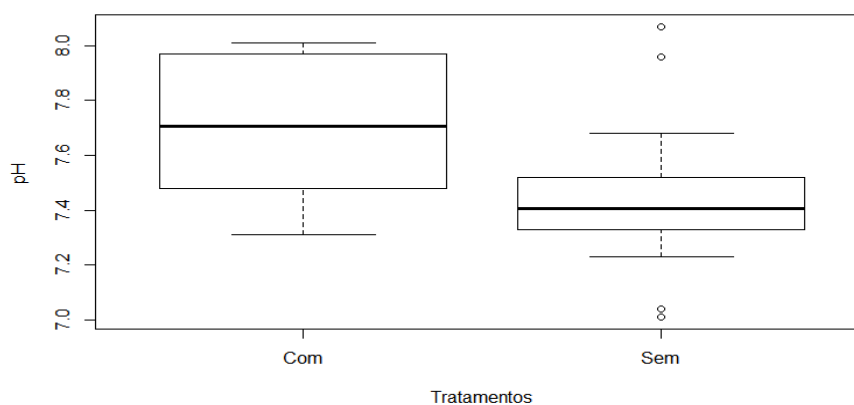
Estes estudos encontrados na literatura demonstram que o pH tem uma variação muito grande na taxa da nitrificação, os valores apresentados na tabela 11 demonstram que com a adição do melação o pH encontra-se numa faixa com maior crescimento favorável para as bactérias nitrificantes.

Tabela 11 - pH no processo da nitrificação

Tratamentos	Médias
SEM	7,44 ± 0,29
COM	7,70 ± 0,26

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 13 - *Box-plot* do parâmetro pH do tratamento com e sem melação no processo de desnitrificação.



Fonte: Autoria própria (2019).

Substâncias tóxicas ou inibidoras podem afetar seriamente o crescimento das bactérias nitrificantes. Diante disso, muitas vezes é necessário um pré-tratamento para a eliminação de substâncias indesejáveis ao tratamento biológico, viabilizando o processo (VON SPERLING, 1997).

No sistema de lodo ativado há uma dificuldade em relação as substâncias tóxicas, a etapa anterior da ETE é o biodigestor onde é utilizado um produto tóxico ( $H_2S$  - Sulfeto de hidrogênio) que quando entra no lodo ativado se converte para (Sulfato  $SO_4^{2-}$ ) e acaba elevando os níveis de enxofre no sistema, adquirindo muito sal que se torna inibidor para o crescimento das bactérias.

### 5.2.2 Principais fatores ambientais que interferem na desnitrificação

Os principais fatores que controlam o processo de desnitrificação são: concentração e tipo da fonte de carbono, temperatura, pH, concentração de oxigênio dissolvido e de substâncias tóxicas (TONETTI et al., 2013).

A ausência do oxigênio dissolvido é um fator fundamental para que ocorra a desnitrificação, pois caso contrário será utilizado como receptor de elétrons o oxigênio em vez do nitrito e/ou nitrato, uma vez que o primeiro resulta em maior aproveitamento energético comparado aos dois últimos (VON SPERLING, 2016).

Na literatura há certa variação do pH para a desnitrificação, Arceivala (1981) apresenta valores de 7,5 a 9,2, enquanto Barnes, Bliss (1983) sugerem faixa de 6,5 a 7,5 com uma queda de 70% na taxa de desnitrificação para o pH de 6,0 a 8,0. O pH ótimo para a desnitrificação determinado por vários trabalhos está em torno de 7,0 a 8,0. Organismos desnitrificantes podem tolerar uma faixa de pH entre 6,0 e 9,0 (DINÇER E KARGI, 2000).

Pode-se concluir que o pH deve situar-se próximo a neutralidade, evitando-se valores inferiores a 6,0 e superiores a 8,0. Como a desnitrificação produz alcalinidade, ela pode aumentar o pH caso elevadas concentrações de nitrato sejam removidos (VON SPERLING, 2016).

O pH encontrado no processo da desnitrificação pelas média da semanas, de acordo com o teste estatístico pode ser observado na tabela 12 e no gráfico 13 que está dentro do recomendado pela literatura.

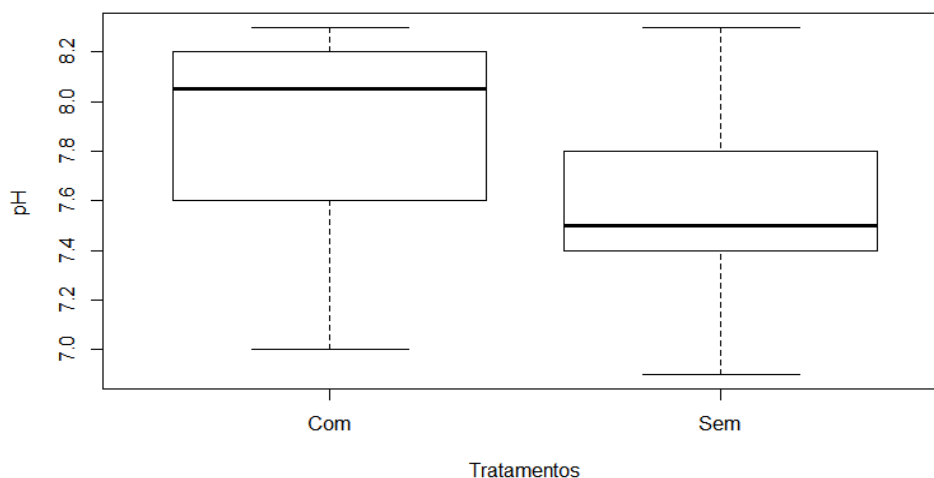
Tabela 12 - pH no processo da desnitrificação

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
SEM	7,62 ± 0,37
COM	7,86 ± 0,47

Fonte: Autoria própria (2019).



Figura 14 - *Box-plot* do parâmetro pH do tratamento com e sem melaço no processo de desnitrificação



Fonte: Autoria própria (2019).

A temperatura tem influência na taxa de crescimento dos microrganismos. A desnitrificação ocorre a temperatura na faixa de 0 a 50°C, com um ótimo na faixa de 35 °C a 50 °C (BARNES, BLISS, 1983).

A temperatura afeta as velocidades de remoção do nitrato e de crescimento microbiano. Os organismos são sensíveis a variações na temperatura do meio.

Van Haandel; Marais (1999), citam que a temperatura é uma condição ambiental fundamental para que ocorra a desnitrificação e que a taxa de desnitrificação aumenta com o aumento das temperaturas até o valor ótimo de 40 °C.

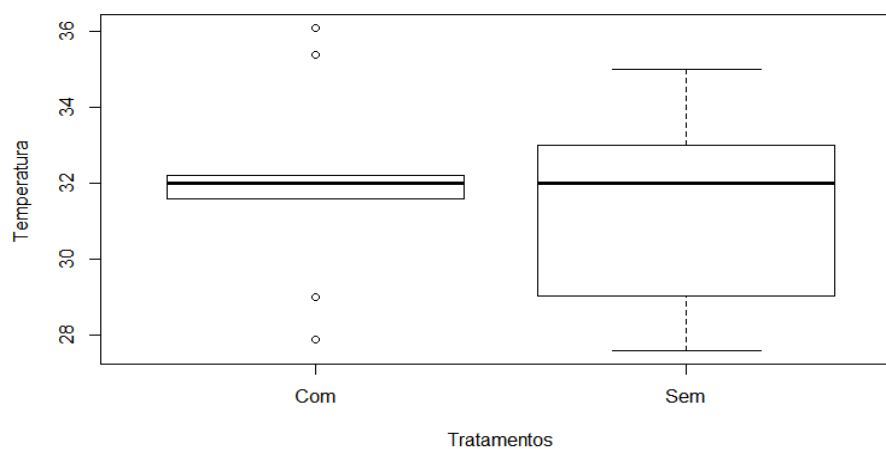
De acordo com os resultados encontrados na tabela 13 e figura 15, mostram que a temperatura não está na sua faixa ideal para acontecer a desnitrificação, podendo afetar o processo.

Tabela 13- Temperatura no processo da desnitrificação

Tratamentos	Médias
SEM	31,26 °C ± 0,37
COM	31,98 °C ± 0,47

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 15 - *Box-plot* do parâmetro temperatura do tratamento com e sem melaço no processo de desnitrificação



Fonte: Autoria própria (2019).

Segundo Von Sperling, (2016) a desnitrificação ocorre após o processo de nitrificação. Como as bactérias nitrificantes são muito mais sensíveis a substâncias tóxicas do que as bactérias heterotróficas responsáveis pela desnitrificação, caso haja a presença destas substâncias no meio de reação, é bem provável que a desnitrificação seja reduzida pela simples razão da nitrificação ter sido inibida.

## 6 CONCLUSÕES

Durante as 10 semanas de aplicação, o sistema apresentou eficiência de remoção do nitrogênio amoniacal média de 64%. Durante as 14 semanas sem a aplicação do melaço a eficiência média foi de 84% na remoção de nitrogênio amoniacal. Desta forma, no presente estudo, por meio das análises dos parâmetros estudados que interfere no processo de nitrificação e desnitrificação, tais como: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, substâncias tóxicas ou inibidoras e fonte de carbono, portanto os níveis de concentração estavam dentro do que esperado na literatura. Conclui-se que o melaço não aumentou a eficiência do sistema de lodo ativado. Uma sugestão é melhorar a equalização do sistema, para chegar vazão constante no lodo ativado.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABREU, E. T. (1998). *Tratamento de efluentes de indústria de gelatina em biorreator com membrana* (Master's thesis, Brasil).
- ABREU, L.S. Remoção de nitrogênio de efluentes industriais e novas alternativas de tratamento. 2013.
- APHA. (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Baltimore: Port City Press.
- ARCEIVALA, S.J. (1981). Wastewater treatment and disposal. New York: Marcel Dekker. 892 p.
- ARCHELA, E. et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. GEOGRAFIA (Londrina), v. 12, n. 1, p. 517-526, 2003.
- Aun, M. V. (2007). Estudo da remoção de nitrogênio via nitrito e via nitrato em sistemas de lodo ativado alimentados por despejo com elevada concentração de fenol (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- BARNES, D.; BLISS, P.J. (1983). *Biological control of nitrogen in wastewater treatment*. London: E. & F.N. Spon. 146 p.
- BELTRAME, Thiago F. et al. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 20, n. 1, p. 283-294, 2016.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 430/11, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, 16 de maio de 2011, p. 89.
- CAVALCANTI, J, E. DE A. **Manual de tratamentos de efluentes industriais**. Ed. Engenho Editora Técnica, São Paulo/SP, 2009 454 p.
- CAMATTI, Arthur et al. As diferentes formas de tratar um efluente industrial. **Revista Tecnológica**, v. 3, n. 2, p. 72-85, 2015.
- CERVANTES-CARRILLO, F.; PÉREZ, J.; GÓMEZ, J. (2000) Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales. Revista Latinoamericana de Microbiología, v. 42, p. 73-82.
- COLLIVER, B.B. & STEPHENSON, T. (2000) Production of nitrogen oxide and dinitrogen oxide by autotrophic nitrifiers. *Biotechnology Advances*, v. 18, n. 3, p. 219-232.
- Damoradan, S.; Parkin, K.; Fennema, O.R. Química de Alimentos de Fennema, Porto Alegre: Artmed, 2010, 900p.

Deman, J.M. Principles of food Chemistry. Aspen: Maryland, p.147-149, 1999

DINÇER, A.R. and KARGI, F. Kinetics of Sequential Nitrification and Denitrification Process. *Enzyme and Microbial Technology*, n. 27, pp 37 – 42, 2000.

DOWNING, A. L. Selected subjects in waste treatment. 3<sup>a</sup> ed. DELFT, IHE., 1978.

EPA, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati (1993). *Manual. Nitrogen control*. Technology Transfer. 311 p.

FREIRE, S. R. et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. *Química Nova*, p. 505-511, 2000. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2650.pdf>>. Acesso em 06 de junho. 2019.

GIORDANO, Gandhi et al. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, 2004.

GOUVEIA, Flávia. **Indústria de alimentos: no caminho da inovação e de novos produtos**. *Inovação Uniemp* [online]. 2006, vol.2, n.5, pp. 32-37. ISSN 1808-2394.

GLORIA, Lucivania Pereira; HORN, Bruna Carolina; HILGEMANN, Maurício. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água-iqa. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 2017.

HOCAOGLU, S.M.; INSEL, G.; COKGOR, E.U.; ORHON, D. (2011a) Effect of low dissolved oxygen on simultaneous nitrification and denitrification in a membrane bioreactor treating black water. *Bioresource Technology*, v. 102, n. 6, p. 4333-4340.

HOCAOGLU, S.M.; INSEL, G.; COKGOR, E.U.; ORHON, D. (2011b) Effect of sludge age on simultaneous nitrification and denitrification in membrane bioreactor. *Bioresource Technology*, v. 102, n. 12, p. 6665-6672.

KOREN, D.W.; GOULD, W.D.; BÉRDARD, P. Biological Removal of Ammonia and Nitrate from Simulated Mine and Mill Effluents. *Hydrometallurgy*, n. 56, pp. 127 – 144, 2000.

KLUVER, E.; MEYER, M. Preparation, processing, and rheology of thermoplastic collagen. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 128, n. 6, p. 4201–4211, 15 jun. 2013.

KUNZ, Airton *et al.* Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química nova**, 2001.

METCALF & EDDY (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*. 3. ed. Metcalf & Eddy, Inc. 1334 p.

METCALF & EDDY (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*. 5. Ed. Metcalf & Eddy / AECOM. 2018 p.

MOTA, S.; VON SPERLING, M. (coord) (2009). *Nutrientes de esgoto sanitário: Utilização e remoção*. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP. 430 p.

MONDO. N. Uso da água na indústria. 2017. Disponível em <<http://www.neomundo.org.br/2017/09/16/uso-da-agua-na-industria/>>.\_ Acesso em: 20 de outubro de 2019.

Oliveira, A. C. G., Blaich, C. I., Lopes, D. D., Santana, S. V., & Prates, K. (2013). NMP de bactérias nitrificantes e desnitrificantes e sua relação com os parâmetros físico-químicos em lodo ativado para remoção biológica de nitrogênio de lixiviado de aterro sanitário. *Revista DAE*, 192, 60-69.

RAMJEAWON.T. Cleaner production in mauritian cane-sugar factories. **Journal of cleaner production**. V.8.p. 503-510.2000

SÃO PAULO. Decreto nº 10.755, de 23 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 1976.

TEIXEIRA, R. M. (2006). Remoção de nitrogênio de efluentes da indústria frigorífica através da aplicação dos processos de nitrificação e desnitrificação em biorreatores utilizados em um sistema de lagoas de tratamento.

TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHOM B.; GUIMARÃES, J. R.; FADINI, P. S.; NICOLAU, C. E. Desnitrificação em um sistema simplificado de tratamento de esgoto. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 4, p. 381-392, 2013.

YOO, H.; AHN, K.H.; LEE, H.J.; LEE, K.H.; KWAK, Y.J., SONG, K.G. (1999) Nitrogen removal from synthetic wastewater by simultaneous nitrification and denitrification (SND) via nitrite in an intermittently aerated reactor. *Water Research*, v. 33, n. 1, p. 145-154.

VAN HAANDEL, A; MARAIS, G. O comportamento de sistema de lodo ativado: teoria e aplicação para projeto e operação. Campina Grande: EPGRAF, 1999.

VON SPERLING, M (1997). *Lodos ativados*. 2. ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Minas Gerais: 1997. 428 p.

VON SPERLING, M. (2016) *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados*. 4ª edição. Belo Horizonte: UFMG, 2016.