



Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

ALINE ANGÉLICA MIGUEL LEONE

**PROPOSIÇÃO DE REUSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE UMA USINA  
SUCROALCOOLEIRA SITUADA NO INTERIOR DE SÃO PAULO**

Ribeirão Preto

2018

Aline Angélica Miguel Leone

PROPOSIÇÃO DE REUSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE UMA USINA  
SUCROALCOOLEIRA SITUADA NO INTERIOR DE SÃO PAULO

Dissertação apresentada a Universidade de  
Ribeirão Preto – UNAERP, como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Tecnologia  
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Ribeirão Preto

2018

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento  
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto –

L583p Leone, Aline Angélica Miguel, 1982-  
Proposição de reuso da água residuária de uma usina  
sucroalcooleira situada no interior de São Paulo / Aline  
Angélica  
Miguel Leone. – Ribeirão Preto, 2018.  
99 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,  
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2018.

1. Usina de açúcar. 2. Etanol. 3. água residuária – Reuso.  
I. Título.

CDD 628

ALINE ANGÉLICA MIGUEL LEONE

“PROPOSIÇÃO DE REUSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE UMA USINA  
SUCROALCOOLEIRA SITUADA NO INTERIOR DE SÃO PAULO”.

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 13 de dezembro de 2018

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP  
Presidente



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira  
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP



Prof. Dr. Celso Luiz Frahzotti  
Faculdade Tecnológica - FATEC

Ribeirão Preto  
2018

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, pela oportunidade de realizar meus objetivos e sonhos, por todos os momentos de alegria e conquistas.

A usina do presente estudo que em todos os momentos apoiou meu trabalho e concedeu todo o subsídio para a realização desse projeto.

À professora Dr<sup>(a)</sup> Cristina F. P. Rosa Paschoalato que me acompanhou desde a graduação e que foi minha inspiração para a concretização deste projeto sendo inicialmente minha orientadora.

Ao Professor Dr. Luciano Farias de Novaes, pela confiança, amizade e por me orientar com paciência e dedicação. Por toda a motivação necessário nos momentos da orientação, principalmente no início quando mais precisei, pois houve a troca da minha orientadora.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental pelos conhecimentos transmitidos em especial à professora Dr<sup>(a)</sup> Luciana R. A. Oliveira pela paciência, carinho e atenção.

Aos funcionários da UNAERP pela dedicação e disposição contribuindo com a realização de várias etapas do curso.

Aos amigos da turma, pelos bons momentos compartilhados durante as aulas, laboratórios e extraclasse. Em especial, agradeço minha amiga Tainara Biscola, pelo convívio, amizade, ensinamentos, gentileza, atenção e caráter. Minha companheira de estrada, desde os tempos de faculdade.

A minha família, meu marido e minhas duas filhas pelo amor, apoio, dedicação e torcida. Sempre muito atenciosos e preocupados.

Aos meus pais, pelo apoio, carinho e incentivo. Eles que são minha base, meu orgulho e a razão de eu conquistar tudo que eu tenho hoje.

## RESUMO

A utilização de água em uma usina sucroalcooleira pode ocorrer de diversas formas tais como: incorporação ao produto, lavagens de máquinas, tubulações e pisos, águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor, águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial e para fins sanitários. O interesse crescente no reuso da água tem se fundamentado na questão da escassez dos recursos hídricos que estamos vivendo. Diante desse cenário o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a possibilidade de reuso da água residuária de uma usina de açúcar e etanol no interior do Estado de São Paulo nos diversos setores dentro da usina. Para se conhecer a concentração da matéria orgânica na água residuária foi necessário realizar amostragens durante o período da safra 2017/2018. A caracterização envolveu análises físico-químicas para se conhecer as principais características da água residuária gerada na usina e foi observado que houve uma grande variação da carga orgânica em termos de DQO durante o período de cinco meses de amostragem em dias aleatórios, onde foi possível observar uma grande variação da concentração da carga orgânica em termos de DQO que foram de 2.396,2 à 101.292,4 kg/dia. Na amostragem composta foi obtido a relação DQO solúvel / DQO de 75%, representando que 75% da DQO estava sob a forma dissolvida e 25% na forma suspensa. A DBO de 1.460 mg.L<sup>-1</sup> quando comparada a 2.306 mg.L<sup>-1</sup> de DQO solúvel representou a relação DBO / DQO solúvel de 63% e com isso foi possível concluir que o material que está dissolvido de 63% é biodegradável, sendo assim fica evidente que um tratamento físico químico é essencial para remover os sólidos suspensos e parte da DQO e que o tratamento biológico é a melhor opção para a remoção da matéria orgânica. A escolha da melhor tecnologia de tratamento de água residuária dependeu das características qualitativas da água que era utilizada em cada setor na indústria e para se conhecer quais seriam os possíveis tratamentos físico-químicos foram realizados ensaios de Jarrestes para se verificar o melhor tratamento em termos de custo benefício. A importância de se ter um tratamento para a água residuária gerada dentro da usina é que pode - se reduzir a captação de água fazendo o reuso da água tratada em diversos setores, sendo assim após os estudos realizados na água residuária gerada na usina foram propostos dois tratamentos sendo eles um físico-químico apenas para usos em que a quantidade de matéria orgânica não influencia e para usos mais exigentes foi proposto um tratamento físico-químico seguido de um tratamento biológico anaeróbico UASB e na sequência um tratamento aeróbio em reatores de lodo ativado. Os pontos propostos para a reutilização da água residuária tratada foram na embebição da cana-de-açúcar na moenda, na esteira metálica da moenda, na embebição dos filtros à vácuo, na limpeza das caixas de evaporação e demais equipamentos na indústria. Após a definição do tratamento e pontos propostos para reutilização, foram realizados levantamentos dos custos com os tratamentos físico-químicos propostos. A necessidade do uso a água é de acordo com a capacidade de produção da usina, ou seja, quando há o aumento da produção maiores quantidades da água são requeridas e a forma mais sustentável de lidar com a situação é o reuso do efluente gerado ao invés de se aumentar a outorga de captação dos mananciais e dos poços subterrâneos.

Palavras chaves: Usina de açúcar e etanol, água residuária de usina de açúcar e etanol e reuso.

## ABSTRACT

The use of water in a sugar-alcohol plant can occur in several ways such as: product incorporation, machine washes, pipes and floors, water from cooling systems and steam generators, waters used directly in the industrial process steps and for sanitary purposes. The growing interest in water reuse has been based on the scarcity of water resources we are experiencing. In view of this scenario the present work had the objective of evaluating the possibility of reuse of wastewater from a sugar-alcohol plant in the interior of the State of São Paulo in the various sectors within the plant. In order to know the concentration of organic matter in the wastewater, it was necessary to perform samplings during the period of the 2017/2018 harvest. The characterization involved physico-chemical analyzes to know the main characteristics of the wastewater generated in the plant and it was observed that there was a great variation of the organic load in terms of COD during the period of five months of sampling in random days, where it was possible to observe a large variation in the organic load concentration in COD terms from 2,396.2 to 101,292.4 kg / day. In the composite sampling, the COD / COD ratio of 75% was obtained, representing that 75% of the COD was in the dissolved form and 25% in the suspended form. The BOD of 1460 mg.L-1 when compared to 2.306 mg.L-1 of COD filtered represented the BOD / COD ratio of 63% and with this it was possible to conclude that the material which is dissolved of 63% is biodegradable, being so it is evident that a physical chemical treatment is essential to remove the suspended solids and part of the COD and that the biological treatment is the best option for the removal of the organic matter. The choice of the best wastewater treatment technology depended on the qualitative characteristics of the water that was used in each sector in the industry and in order to know the possible physical-chemical treatments, the Jarrestes tests were carried out to verify the best treatment in terms of cost benefit. The importance of having a treatment for the wastewater generated inside the plant is that it can reduce the water abstraction by reusing the treated water in several sectors, so after the studies carried out in the wastewater generated at the plant, two treatments being physic-chemical only for uses in which the amount of organic matter does not influence and for more demanding uses a physical-chemical treatment was proposed followed by an anaerobic biological treatment UASB and in sequence an aerobic treatment in reactors of activated sludge. The proposed points for the reutilization of treated wastewater were the imbibition of sugarcane in the mill, in the metal conveyor of the mill, in the soaking of the vacuum filters, in the cleaning of the evaporation boxes and other equipment in the industry. After the definition of the treatment and proposed points for re-use, cost surveys were carried out with the proposed physical-chemical treatments. The need to use water is in accordance with the production capacity of the plant, that is, when there is increased production, larger quantities of water are required and the most sustainable way of dealing with the situation is the reuse of the generated effluent instead to increase the granting of abstraction of water sources and underground wells.

Keywords: Sugar and ethanol plant, wastewater from sugar and ethanol plants and reuse.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Consumo de água nas usinas de cana-de-açúcar.....	20
Figura 2: Área de aplicação de vinhaça e da água residuária na agricultura para a fertirrigação do solo. ....	21
Figura 3: Mapa de zoneamento agroambiental do Estado de São Paulo.....	22
Figura 4: Tipos de tratamentos de água residuária.....	28
Figura 5: Equipamento Jarteste utilizado para simular tratamento físico-químico de águas e efluentes.....	42
Figura 6: Metodologia utilizada para realizar o presente trabalho .....	43
Figura 7: Equipamento de Jarteste utilizado para simular tratamento físico-químico em água residuária .....	47
Figura 8: Variação da rotação das paletas do equipamento Jarteste em função do tempo de ensaio para o tratamento da água residuária da usina em estudo .....	48
Figura 9: Reservatório de sedimentação de água residuária existente na usina de açúcar e álcool .....	51
Figura 10: Reservatório de equalização de água residuária existente na usina de açúcar e álcool .....	52
Figura 11: Medidor de vazão eletromagnético do tipo carretel na usina de açúcar e álcool....	53
Figura 12: Localização dos pontos de geração de água residuária na fabricação de açúcar ....	54
Figura 13: Localização dos pontos de geração de água residuária na fabricação de etanol....	55
Figura 14: Carga orgânica medida na água residuária coletada na usina em cada horário .....	60
Figura 15: Variação da carga orgânica na água residuária.....	61
Figura 16: Ensaio de Jarteste com água residuária bruta coletada na usina em estudo.....	64
Figura 17: Ensaio de Jarteste com a água residuária coletada na usina em estudo antes (a) e após (b) o tratamento com o uso de polímero catiônico .....	64
Figura 18: Ensaio de Jarteste com a água residuária coletada na usina em estudo antes (a) e após (b) o tratamento com o uso de polímero aniônico A .....	64
Figura 19: Ensaio de Jarteste com a água residuária coletada na usina antes (a) e após (b) o tratamento com o uso de policloreto de alumínio.....	65
Figura 20: Ensaio de Jarteste em água residuária coletada na usina antes (a) e após (b) o tratamento utilizando o polímero aniônico A.....	68

Figura 21: Ensaio de Jarteste em água residuária coletada na usina em estudo antes (a) e após (b) o tratamento utilizando o polímero aniônico B a 0,1% e o coagulante B.....	70
Figura 22: Água residuária coletada na usina em estudo antes do tratamento .....	70
Figura 23: Ensaio de Jarteste em água residuária coletada na usina em estudo antes (a) e após (b) o tratamento utilizando o polímero aniônico B a 0,1% e o coagulante B.....	71
Figura 24: Chaminé da caldeira da usina com sistema de lavador de gases .....	74
Figura 25: Trocadores de calor da usina.....	75
Figura 26: Torres de resfriamento de água dos trocadores de calor .....	76
Figura 27: Limpeza das centrífugas de fermento da usina .....	76
Figura 28: Destilaria de etanol da usina .....	77
Figura 29: Embebição da cana na moenda .....	78
Figura 30: Sistema de lavagem de gás da caldeira .....	78
Figura 31: Caldeira de bagaço de cana-de-açúcar .....	79
Figura 32: Preparo de leite de cal e coluna de sulfitação .....	80
Figura 33: Vista superior do filtro prensa à vácuo de lodo .....	80
Figura 34: Uso da água na embebição da moenda e na esteira metálica.....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da característica físico-química média das águas residuárias industriais enviadas para a lavoura de cana .....	24
Tabela 2: Comparação entre diferentes tipos de efluentes .....	25
Tabela 3: Parâmetros físico - químicos realizados nas amostras de água residuária da usina em estudo.....	46
Tabela 4: Geração mensal em m <sup>3</sup> /h de água residuária na usina em estudo nos anos de 2017 e 2018 durante o período de safra .....	56
Tabela 5: Valores de DQO e vazão da água residuária gerada na usina .....	57
Tabela 6: Carga orgânica média medida em cada horário na água residuária da usina .....	58
Tabela 7: Quantificação do volume a ser coletado em cada horário .....	59
Tabela 8: Caracterização físico-química de água residuária da usina.....	59
Tabela 9: Comparação de parâmetros químicos entre diferentes tipos de efluentes .....	62
Tabela 10: Relação entre DBO e DBO solúvel realizadas na amostra de água residuária.....	63
Tabela 11: Resultados dos ensaios de Jarrestes realizados em água residuária coletada na usina utilizando polímero catiônico .....	65
Tabela 12: Resultados dos ensaios de Jarrestes realizados em água residuária coletada na usina utilizando polímero aniônico .....	66
Tabela 13: Resultados dos ensaios de Jarrestes realizados em água residuária coletada na usina utilizando policloreto de alumínio .....	67
Tabela 14: Resultados obtidos com o Jarreste em água residuária coletada na usina em estudo com tratamento de polímero aniônico A .....	68
Tabela 15: Jarreste realizado em água residuária coletada na usina em estudo utilizando o polímero aniônico B e o coagulante B a 0,05% .....	69
Tabela 16: Jarreste realizado em água residuária coletada na usina em estudo utilizando o polímero aniônico B a 0,1% e o coagulante B 0,05% .....	71
Tabela 17: Resultados das amostras de água residuária coletadas na usina em estudo e amostras da água residuária tratada com os produtos testados .....	72
Tabela 18: Volume de água utilizada no processo de embebição da cana na moenda da usina em estudo entre os anos de 2014 a 2018 .....	83
Tabela 19: Volume de água residuária gerado na usina em estudo nos anos de 2017 e 2018 .....	83

Tabela 20: Parâmetros apresentados na água utilizada para embebição da cana - de – açúcar na moenda, na esteira metálica da moenda, na embebição nos filtros prensa de lodo à vácuo, na destilaria para limpeza e na lavagem das caixas de evaporação do caldo na usina.....	84
Tabela 21: Resultados obtidos para os ensaios de Jarteste na água residuária da usina.....	84
Tabela 22: Comparativo de custos com produtos químicos para o tratamento de água residuária na usina em estudo.....	86
Tabela 23: Comparativo de quantidades específicas e mensais com produtos químicos para o tratamento de água residuária na usina.....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Usos da água em unidades produtoras de açúcar e álcool.....	26
Quadro 2: Comparação entre tecnologias de tratamento biológico de águas residuárias .....	38
Quadro 3: Vantagens e desvantagens da filtração direta descendente em relação ao ciclo completo .....	40

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

APA - Área de Proteção Ambiental  
AT - Alcalinidade Total  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CO<sub>2</sub> - Gás Carbônico  
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente  
COT - Carbono Orgânico Total  
DAEE - Departamento de Água e Energia Elétrica  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
EIA - Estudo de Impacto Ambiental  
ETA - Estação de Tratamento de Água  
ETE - Estação de Tratamento de Efluente  
FAPESP - Fundação de Amparo  
FAS - Filtro Aerado Submerso  
HRT - Tempo de retenção Hidráulica  
NTK - Nitrogênio Total de Kjeldahl  
pH – Potencial hidrogeniônico  
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental  
SMA - Secretaria do meio ambiente  
STR - Solids Retention Time  
UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)  
UCPI - Unidades de Conservação de Proteção Integral  
UNAERP - Universidade de Ribeirão Preto

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
3.1 USO DA ÁGUA EM USINAS DE SUCROALCOOLEIRAS .....	19
3.1.1 Limite Estabelecido para o Consumo de Água no Setor Sucroalcooleiro .....	21
3.2 GERAÇÃO DE EFLUENTE EM USINAS DE AÇÚCAR E ÁLCOOL .....	23
3.2.1 Características Físico-Químicas da Água Residuária .....	24
3.3 REUSO DE EFLUENTE E AÇÕES AMBIENTAIS SUSTENTÁVEIS.....	25
3.4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO PARA ÁGUA RESIDUÁRIA ..	28
3.4.1 Processos Biológicos Aeróbios .....	29
3.4.1.1 Filtração biológica.....	30
3.4.1.2 Filtros aeróbios submersos .....	30
3.4.1.3 Lagoas de estabilização .....	31
3.4.1.4 Lodos ativados.....	33
3.4.2 Processos Anaeróbios.....	34
3.4.2.1 Reatores UASB .....	34
3.4.2.2 Filtros anaeróbios .....	35
3.4.2.3 Lagoa anaeróbia .....	36
3.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO FÍSICO - QUÍMICO PARA ÁGUA RESIDUÁRIA .....	37
3.5.1 Filtração Direta Descendente .....	39
3.5.2 Tratamento Convencional .....	40
3.5.2.1 Método Jarteste .....	41
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
4.1 DIAGNÓSTICO PARA IDENTIFICAR OS PONTOS DE GERAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA .....	43
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA GERADA.....	44
4.3 PROPOSIÇÃO DE UMA TECNOLOGIA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA .....	45
4.3.1 Realização de ensaios de bancada do tipo Jarteste para simular um tratamento físico – químico.....	47
4.4 PROPOSIÇÃO DE PONTOS DE REÚSO DENTRO DA INDÚSTRIA .....	48
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
5.1. DIAGNÓSTICO PARA IDENTIFICAR OS PONTOS DE GERAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA .....	50
5.1.1 Histórico da Empresa .....	50
5.1.2 Fluxograma das Etapas de Produção da Usina de Açúcar e Álcool.....	50

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA GERADA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA.....	56
5.3 PROPOSIÇÃO DE UMA TECNOLOGIA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA .....	61
5.3.1 Realização de Ensaio de Bancada do Tipo Jartete para Simular o Tratamento Físico-Químico.....	63
5.4 PROPOSIÇÃO DE PONTOS DE REÚSO DENTRO DA INDÚSTRIA .....	74
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez de água no mundo é resultado de um conjunto de problemas ambientais agravados com a interferência antrópica, com outros problemas relacionados à economia e ao desenvolvimento social que gera instabilidade no saneamento básico e na saúde pública, onde conseqüentemente reflete na vulnerabilidade do crescimento sustentável e na intensificação do desequilíbrio social. Neste contexto há a necessidade de uma abordagem sistêmica, integrada e preditiva na gestão das águas com uma descentralização para a bacia hidrográfica (GLEICK, 2000).

É de suma importância o papel da Ciência e da Pesquisa na busca de solução para os desafios sociais e cabe aos cientistas analisarem estrategicamente a situação dos recursos hídricos em todo o mundo, a fim de que as comunidades e a nação como um todo fundamentem seus planos de desenvolvimento socioeconômico com segurança e em uma visão sustentável.

As indústrias para garantir que se tenha disponível todos os tipos de bens de consumo, precisam usar recursos que são potencialmente poluentes. A instalação de uma indústria em um local que antes era apenas mata, por exemplo, traz resultados antagônicos: ao mesmo tempo em que causa impactos ambientais, também gera trabalho e contribui para o desenvolvimento econômico. Esse efeito é necessário para que se possa continuar desfrutando de todos os produtos que fazem parte do nosso dia a dia, como os alimentos, à água até eletrônicos e roupas, praticamente tudo passa por um processo de industrialização (TUNDISI, 2014).

As indústrias de açúcar e etanol tem importante papel socioeconômico no Brasil e têm como objetivo a extrair ao máximo o caldo contido na cana e posterior concentração de açúcares para a fabricação de açúcar e etanol. Porém outros produtos são gerados neste processo, como o bagaço da cana que sai das moendas, que é o principal combustível das caldeiras de geração de vapor para posterior geração de energia elétrica nos geradores e a levedura seca / autolisada que é um complemento alimentar para animais, pois possui teores significativos de proteína. Além dos subprodutos citados que são reutilizados na indústria, diferentemente deles há a água residuária gerada que sem seu devido tratamento não pode ser reutilizada no processo e por isso é descartada juntamente com a vinhaça na agricultura.

Durante o processo de fabricação de açúcar e álcool e demais subprodutos há o

uso de grandes quantidades de água que podem ser captadas dos mananciais e poços subterrâneos.

A água residuária gerada pelo setor sucroalcooleiro deve ser tratada para poder ser reutilizada e o seu tratamento é um desafio devido às características do efluente, que pode variar no decorrer da safra. Além disso segundo a Resolução da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) número 88 de 2008, estabelece o limite máximo de 1 m<sup>3</sup> (um metro cúbico) de água por tonelada de cana moída para as novas Usinas de açúcar e etanol que forem instaladas em áreas adequadas segundo o Zoneamento agroambiental (ETANOL VERDE, 2018) e a apresentação de um plano de redução de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir limite máximo de 1 m<sup>3</sup> por tonelada de cana moída para ampliações de indústrias existentes, com isso para a redução do volume de água captado pelas usinas existentes ou para novas unidades é necessário a reutilização da água residuária gerada e conseqüentemente há a necessidade de se ter um tratamento que garanta as características e parâmetros ideais.

Diante deste fato um tratamento para água residuária de Usinas de açúcar e etanol é um grande aliado ao atendimento da Resolução SMA 88 e também um ato de responsabilidade ambiental, pois visa mitigar ações que reduzem drasticamente o consumo de água no processo de produção, visto que se há o reúso de água, há redução significativa na captação.

Desta forma, o presente trabalho visou selecionar uma tecnologia para o tratamento da água residuária gerada por uma usina de açúcar e álcool situada no interior do Estado de São Paulo, contribuindo desta forma para minimizar os impactos ao meio ambiente e redução de custos com a captação de água utilizada no processo industrial.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a possibilidade de reuso da água residuária de uma usina de açúcar e álcool situada no interior do Estado de São Paulo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar um diagnóstico para identificar os pontos de geração de água residuária da usina de açúcar e álcool situada no interior do Estado de São Paulo;
- Caracterizar a água residuária gerada na usina;
- Selecionar uma tecnologia para o tratamento da água residuária;
- Propor pontos de reuso da água dentro da usina;
- Estimar os custos do tratamento físico – químico proposto para a água residuária.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 USO DA ÁGUA EM USINAS DE SUCROALCOOLEIRAS

A água entra nas usinas através de duas principais formas, uma com a cana – de – açúcar, pois aproximadamente 70% do peso dos colmos são compostos por água e outra com a captação superficial ou subterrânea para usos na indústria. A água captada é usada em várias etapas do processo produtivo, em seguida uma parte é devolvida para os corpos hídricos após os devidos tratamentos e a outra parte é destinada juntamente com a vinhaça na agricultura. A diferença entre a água captada e a água lançada, é a água consumida internamente (ELIA NETO, 2009).

A utilização de água de uma usina sucroalcooleira pode ocorrer de diversas formas tais como: incorporação ao produto, lavagens de máquinas, tubulações e pisos, águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor, águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial e atendimento higiênico e fisiológico dos funcionários (WILKIE et al., 2000).

Além do uso industrial da água, há também os usos sanitários, sendo gerados os esgotos que na maior parte das vezes são tratados internamente pela indústria, enviados para tratamentos específicos ou tratados até mesmo nas etapas biológicas dos tratamentos de efluentes industriais (VON SPERLING, 1997).

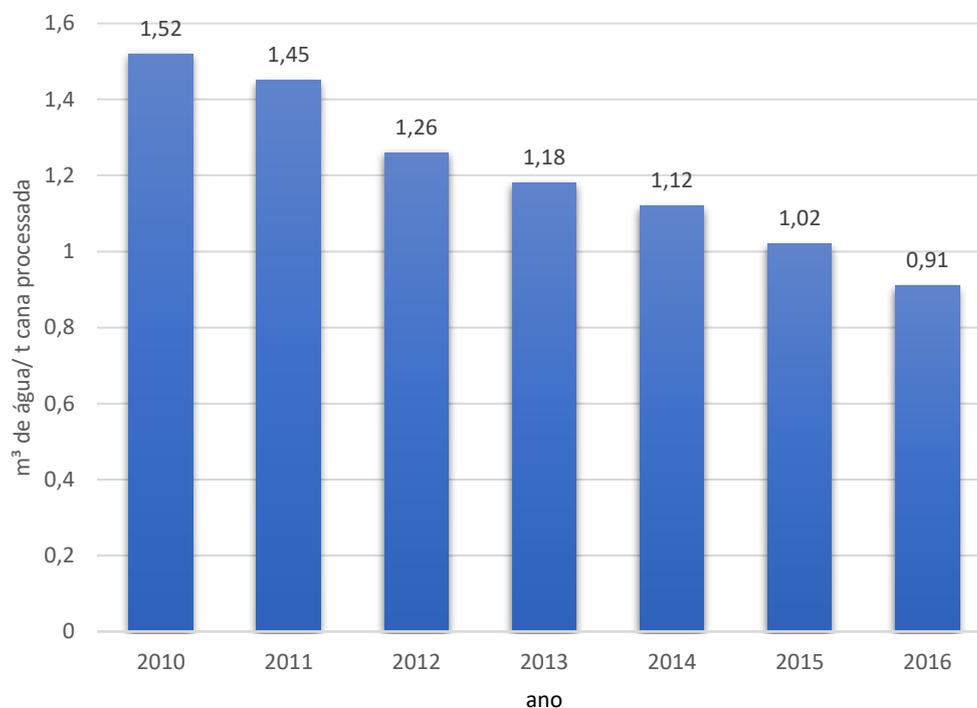
De acordo com Boldrin et al. (2004), pode-se observar que os cuidados ambientais praticados por uma empresa, atualmente podem significar maior competitividade à mesma, seja para atrair a atenção dos consumidores que se demonstram cada vez mais conscientes, seja para adequar-se às especificações de mercados com maiores exigências ambientais, tendo em vista o mercado interno e principalmente o mercado externo.

O interesse crescente no reuso da água se fundamenta na questão da escassez dos recursos hídricos e nos custos crescentes da água potável tratada. Nesse sentido, tem-se observado um aumento de pesquisas e relatos apontando para as iniciativas bem-sucedidas de reuso da água no setor industrial (TUNDISI, 2014).

Segundo a SMA (2017), houve considerável redução no consumo de água das usinas para o processamento industrial da cana-de-açúcar. Como pode ser observado na Figura 1, há uma tendência de redução no consumo de água por tonelada de cana nas Usinas. Em 2010 o consumo era de 1,52 m<sup>3</sup>/t sendo reduzido em 2017 para 0,91 m<sup>3</sup>/t, o

que acarretou em uma redução de 40% no consumo de água. Fato este importante, pois nos próximos anos se a tendência persistir a redução tende a continuar.

Figura 1: Consumo de água nas usinas de cana-de-açúcar



Fonte: Adaptado SMA SP, 2017.

Os principais fatores que colaboraram para a redução do consumo de água nas usinas segundo a SMA (2017) no Relatório Preliminar do Etanol Verde safra 2016/2017, foram o reuso de água em circuito fechado, o aprimoramento dos processos industriais, o avanço da colheita crua e a limpeza de cana a seco.

A água residuária de usinas que não passa por tratamento e não se enquadram na classificação para disposição no corpo hídrico conforme Resolução número 430 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) de 2011 e Decreto número de 08 de setembro de 1976, são aplicadas juntamente com a vinhaça (Figura 2) na agricultura e seguem Norma Técnica da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) P4.231 de Janeiro de 2005, que tem como objetivo dispor sobre os critérios e procedimentos para a aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana de açúcar, no solo do Estado de São Paulo.

Figura 2: Área de aplicação de vinhaça e da água residuária na agricultura para a fertirrigação do solo.



Fonte: Universo Agro, 2012.

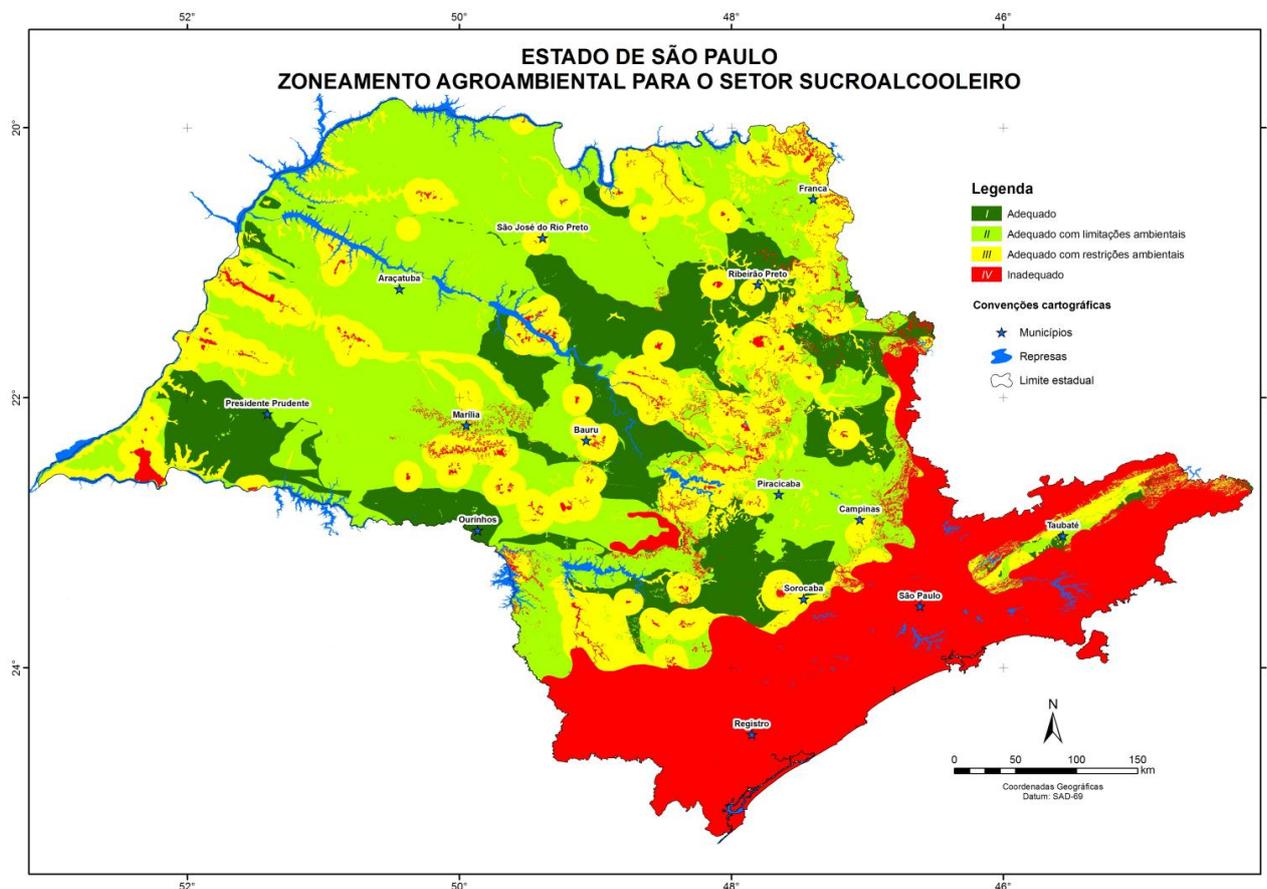
### 3.1.1 Limite Estabelecido para o Consumo de Água no Setor Sucroalcooleiro

No Estado de São Paulo conforme descreve a legislação SMA 88 de 2008, vários são os fatores que devem ser estudados para a instalação ou ampliação das Usinas do sucroalcooleiras, e um deles é o porte e/ou alteração das atividades realizadas pelas usinas. Existe a necessidade de instrumentos prévios de análise que incluem estudos como Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para submissão e aprovação das empresas no sistema ambiental do Estado.

A SMA 88 (2008) define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo e considera um Zoneamento Agroambiental para o setor, classificando as regiões no Estado de São Paulo onde é permitido o plantio da cana de açúcar e estabelece o tipo de Estudo Ambiental a ser apresentado.

Na Figura 3 foi apresentado o mapa do zoneamento agroambiental para o estado de São Paulo onde foram representadas as regiões de acordo com sua classificação em áreas adequadas, adequadas com limitações ambientais, adequada com restrições ambientais e áreas inadequadas para o plantio de cana.

Figura 3: Mapa de zoneamento agroambiental do Estado de São Paulo



Fonte: Etanol Verde, 2018.

De acordo com o Etanol Verde (2018), para o Zoneamento Agroambiental do setor sucroalcooleiro há uma classificação das áreas do Estado de São Paulo onde foram especificadas quatro classes de áreas com diferentes graus de propensão agroambiental sendo elas: áreas adequadas que são aquelas que o território tem propensão edafoclimática favorável para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar e que não há restrições ambientais específicas.

As áreas adequadas com limitação ambiental que são aquelas cujo território possui propensão edafoclimática favorável para cultura da cana-de-açúcar e que há ocorrência de Áreas de Proteção Ambiental (APA); áreas de média prioridade para incremento da conectividade, segundo a indicação do Projeto BIOTA Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); e as bacias hidrográficas consideradas críticas; áreas adequadas com restrições ambientais que são aquelas áreas referentes ao território com propensão edafoclimática favorável para a cultura da cana-de-açúcar, porém há a

incidência de zonas de amortecimento das Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI); as áreas de alta prioridade para incremento de conectividade indicadas pelo Projeto BIOTA da FAPESP; e áreas de alta vulnerabilidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo; áreas inadequadas que são aquelas áreas correlatas às Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) Estaduais e Federais; aos fragmentos classificados como de suma importância biológica para conservação, indicados pelo projeto BIOTA da FAPESP para a criação de UCPI; às Zonas de Vida Silvestre das APAs; às áreas com restrições edafoclimáticas para cultura da cana-de-açúcar e às áreas com declividade superior a 20% (ETANOL VERDE, 2018).

Quanto ao uso da água, de acordo com a Resolução SMA 88 de 2008 que define para áreas classificadas como Adequadas e Adequadas com Limitações Ambientais para o plantio de cana um limite máximo de captação de 1 m<sup>3</sup> de água por tonelada de cana moída para os novos empreendimentos; e uma apresentação do Plano de Minimização de consumo de água, com cronograma para a adequação e atingir o limite máximo de 1 m<sup>3</sup> por tonelada de cana moída para ampliações de empreendimentos existentes. Nas áreas classificadas como Adequadas com Restrições Ambientais, o limite máximo para captação de água é de 0,7 m<sup>3</sup> de água por tonelada de cana moída para novos empreendimentos; e apresentação de Plano de Minimização de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir consumo de água de 0,7 m<sup>3</sup> por tonelada de cana moída para ampliações de empreendimentos existentes e também se exige a aquisição de melhores tecnologias e práticas disponíveis objetivando à redução da geração de vinhaça.

### 3.2 GERAÇÃO DE EFLUENTE EM USINAS DE AÇÚCAR E ALCÓOL

As águas residuárias da indústria canavieira são formadas pela soma de diversos efluentes industriais que são originados da limpeza de equipamentos de processo como os evaporadores de caldo de cana-de-açúcar, limpeza dos cozedores de massas, limpeza das resinas catiônicas e aniônicas oriundas das estações de tratamento de água para as caldeiras, compostos por purgas de circuitos de resfriamento em condensadores, purgas do sistema de retentores chamados de lavadores de gases, que eliminam parcialmente os material particulado dos gases da chaminé das caldeiras, sobra de águas condensadas, flegmaça e lavagem de pisos (PIACENTE, 2005).

A vinhaça é um outro efluente que também é gerado nas usinas de açúcar e álcool, ou seja, é oriunda do processo de destilação do vinho nas colunas de destilação, onde há

a separação da vinhaça do etanol. Possui em sua composição em média 93% de fase líquida e 7% de sólidos em suspensão (orgânicos e minerais), alto teor de potássio e nitrogênio total, além de cálcio, magnésio, fósforo e enxofre em concentrações menores. A cor marrom escura apresentada pela vinhaça é devida, principalmente, a um pigmento castanho escuro, denominado melanoidina, bem como pela presença de compostos fenólicos, açúcares e melanina. Outra característica da vinhaça é conter compostos altamente recalcitrantes, que devido às suas propriedades antioxidantes causam toxicidade a muitos microrganismos envolvidos nos processos convencionais de tratamento biológico de efluentes (SEIXAS et al., 2016). É importante ressaltar que a vinhaça gerada na usina em estudo é gerada separadamente da água residuária e não foi incorporada ao tratamento que será proposto.

### 3.2.1 Características Físico-Químicas da Água Residuária

As águas residuárias do setor sucroalcooleiro são formadas pela junção de diversos efluentes industriais das diversas etapas do processo de fabricação, que vão desde purgas dos sistemas fechados de resfriamento, purgas dos retentores de material particulados provenientes das chaminés das caldeiras, sobra de água condensadas a água de lavagem de pisos e equipamentos (ANA, 2009).

Na Tabela 1 são apresentadas a evolução das características físico – químicas da água residuária do setor sucroalcooleiro.

Tabela 1: Evolução da característica físico-química média das águas residuárias industriais enviadas para a lavoura de cana

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>ANA 1995</b>	<b>ANA 2008</b>
Temperatura	°C	40	-
pH	mg.L <sup>-1</sup>	4,0	5,8
DBO <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup>	1.000 - 1.500	5.050,5
DQO	mg.L <sup>-1</sup>	2.000 - 3.000	10.575,8
Sólidos totais	mg.L <sup>-1</sup>		6.056,7
Fósforo Total	mg.L <sup>-1</sup> P	8000,0	12,1
Nitrogênio Total	mg.L <sup>-1</sup> N	20 – 40	70,1
Óleos e Graxas	mg.L <sup>-1</sup>	9 – 10	não determinado
Potássio	mg.L <sup>-1</sup> K	7 – 42	136,2

Adaptado: ANA, 2009.

Na Tabela 2 é mostrado a caracterização físico-química de alguns efluentes gerados na indústria de diversos segmentos.

Tabela 2: Comparação entre diferentes tipos de efluentes

Parâmetros químicos	Unidade	(1) Vinhaça	(2) Água residual da cabine de pintura de indústria moveleira	(3) Efluentes do branqueamento ácido e alcalino de poupa celulósica
pH	Adimensional	4,3	6,35	11
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	53.360	1.725	2.804
COT	mg.L <sup>-1</sup>	20.600	-	-
DBO <sub>5</sub> dias a 20°C	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	-	745	741
DQO/DBO	-	-	2,32	3,78

Fonte: (1) Seixas et al., 2016; (2) Santos et al., 2010; Amaral et al., 2013.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, Santos et al. (2010), obteve uma relação DQO/DBO menor que 2,5 e esse resultado indicou que um tratamento biológico seria indicado, no entanto para os resultados obtidos por Amaral et al. (2013) que obteve a relação DQO/DBO maior que 2,5 o tratamento biológico não seria indicado e isso foi comprovado, pois em seu estudo verificou que 40% da DQO estava nos materiais sólidos, portanto o efluente teve baixa biotratabilidade e então sugeriu a conjugação do tratamento físico-químico com o biológico.

Os pontos de uso e geração da água residual da usina de açúcar e álcool são apresentados na Quadro 1.

### 3.3 REUSO DE EFLUENTE E AÇÕES AMBIENTAIS SUSTENTÁVEIS

Os benefícios que podem ser proporcionados pelo reuso da água podem ser agrupados em ambientais, econômicos e sociais. Para o meio ambiente o reuso da água contribui para a redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, redução da captação de águas superficiais e subterrâneas e propiciar maiores quantidades de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar, etc. (SILVA, 1977).

De acordo com a ÚNICA (2017) a redução do uso de água na usina é essencial para a sustentabilidade do agronegócio de açúcar e etanol. Assim ao empregar sistemas de água em circuitos fechados fazendo unicamente a reposição das perdas de água no

processo por evaporação, propicia muitas vantagens econômicas para as indústrias sucroalcooleiras e reduz a captação de água bruta de rios, lençóis freáticos e mananciais.

Diante do cenário atual é de grande importância que as Usinas tomem outras ações como o reaproveitamento dos condensados gerados no processo de aquecimento do caldo, a implementação da limpeza a seco da cana nas moendas e a separação da vinhaça das demais águas residuárias, pois os condensados são de modo geral efluentes mais limpos e podem ser aproveitados ou tratados separadamente dos demais efluentes.

Quadro 1: Usos da água em unidades produtoras de açúcar e álcool

Setor	Finalidade
Preparo de cana (moendas e difusores)	Lavagem de cana
	Embebição
	Resfriamento dos mancais
	Resfriamento de óleo
Tratamento de caldo	Resfriamento da coluna de sulfitação
	Preparo de leite de cal
	Preparo de polímero
	Aquecimento de caldo para açúcar
	Aquecimento de caldo para álcool
	Lavagem da torta
	Condensadores dos filtros
Fábrica de açúcar	Vapor para evaporação
	Condensadores / multijatos da evaporação
	Diluição dos méis e magmas
	Retardamento do cozimento
	Lavagem de açúcar (1/3 água e 2/3 vapor)
	Retentor de pó de açúcar
Fermentação	Preparo do mosto
	Resfriamento do caldo
	Preparo do pé-de-cuba
	Lavagem de gases da coluna de CO <sub>2</sub>
	Resfriamento das dornas
Destilaria	Aquecimento (vapor)
	Resfriamento dos condensadores
Geração de energia elétrica	Produção de vapor direto
	Dessuperaquecimento
	Lavagem de gases da caldeira
	Limpeza dos cinzeiros
	Resfriamento de óleo e ar dos turbos geradores
	Água das torres de condensação
Outros	Limpeza de pisos e equipamentos
	Uso potável

Fonte: Adaptado ANA, 2009.

A água residual oriunda dos processos de fabricação de açúcar e álcool devem ser tratadas antes de serem enviadas para o meio ambiente (ROSA E MARTINS, 2013).

Atualmente a disposição da vinhaça nas usinas de açúcar e álcool é sua aplicação na fertirrigação dos canaviais, pois é aplicada no solo com o objetivo de irrigar e fertilizar as lavouras de cana-de-açúcar (GOMES et al., 2011).

A legislação para aplicação da água residuária no solo juntamente com a vinhaça é a Norma Técnica da CETESB P 4.231, que tem como objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pelas usinas de açúcar e etanol durante o processamento de cana-de-açúcar, no solo do Estado de São Paulo. Nessa legislação são descritos todos os parâmetros que devem ser verificados na água residuária e assim como a vinhaça o principal parâmetro é o teor de potássio, porém há o monitoramento de outros parâmetros como:

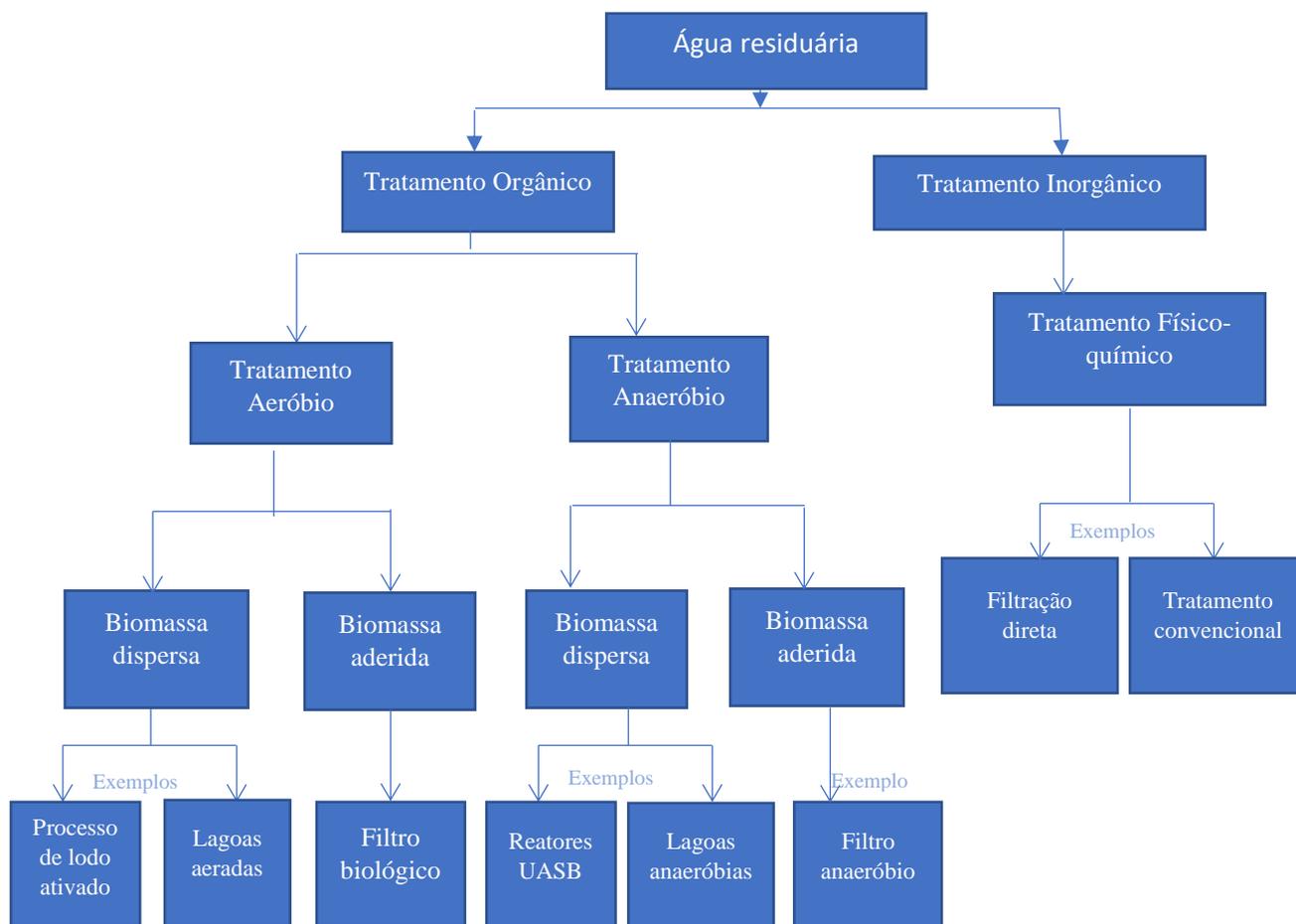
- pH;
- resíduo não filtrável total;
- dureza;
- condutividade elétrica;
- nitrogênio nitrato;
- nitrogênio nitrito;
- nitrogênio amoniacal;
- nitrogênio Kjeldhal;
- sódio;
- cálcio;
- potássio;
- magnésio;
- sulfato;
- fosfato total;
- DBO e
- DQO.

A aplicação de vinhaça que atualmente é um aliado na fertilização dos solos e traz benefícios para o mesmo, pois contém nutrientes que são necessários para o solo, porém a sua aplicação deve ser monitorada. Entretanto segundo os resultados obtidos no trabalho de Ramalho e Sobrinho (2001), a aplicação de vinhaça no solo não altera os teores de metais pesados presentes no mesmo.

### 3.4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO PARA ÁGUA RESIDUÁRIA

A escolha da melhor tecnologia de tratamento de água residuária depende das características do efluente, conforme os resultados obtidos de Santos et al. (2010), a água residuária gerada em cabines de pintura de uma indústria moveleira, a melhor opção encontrada foi o tratamento biológico devido a relação Demanda Química de Oxigênio (DQO) / Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ser menor que 2,5. Conforme a Figura 4, atualmente há diversos tipos de tratamentos e eles são classificados como orgânicos e inorgânicos.

Figura 4: Tipos de tratamentos de água residuária



Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa, 2005 e Metcalf e Eddy, 2016.

Segundo Metcalf e Eddy (2016) para o planejamento de novas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), devem ser consideradas não apenas instalações físicas para produzir efluentes tratados, mas sim também gerar condições para minimizar os

custos operacionais associados a mão de obra, energia, à estabilização de subprodutos e a disposição final / reuso. A seleção da melhor tecnologia de tratamento envolve uma análise detalhada de diversos fatores que devem ser considerados quando avaliar os processos unitários e outros métodos de tratamento para atender tantos os objetivos atuais quanto futuros.

O tratamento biológico tem como objetivo transformar os constituintes biodegradáveis dissolvidos e particulados em produtos finais aceitáveis, reter e incorporar sólidos suspensos e coloidais não sedimentáveis em um floco biológico ou em biofilme, transformar nutrientes como nitrogênio e fósforo e remover constituintes orgânicos e inorgânicos. A função dos microrganismos no tratamento biológico é remover a DBO carbonácea, dissolvida e particulada e a estabilização da matéria orgânica. Os principais processos podem ser divididos em crescimento suspenso e crescimento aderido (METCALF e EDDY, 2016).

A primeira etapa de um sistema de tratamento de efluentes, é a etapa do tratamento preliminar, conhecido como tratamento primário que se constitui na remoção de sólidos grosseiros através do gradeamento, a remoção de gorduras e a remoção de areia nos desarenadores (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

O objetivo do tratamento preliminar é a remoção de sólidos grosseiros e outros materiais grandes, muitas vezes encontrados em águas residuais brutas. Os tratamentos preliminares ajudam a remover ou reduzir a quantidade de sólidos grandes, arrastados, suspensos ou flutuantes. Esses sólidos consistem em pedaços de madeira, pano, papel, plástico, lixo, etc. Além dos sólidos suspensos o tratamento preliminar também remove os sólidos inorgânicos pesados como areia e cascalho, bem como metal ou vidro. Em contrapartida as caixas separadoras de água e óleo que também fazem parte do tratamento preliminar removem impurezas mais leves que são óleos ou graxas (SONUNE e GHATE, 2004).

#### 3.4.1 Processos Biológicos Aeróbios

O processo aeróbio baseia-se na ação de bactérias aeróbias, ou seja, em bactérias que necessitam da presença de oxigênio no meio para sobreviverem. Na sequência são apresentados alguns processos de tratamento aeróbio.

#### 3.4.1.1 Filtração biológica

O filtro biológico não envolve na operação o processo de filtração ou peneiramento na verdade o contato do efluente com a biomassa contida filtro biológico realiza uma oxidação. O mecanismo do processo é caracterizado pela alimentação e percolação contínua do efluente através do meio suporte, que promove o crescimento e aderência da massa biológica (METCALF e EDDY, 2016).

A principal característica dos filtros biológicos é que a massa biológica permanece fixa no meio suporte. O filtro biológico possui sistema de drenagem que é usado para coletar os líquidos já percolados, os líquidos coletados são encaminhados para um decantador, onde os sólidos são separados do efluente final. É comum, na prática, uma parte dos líquidos coletados no sistema de drenagem, ou do efluente final, voltar ao filtro para diluir o esgoto afluente (BATISTA, et al., 2011).

O processo de degradação da matéria orgânica contida no efluente se dá pelo fenômeno de adsorção, ou seja, nas condições favoráveis as bactérias aeróbias garantem a oxidação dos compostos, gerando como subproduto gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). O reator biológico convencional empregado para o processo de filtração biológica é constituído pelo mecanismo de distribuição do efluente, meio suporte e sistema de drenagem do efluente (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

#### 3.4.1.2 Filtros aeróbios submersos

Os Filtros Aerados Submersos (FAS), ou biofiltros submersos surgiram na década de 80, na Europa. O FAS é composto por uma unidade de filtração biológica aerada e há dois tipos, o com enchimento granulado e com enchimento estruturado. O FAS com enchimento granulado possui elevada superfície específica, fluxo normal descendente ou ascendente, ou um leito granular flutuante com fluxo normal ascendente ou descendente, nos quais se aderem os microrganismos que realizam a degradação biológica. Com a percolação do efluente há a retenção de sólidos por filtração física e degradação biológica, que resulta no desenvolvimento do microrganismo. Com isso há a formação de biomassa, o que causa uma colmatção progressiva dos vazios do filtro, o que exige uma retirada da mesma. No processo é adicionado ao meio bolhas de ar para garantir o processo aeróbio (TONETTI et al., 2011).

Os filtros aerados submersos apresentam a vantagem de ter as dimensões reduzidas em planta, pois o meio interno é leve e pode ter maior altura. Já o FAS com meio estruturado fixo, não há retenção física de biomassa pela ação da filtração, sendo assim não se utiliza retrolavagem, pois o filtro é seguido de um decantador secundário para sedimentação do lodo (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

#### 3.4.1.3 Lagoas de estabilização

Segundo Jordão e Pessôa (2005), as lagoas de estabilização são processos de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbica) e/ou redução fotossintética das algas. As lagoas comumente são classificadas em:

- Lagoas anaeróbias com o predomínio de processos de fermentação anaeróbia, ou seja, abaixo da superfície não existe oxigênio dissolvido;

- Lagoas facultativas onde ocorrem simultaneamente, processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética. As lagoas facultativas são chamadas de primárias, quando recebem esgoto bruto, e secundárias quando recebem o efluente de outra lagoa;

- Lagoas estritamente aeróbias onde existe o equilíbrio da oxidação e da fotossíntese garantindo condições aeróbias em todo meio;

- Lagoas de maturação cujo seu principal objetivo é remover organismos patogênicos, ou seja, reduzem bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos;

- Lagoas polimento que tem como principal objetivo o refinamento de outro processo biológico de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, ou seja, tem a função de remoção adicional de DBO, nutrientes e organismos patogênicos;

- Lagoas aeradas são compostas por um sistema mecanizado de aeração que introduz oxigênio no meio líquido. As lagoas aeradas são seguidas de uma lagoa de sedimentação. Este tipo de lagoa requer manutenção (corte regular das plantas, secagem e destino final), não é recomendada porque as áreas sombreadas incentivam a proliferação de moscas e mosquitos. As lagoas de estabilização sendo naturais ou artificiais prevalecem condições técnicas adequadas aos fenômenos físicos, químicos e biológicos, que caracterizam a autodepuração. A matéria orgânica é estabilizada pela ação das bactérias, sendo que alguns fungos e protozoários também participam do processo.

As bactérias produzem ácidos orgânicos, sob condições anaeróbias, ou  $\text{CO}_2$  e água sob condições aeróbicas. Além da vantagem de ter baixo custo, um sistema com lagoas de estabilização segundo os resultados de Vivan (2010), pode alcançar até 98% de eficiência na remoção de DBO.

O processo de lagoa aerada é utilizado para tratar esgotos domésticos ou ainda despejos industriais com elevado teor de substâncias biodegradáveis e os fatores de maiores influências na seleção deste processo são a área disponível, a disponibilidade de energia elétrica e os custos de implantação e operação (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

A grande vantagem das lagoas aeradas é a área reduzida quando comparada a lagoa anaeróbia. A se realizar o processo de aeração da lagoa, o oxigênio necessário às reações metabólicas dos microrganismos responsáveis pelo tratamento é suprido artificialmente assim como no processo de lodo ativado (MARTINELLI et al., 2014). As lagoas aeradas podem ser divididas em lagoas aeradas aeróbias, ou de mistura completa e lagoas aeradas facultativas e segundo Jordão e Pessôa (2011) alguns autores estendem esta classificação a um terceiro tipo chamado de lagoas aeradas aeróbias com recirculação de lodo.

As lagoas aeradas aeróbias são similares aos reatores de lodo ativado, mas sem recirculação de lodo e a concentração de ar deve ser suficiente para manter a concentração mínima em toda a lagoa. Este tipo de lagoa confere ao efluente uma elevada concentração de sólidos suspensos, ainda que a DBO tenha sido reduzida, sendo assim requerem maior potência de agitação para manter a condição de aerobiose, comumente na ordem de 10 a  $20\text{W}/\text{m}^3$  (BATISTA, et al., 2011).

Já as lagoas aeradas facultativas tem as mesmas características das lagoas aeradas aeróbias, porém com uma maior profundidade para o armazenamento de sólidos sedimentáveis, onde se processa a fase anaeróbia. Assim mesmo que a aeração seja suficiente para manter a lagoa aerada, não é suficiente para manter a mistura completa, nem o fluxo contínuo permitindo a separação dos sólidos em suspensão e conseqüentemente a degradação anaeróbica. A vantagem dessa lagoa é que requer menor potência de agitação, da ordem de 3 a  $5\text{W}/\text{m}^3$ . A lagoas aeradas aeróbias com recirculação de lodo é parecida com o processo de reator de lodo ativado na modalidade de aeração prolongada, porém sem a separação de sólidos sedimentáveis à montante da lagoa, ou seja, não há o decantador primário (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

A eficiência das lagoas aeradas de modo geral está entre 60 e 90%, porém segundo Jordão e Pessoa (2011) a lagoa aerada facultativa pode ter a eficiência de até aproximadamente 99%.

#### 3.4.1.4 Lodos ativados

Os processos de lodo ativado consistem na introdução de oxigênio em um reator, também conhecidos como tanques de aeração, onde há a presença de microrganismos aeróbios que crescem em grande quantidade e promovem a degradação da matéria orgânica. A principal vantagem deste sistema é que o seu projeto ocupa menor espaço e permite uma remoção elevada de DBO. No reator há a formação de flocos contendo colônias de microrganismos em meio a matriz de polissacarídeos (enzimas exógenas liberadas por esses microrganismos), no qual a matéria orgânica vai aderindo e sendo degradada (TELLES e COSTA, 2010).

Após a degradação da matéria orgânica no reator de lodo ativado se faz necessário a remoção dos flocos em um decantador secundário, onde parte do lodo retorna ao reator de lodo ativado e parte é descartada do processo. Os sólidos sedimentam conjuntamente formando uma interface nítida com o efluente clarificado. O sucesso do processo de lodo ativado é dependente da eficiência de separação da biomassa e quando ela é efetiva permite a saída de um efluente clarificado praticamente sem a presença de sólidos e um lodo adensado pronto para ser retornado ao reator e garantindo assim condições adequadas para o bom funcionamento do reator (SANT'ANNA, 2010).

No processo de lodos ativados segundo MARTINELLI et al. (2014), tem-se três tipos, sendo eles:

- Lodo ativado convencional que possuem decantador primário para que os sólidos sedimentáveis sejam retirados antes do reator de aeração de forma a economizar energia e este processo possui tempo de detenção hidráulico entre 6 a 8 horas e a idade do lodo entre 3 a 10 dias;

- Lodo ativado por aeração prolongada onde a biomassa possui um tempo maior de detenção no reator que fica entre 18 e 30 dias, sendo assim o reator deve ter dimensões maiores com menores concentrações de matéria orgânica por unidade de volume. O inconveniente desse sistema é o consumo maior de energia elétrica.

- Lodo ativado por batelada onde todos os processos se encontram dentro do reator, com ciclos bem definidos de operação. Os ciclos são enchimento com aeração, aeração,

sedimentação, drenagem do efluente e repouso e neste sistema a biomassa permanece no reator e não necessita de recirculação.

### 3.4.2 Processos Anaeróbios

Diferentemente do processo aeróbio, segundo Sant'Anna (2010), a degradação da matéria orgânica por via anaeróbia apresenta um maior grau de complexidade, pois exige a participação de diferentes grupos de microrganismos com funções distintas. De forma geral as principais transformações que ocorrem no processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica são:

- A hidrólise das substâncias e materiais complexos de alto peso molecular como proteínas, polissacarídeos, lipídeos e ácidos nucleicos;
- Fermentação acidogênica é a etapa onde ocorre a fermentação das substâncias resultantes da hidrólise, onde há a formação de ácidos carboxílicos de cadeia curta, denominados ácidos voláteis como o fórmico, o propiônico, butírico e vaérico;
- A fermentação acetogênica é realizada por bactérias acetogênicas que transformam ácidos de maior cadeia em ácidos com apenas um ou dois átomos de carbono como formiato e acetato;
- Metanogênese é etapa crucial onde o carbono original da matéria orgânica passa a ser constituinte do metano e do gás carbônico. A obtenção do carbono se faz da descarboxilação do acetato e/ou da redução do  $\text{CO}_2$  em  $\text{H}_2$ .

Um ponto fundamental que é importante destacar, é que os reatores anaeróbios geram quantidades menores de lodo quando comparado com os reatores aeróbios (WILKIE et al., 2000).

#### 3.4.2.1 Reatores UASB

Um dos reatores mais utilizados é o UASB na literatura inglesa “Upflow Anaerobic Sludge Blanket” (UASB), termo já adotado no Brasil. A grande vantagem desse reator é que retém eficazmente o complexo microbiano em seu interior para a degradação de matéria orgânica, sem a necessidade de imobilização em um material transportador, no entanto estes sistemas fazem com que os tempos de residência dos microrganismos sejam muito maiores que o tempo de detenção hidráulico, inclusive de organismos de crescimento mais lento (ANGENENT et al., 2004).

Os reatores UASB tem sido utilizado para tratar diversos tipos de águas residuárias, por ser capaz de tratar muitos tipos de águas e ter também como vantagem uma menor produção de lodo em comparação com os reatores aerados (ESPANÃ-GAMBOA, et al., 2012).

É de conhecimento que os microrganismos requerem condições adequadas em relação a fatores ambientais e de alimento, bem como em relação a própria geometria e características do reator. Esses parâmetros aliados ao conceito de tempo de detenção de sólidos biológicos, ou idade do lodo na terminologia inglesa Solids Retention Time (SRT), e de tempo de detenção hidráulico Hydraulic Retention Time (HRT), são parâmetros fundamentais. Na verdade, é desejado que se tenha um alto SRT para se ter um baixo HRT para tornar mais econômica a fabricação do reator (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

O reator UASB contém uma câmara de digestão inferior onde se localiza o leito de lodo (manta de lodo) e onde se processa a digestão anaeróbica. O efluente sanitário a ser tratado entra no reator passando por esta manta e prossegue em fluxo ascendente, neste processo parte da matéria orgânica fica retida na manta onde ocorre o processo de digestão anaeróbia. O reator possui um separador de fases, que fisicamente caracteriza uma zona de sedimentação e uma câmara de coleta de gases, que possui a função de separar a fase sólida da câmara de digestão da líquida e gasosa, que funciona na verdade como um defletor de gases (ESPANÃ-GAMBOA et al., 2012).

É importante ressaltar que alguns pré-tratamentos do efluente são necessários como a remoção de sólidos grosseiros e flutuantes e remoção de areia, pois podem causar vários problemas dentro do reator UASB. A presença de areia acumulada no interior do reator traz consequências mais graves ainda, entupindo orifícios e ramais de distribuição do esgoto. Isso é devido a uma limitação do reator UASB devido a interferências de sólidos em sua performance (ANGENENT, et al., 2004).

#### 3.4.2.2 Filtros anaeróbios

Os filtros anaeróbios reduziram drasticamente o tempo de detenção hidráulica, desvinculando-o ao tempo de residência de lodo no reator. O filtro anaeróbio é um biorreator de leito fixo que promove a retenção da biomassa por adesão a um meio suporte e aprisionamento nos espaços intersticiais do leito. O fluxo do efluente é ascendente como

o do gás. O tempo de detenção hidráulica é entre 0,4 e 2 dias e correspondente a eficiências de 70 a 88% (VAN HAANDEL et al., 2006).

Quando os filtros anaeróbios são aplicados a efluentes industriais com alta DQO, os filtros podem operar com cargas orgânicas volumétricas altas, ou seja, entre 3 e 20 kg DQO/m<sup>3</sup>. d, atingindo remoções de DQO de 60 a 85%. O risco de entupimento é sem dúvida uma grande desvantagem dos filtros anaeróbios, mesmo sendo parcial, pois o entupimento ou a colmatação de regiões do leito gera escoamentos preferenciais com conseqüentemente queda de remoção de DQO (SANT'ANNA, 2010).

#### 3.4.2.3 Lagoa anaeróbia

Nas lagoas anaeróbias a degradação da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio dissolvido. Os processos anaeróbios têm sido utilizados como alternativa ao tratamento aeróbio para aplicações que variam de efluentes com baixa carga orgânica até efluente com cargas extremamente elevadas, tendo com principais vantagens menores consumos de energia podendo até ser fonte de produção de energia através dos gases produzidos, baixa produção de biomassa, menor necessidade de nutrientes e uma menor área superficial em comparação com as lagoas aeróbias (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

As lagoas anaeróbias necessitam de um maior período de partida para o desenvolvimento da biomassa necessária, podendo requerer a adição de alcalinizantes para se chegar ao pH ideal para o tratamento biológico. Também requer um tratamento adicional para atender os padrões de lançamento de efluentes, pois a eficiência de remoção da matéria orgânica em termos de DBO fica entre 50 e 60%. Outro fator relevante é que as lagoas anaeróbias são mais sensíveis a baixas temperaturas, e esse fator afeta a remoção biológica de nitrogênio e fósforo e tem potencial para a geração de maus odores (MEDCALF e EDDY, 2016).

Uma lagoa anaeróbia quando projetada corretamente e seguindo todos os critérios exigidos poderá operar sem maus odores. O tempo de detenção hidráulico deve ser suficiente para sedimentação dos sólidos e degradação anaeróbia da matéria orgânica, onde o tempo deve ser no mínimo igual ao necessário para a geração de bactérias formadoras do metano, que requerem de 2 a 5 dias, as de crescimento rápido e de 20 a 30 dias as de crescimento mais longo. Sendo assim é recomendado projetar uma lagoa mais profunda em torno de 3 a 4 metros de profundidade (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

As lagoas são construídas em terrenos escavados e devem ser impermeabilizadas com mantas plásticas para evitar infiltrações de efluente no solo que possam causar contaminação das águas subterrâneas. As bordas conhecidas como taludes devem ser inclinadas e necessitam ser reforçadas para evitar possíveis desmoronamentos. A alimentação das lagoas anaeróbicas em geral se dá em um único ponto da lagoa, o que pode acarretar em escoamento preferencial horizontal, esse fato pode ser o que pode prejudicar o contato entre lodo anaeróbio presente no fundo da lagoa e a matéria orgânica presente na fase líquida (SANT'ANNA, 2010).

No Quadro 2 é apresentada uma comparação entre os diferentes tipos de tratamentos biológicos utilizados para a remoção de matéria orgânica dos efluentes bem como tempo de detenção, condições ambientais, consumo de energia elétrica, e etc.

### 3.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO FÍSICO - QUÍMICO PARA ÁGUA RESIDUÁRIA

Os tratamentos químicos juntamente com várias operações químicas são desenvolvidos para tratamento de efluentes. As aplicações mais importantes são desinfecção, remoção de fósforo, coagulação do material particulado, controle de pH, neutralização e estabilização da água. Em relação a utilização de processos unitários químicos é importante considerar que são processos aditivos, ou seja, onde são adicionados um ou mais compostos químicos ou físicos para a remoção de sólidos e particulados, como por exemplo o uso de alcalinizantes, coagulante e desinfetantes (METCALF e EDDY, 2016).

A coagulação é um processo de desestabilização de partículas coloidais que estão presentes nos efluentes bem como na formação de partículas maiores. Dentre os coagulantes que podem ser usados estão o cloreto férrico e cloreto de polialumínio, porém outros tipos de coagulantes podem ser utilizados. Já a floculação é o processo em que há ao aumento do tamanho das partículas como resultado das colisões que ocorrem entre elas. Logo após a floculação há a sedimentação das partículas formadas e este processo auxilia na remoção de sólidos sedimentáveis, DQO, DBO e melhora o desempenho dos decantadores primários (METCALF e EDDY, 2016).

Na sequência são apresentados alguns modelos de tratamentos físico-químicos utilizados em água residuária.

Quadro 2: Comparação entre tecnologias de tratamento biológico de águas residuárias

	Lagoa anaeróbica	Lagoa aerada	Lagoa facultativa	Filtros biológicos anaeróbio	UASB	Filtros aeróbicos biológicos	Filtro aeróbio submerso	Lodo ativado
<b>Área requerida de projeto</b>	Elevada área requerida	Baixa área requerida	Elevada área requerida (até 5 vezes maior que a área da lagoa aerada)	Baixa área requerida	Baixa área requerida	Baixa área requerida	Baixa área requerida	Baixa área requerida
<b>Energia elétrica</b>	Baixa demanda energética	Elevada demanda energética	Baixa demanda energética	Gasto considerável de energia	Baixa demanda energética	Elevada demanda energética	Elevada demanda energética	Elevada demanda energética
<b>Equipamentos eletromecânicos</b>	Não há		Equipamento de aeração para fornecer oxigênio	Equipamento de aeração para fornecer oxigênio	Não há	Equipamento de aeração para fornecer oxigênio	Equipamento de aeração para fornecer oxigênio	Equipamento de aeração para fornecer oxigênio
<b>Geração de gases com odor</b>	Há geração	Não há	Há a geração	Há a geração	Há a geração	Não há	-	Há a geração
<b>Geração de lodo</b>	Baixa	Alta	Há a geração	Baixa	Baixa	Alta		Há a geração
<b>Remoção de DBO (%)</b>	50% a 60%	Entre 60 e 70%	Entre 80 e 90%	Entre 80 e 90%	Entre 45 e 85%	Entre 80 e 90%	Eficiência aproximada de até 96%	Entre 85 e 95%
<b>Tempo de detenção (dias)</b>	3 a 5	3 a 4	10 a 50	0,5 - 4	0,25 - 0,375	0,5 - 4	0,5 - 4	3 a 4
<b>Condições ambientais</b>	Restrita - pouca variação devido a bactérias metanogênicas sensíveis	Restrita - presença de oxigenação no meio	Restrita, pois é dependente da temperatura		Moderada, pois não pode haver excesso de sólidos e a presença de componentes tóxicos no reator	Moderada exige presença de oxigênio	Moderada exige presença de oxigênio	Restrita, deve - se ter um elevado controle de laboratório
<b>Investimento</b>	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Considerável	Considerável	Considerável	Considerável
<b>Custo operacional</b>	Baixo	Considerável	Baixo	Considerável	Baixo	Considerável	Considerável	Considerável
<b>Ocorrência de fatores prejudiciais</b>	Odores desagradáveis, proliferação de insetos e crescimento de vegetais	-	Escuma, florescimento de algas, odores desagradáveis, proliferação de insetos e crescimento de vegetais	Risco de entupimentos	Excesso de sólidos suspensos e agentes tóxicos prejudicam sua eficiência	-	Colmatação progressiva dos filtros, exige retirada de excesso de biomassa	-

Fonte: Jordão e Pessoa 2011 e Metcalf e Eddy, 2016.

### 3.5.1 Filtração Direta Descendente

A filtração direta descendente possui apenas as etapas de mistura rápida, floculação e filtração. O projeto das unidades de mistura rápida e de floculação deve ser baseada em resultados experimentais obtidos através de ensaios de bancada. A fase de mistura rápida é necessária para que ocorra a mistura de produtos químicos na água, cuja principal função é para que haja a coagulação das partículas de impurezas presentes, onde há a interação das partículas coloidais presentes na água e os produtos da hidrólise do coagulante para que sejam desestabilizadas (STACKELBERG et al., 2004).

Enquanto a mistura rápida é a etapa destinada a dispersar produtos químicos a floculação é a etapa requerida para permitir a agregação de partículas desestabilizadas na mistura rápida. A unidade de mistura rápida pode ser construída por uma câmara circular, quadrada ou retangular em planta e em seu interior possui um agitador mecânico de eixo vertical com pás para promover a agitação, ou ainda podem ser em vertedores tipo calha Parshall onde ocorre um elevação acentuada da superfície livre de água sob uma curta distância, acompanhada de uma instabilidade que promove a entrada do efluente e ar. Em seguida há um rebaixamento brusco que permite causar a turbulência do efluente possibilitando assim a mistura rápida do efluente com o produto químico (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

A filtração direta é a etapa que permite a remoção das partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam no meio poroso. E esta etapa depende de vários fatores de projeto, operação e manutenção como a qualidade da água a ser tratada, coagulação e produtos químicos, mistura rápida (gradiente e tempo de agitação), existência de floculação, taxa de filtração e meio filtrante, método de operação, eficiência de lavagem e monitoramento (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Quando se compara a filtração direta ao tratamento por ciclo completo, a filtração direta descendente apresenta vantagens como por exemplo em relação à área requerida, a filtração direta possui menor número de unidades o que faz com que ocupe uma menor área, já quanto ao tratamento por ciclo completo é constituído por unidades de mistura rápida e coagulação, de floculação, de decantação ou flotação e de filtração, enquanto a filtração direta apresenta apenas as unidades de coagulação, floculação (eventualmente) e filtração. Na sequência são apresentadas no Quadro 3 as principais vantagens e desvantagens do tratamento por filtração direta descendente em relação ao tratamento por ciclo completo.

Quadro 3: Vantagens e desvantagens da filtração direta descendente em relação ao ciclo completo

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
O investimento inicial é menor (redução entre 30 e 70%)	A tecnologia não é eficiente para o tratamento de água com valores elevados de turbidez e/ou cor verdadeira
O consumo de energia elétrica e de produtos químicos (coagulante e alcalinizante) é inferior	O tratamento deve ser monitorado continuamente, considerando que o tempo de detenção da água no sistema é relativamente curto para que o operador perceba qualquer mudança na qualidade da água bruta ou filtrada
O volume de resíduos gerados é baixo	O tempo médio de permanência da água na ETA é relativamente pequeno para a oxidação das substâncias orgânicas presentes na água bruta
A tecnologia facilita o tratamento de água com baixa turbidez	A técnica pode apresentar paralisações temporárias devido a erros na dosagem de produtos químicos (coagulantes e alcalinizantes)
-	O período inicial de melhora da qualidade do efluente é mais longo

Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Sabogal Paz, 2008.

### 3.5.2 Tratamento Convencional

O sistema convencional é também conhecido como o tratamento de ciclo completo, ou seja, coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção com cloro. Alguns processos de tratamentos convencionais podem utilizar carvão ativado para remover sabor, odor e produtos orgânicos. O movimento da água através de tanques que contenham areia e carvão ativado granular betuminoso (GAC), linhoto GAC ou antracito promovem a retenção dos sólidos finos e bactérias restantes (STACKELBERG et al., 2004).

Inicialmente a água bruta é comumente coagulada com um sal de alumínio ou de ferro, onde ocorre há a formação de precipitados do metal coagulante, nos quais são aprisionadas as impurezas e isso ocorre na unidade de mistura rápida, a qual pode ser hidráulica ou mecanizada, dependendo da vazão a ser tratada, da variação da qualidade da água bruta e das condições de operação e manutenção. Logo após a água é coagulada e é submetida a agitação lenta por um período até a formação dos flocos com dimensões e massa específica suficientes para que sejam removidos por sedimentação nos decantadores ou por flotação nos flotadores. A floculação pode ser feita em unidades mecanizadas ou hidráulicas (DI BERNARDO e DANTAS, 2008).

Os decantadores podem ser convencionais ou de alta taxa, os convencionais são grandes reservatórios de escoamento horizontal ou vertical, já os de alta taxa são menores. Nos flotadores o método de flotação é realizado pela injeção de ar dissolvido no sistema o que causa a flotação das partículas presente na água. A água clarificada produzida nos decantadores ou flotadores é então finalmente filtrada em unidades de escoamento descendente, contendo materiais granulares com granulometria adequada, sendo geralmente areia ou antracito. Os filtros podem ter taxa constante e nível de água variável em seu interior ou ainda possuir taxa de filtração e níveis de água variáveis no seu interior, método esse conhecido como filtração de taxa declinante variável (DI BERNARDO e PAZ, 2005).

#### 3.5.2.1 Método Jarreste

Segundo Liu et al. (2017) a água residuária para que possa ser reutilizada pela indústria, necessita apresentar características e parâmetros físico-químicos adequados para poder ser utilizada sem causar danos ao processo de produção. Para se conhecer e estudar quais tratamentos físico-químicos e quais condições ambientais são mais adequadas ao tratamento de água ou efluente existe o método chamado de Teste de Jarros – (Jarreste) conforme é mostrado na Figura 5, que é um procedimento de bancada muito utilizado em estações de tratamento de água, para a determinação das dosagens ótimas dos coagulantes a serem empregados no tratamento da água. Através desse método pode-se realizar ensaios de simulação de tratamento da água utilizando-se de diferentes tipos de produtos químicos, podendo variar a dosagem do alcalinizante e do coagulante até que seja possível descobrir qual é a dosagem ideal para a planta. Esse método vem sendo muito utilizado também para a determinação de parâmetros para a realização de projetos de estações de tratamento de água.

Conforme Di Bernardo e Dantas (2005), a realização de ensaios de tratabilidade da água possibilita verificar a dosagem ótima de produtos químicos como coagulantes, alcalinizantes e acidificantes, onde é possível encontrar os melhores resultados para as faixas de pH de acordo com cada tipo de produto químico utilizado. Através dos ensaios de Jarreste também é possível verificar quais são os melhores gradientes de velocidade e tempos de mistura rápida e lenta, bem como verificar as velocidades de sedimentação viáveis para o tratamento da água, determinar as condições da filtração e ainda é possível ponderar as particularidades dos resíduos gerados.

Figura 5: Equipamento Jarteste utilizado para simular tratamento físico-químico de águas e efluentes

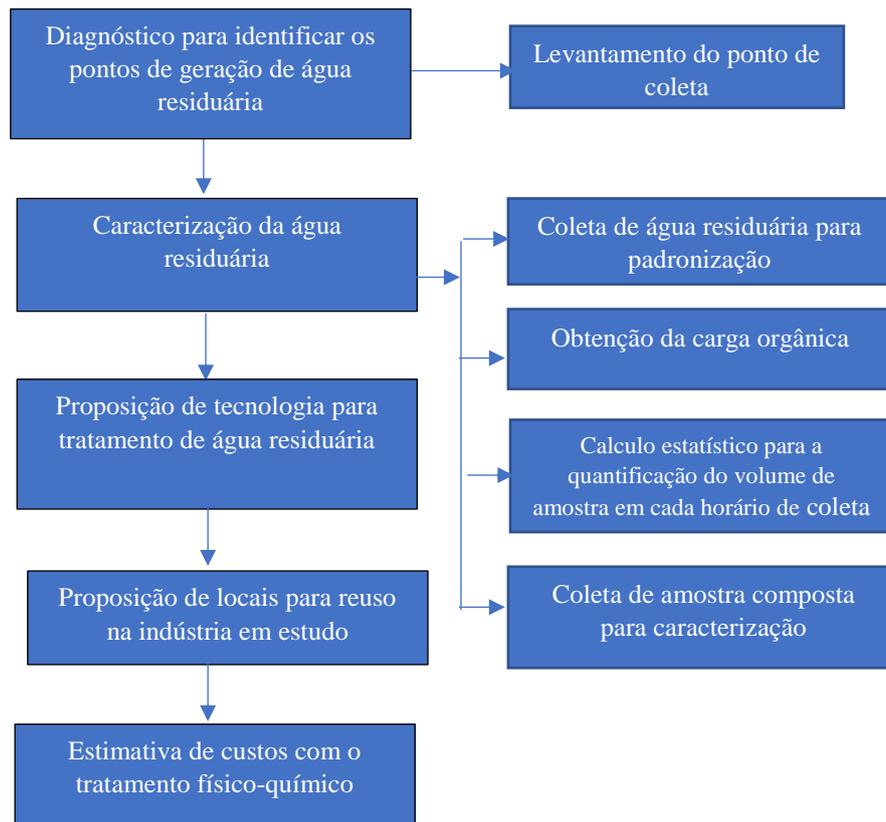


Fonte: Lima et al., 2014.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Na Figura 6 é apresentado o fluxograma das etapas que foram desenvolvidas no presente trabalho realizado na usina em estudo.

Figura 6: Metodologia utilizada para realizar o presente trabalho



Fonte: Autor, 2018.

### 4.1 DIAGNÓSTICO PARA IDENTIFICAR OS PONTOS DE GERAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA

No presente trabalho foram feitas as seguintes atividades para a realização do diagnóstico:

- Encaminhou-se um e-mail para a direção da Usina para explicar o interesse em desenvolver o presente trabalho;

- Marcou-se uma reunião com o diretor da Usina onde foram apresentados os objetivos do presente trabalho e foi obtido a autorização para iniciar o trabalho;

- Pegou-se os contatos com os responsáveis pela operação e manutenção da usina e foram agendadas reuniões em campo para conhecer os pontos de geração de efluentes;
- Foram cadastrados todos os pontos de geração de efluentes, bem como fotografados;
- Foram cadastrados os medidores existentes para quantificação das vazões dos efluentes;
- Foram levantados todos os relatórios técnicos existentes na indústria referentes à água residuária geradas no local, tanto nos aspectos quantitativos como qualitativos.

De posse com as informações levantadas em campo foi possível elaborar um diagnóstico para identificar os pontos de geração de água residuária na usina em estudo.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA GERADA

A coleta da água residuária gerada foi feita na usina onde foram coletadas cinco amostras por dia nos seguintes horários: 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00h. Os dias da coleta foram escolhidos aleatoriamente e o ponto de amostragem foi o local onde todas as águas dos diferentes setores da usina são unidas por uma tubulação e nesta tubulação tem um medidor de vazão instalado. As amostras foram coletadas exclusivamente durante o dia, porém foram feitas duas coletas no período da noite as 00:00.

No momento de cada coleta foi anotado o valor da vazão, o horário e o data da coleta. Após a coleta as amostras foram encaminhadas para o laboratório da Usina e em seguida guardada em geladeira até o dia em que foram levadas para o laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP;

A quantificação foi feita utilizando-se a carga de DQO em função da vazão em cada horário como é mostrado na Equação 1.

$$C_i = DQO_i * Q_i \quad (1)$$

$C_i$  = carga em DQO em cada horário em kg/dia

$Q_i$  = Vazão em cada horário em m<sup>3</sup>/h

$DQO_i$  = Demanda química de oxigênio inicial

- Após obtenção das cargas em cada horário nos dias amostrados foi realizada a média ponderada e os desvios padrões de todos os dias em todos os horários amostrados.

A partir destas cargas médias definidas em cada horário foi realizada a quantificação do volume a ser amostrado em cada horário a partir da Equação 2.

$$V_i = \frac{c_i}{\sum c_i} * V \quad (2)$$

Onde:

V = volume total de amostra em mL

V<sub>i</sub> = volume a ser coletado em cada horário mL

Logo após a quantificação do volume a ser amostrado em cada horário, foi realizada a coleta com os volumes ideais previstos nos cálculos das Equações 1 e 2 para compor a amostra a qual foi coletada e encaminhada para o laboratório da Usina em estudo, em seguida as amostras foram guardadas em geladeira até o dia seguinte para então serem levadas para o laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP onde foram feitas as análises físico químicas de acordo com a Tabela 3.

As amostras de água residuária foram caracterizadas através dos parâmetros físico-químicos, sendo eles, temperatura, pH, série de sólidos, nitrogênio, fósforo, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total (COT) e amônia. As análises realizadas nas amostras de água residuária coletadas na usina em estudo foram feitas no laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWW, WEFF, 2005).

#### 4.3 PROPOSIÇÃO DE UMA TECNOLOGIA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA

Na fase de pré-seleção técnica foram analisadas as alternativas de tratamento consideradas que inicialmente atendessem a eficiência requerida para tratar a água residuária de acordo os parâmetros requeridos pelo CONAMA 430 de 2011, o Decreto 8468 e também a qualidade mínima exigida para se reutilizar a água residuária nos processos de embebição da cana-de-açúcar na moenda, na esteira metálica da moenda, na embebição nos filtros à vácuo, na limpeza das caixas de evaporação do caldo e limpeza dos demais equipamentos dentro da usina em estudo.

Tabela 3: Parâmetros físico-químicos realizados nas amostras de água residuária da usina em estudo

Parâmetros químicos	Unidade	Metodologias APHA et al. (2005)	Limite de quantificação
pH	Adimensional	Método 4500 H+ B – Eletrométrico	0,01
Resíduos sedimentáveis	ml. <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>	Método 2530 B – teste cone Imhoff	10
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	Método 5220 B e 5220 D – digestão fechada e espectrofotométrico	1
DBO <sub>5</sub> dias a 20° C	mg.L <sup>-1</sup>	Método 5210 B e 4500 OC – Potenciométrico incubação 20°C 5 dias	1
COT	mg.L <sup>-1</sup> C	Método 5310 D – Combustão infra vermelho	0,1
NTK	mg.L <sup>-1</sup> N-NH <sub>3</sub>	Método 4500 Norg – B Digestão, destilação e titrimetria	1
Nitrogênio Amoniacal	mg.L <sup>-1</sup> N-NH <sub>4</sub>	Método 4500- NH <sub>3</sub> B e C destilação e espectrofotometria	0,01
Fósforo total	mg.L <sup>-1</sup> P	Método 4500-P Espectrofotometria	0,01
Óleos e Graxas ou Substâncias solúveis em N-hexano	mg.L <sup>-1</sup>	Método 5220D e 5220E – extração n-hexano e gravimetria	1
Sólidos Totais	mg.L <sup>-1</sup>	Método 2540 B 2540 C e 2540 D – gravimetria	1
Sólidos suspensos	mg.L <sup>-1</sup>	Método 2540 B 2540 C e 2540 D – gravimetria	1
Sólidos Dissolvidos Totais	mg.L <sup>-1</sup>	Método 2540 B 2540 C e 2540 D – gravimetria	1

Fonte: Autor, 2018.

A escolha da melhor tecnologia dependeu da aplicação da água residuária, ou seja, para o reuso dentro do processo produtivo o tratamento ideal é um e para o descarte no corpo hídrico o tratamento ideal é outro, por isso o local de reutilização foi definido e a melhor tecnologia foi selecionada, porém alternativas para usos mais restritos foram levados em consideração.

Em seguida foram feitas as exclusões das alternativas inviáveis em função do critério de área de terreno de cada alternativa, foi realizada a exclusão das alternativas que não são viáveis de acordo com o critério de ocupação de espaço, ou seja, são excluídas as alternativas que exigem áreas maiores. E ainda foi verificado as principais vantagens e desvantagens de cada sistema de tratamento.

Além da área, outro ponto importante que foi verificado é a classificação das alternativas de acordo com sua demanda de energia, mesmo não seja um fator limitante para o tratamento devido a Usina ter geração de energia, é válido conhecer as melhores alternativas inclusive com gasto reduzido de energia. Logo após a verificação foi realizada a exclusão das alternativas pelo critério da demanda de energia quando houver uma demanda muito alta de energia.

Na análise econômica foi verificado a viabilidade econômica das alternativas, resultando em uma aproximação dos valores de alguns parâmetros econômicos, que são utilizados como variáveis de decisão na análise final.

Finalmente na etapa de seleção final foi feita uma avaliação de todos os parâmetros e características de cada tratamento e a opção mais econômica, que ocupa uma menor área e que atenda a eficiência exigida pela legislação pertinente foi escolhida.

#### 4.3.1 Realização de ensaios de bancada do tipo Jarteste para simular um tratamento físico – químico

Foi realizado um estudo em bancada através de teste em Jarteste para verificar a possibilidade de se utilizar um tratamento físico-químico, assim foram feitos ensaios no laboratório da usina em estudo.

O equipamento Jarteste utilizado nos ensaios é constituído por uma série de três reatores, de volume igual a 1 L e suas respectivas paletas, que são empregadas para simular a agitação intensa de uma unidade de mistura rápida nas estações de tratamento de água. Na Figura 7 é apresentado o equipamento de Jarteste utilizado nos ensaios do presente estudo.

Figura 7: Equipamento de Jarteste utilizado para simular tratamento físico-químico em água residuária



Fonte: Autor, 2018.

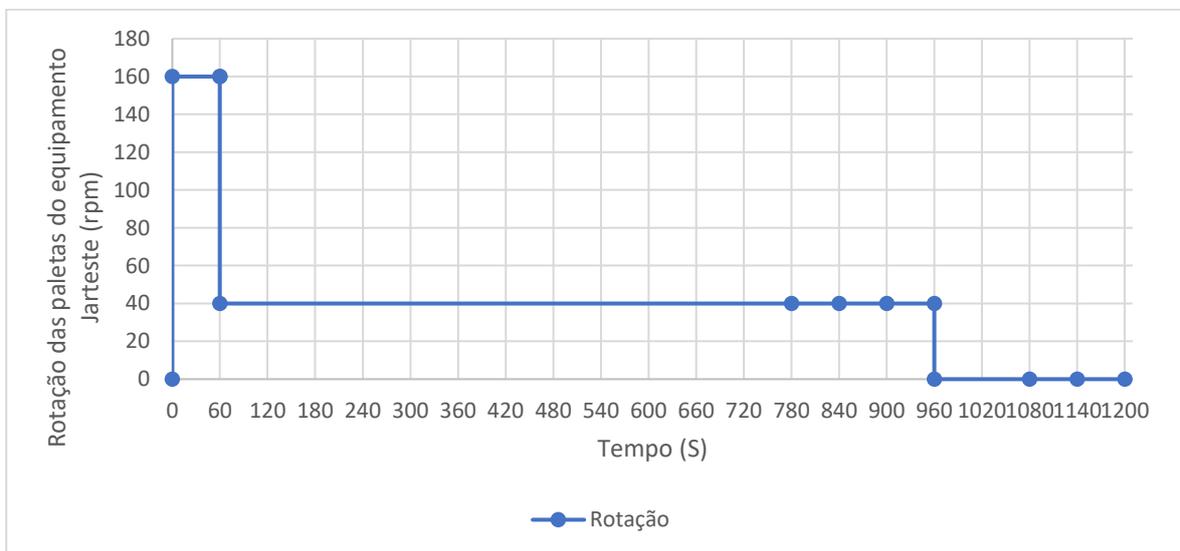
Utilizando – se um balde de 20 L foram feitas coletas de amostra de água residuária na usina em estudo para os ensaios de Jarteste nos horários das 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 h, no dia anterior aos ensaios, totalizando 100L para cada dia de teste. Nos ensaios de Jarteste realizados foram utilizados o alcalinizante NaOH (hidróxido de sódio), coagulantes, cal

dolomítica, policloreto de alumínio, polímero catiônico e o polímero aniônico em diferentes concentrações para a avaliação da melhor dosagem. Para cada ensaio realizado foram feitas as medições dos parâmetros de pH e turbidez do afluente e do efluente. Após a verificação dos melhores resultados apresentados nos ensaios, foram realizados novos ensaios onde foi feito além do pH e da turbidez, também os sólidos suspensos das amostras de água residuária da usina em estudo antes e após o tratamento.

A água residuária foi coletada na usina em estudo, homogeneizada rigorosamente e transferida uniformemente em cada um dos jarros. Essa etapa promoveu a realização de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em equipamento de Jarreste com o intuito de se saber qual é a dosagem mais otimizada. Um dos critérios analisados transcorreu em avaliar a região de maior remoção de turbidez com menores dosagens de produtos químicos.

O tempo utilizado na mistura rápida nos ensaios foram de 60s com rotação de mistura rápida de 160 rpm e a etapa de coagulação foi no tempo de 15 minutos com rotação de 40 rpm e 5 minutos para sedimentação conforme é mostrado na Figura 8. Logo após foram feitas as medidas de pH e turbidez.

Figura 8: Variação da rotação das paletas do equipamento Jarreste em função do tempo de ensaio para o tratamento da água residuária da usina em estudo



Fonte: Autor, 2018.

#### 4.4 PROPOSIÇÃO DE PONTOS DE REÚSO DENTRO DA INDÚSTRIA

A proposição de pontos de reuso dentro da usina em estudo foi feita após a realização de um diagnóstico dos principais pontos de uso de água. A verificação foi feita durante as visitas

na usina onde todos os pontos no processo de fabricação de açúcar e etanol foram levantados e avaliados a qualidade mínima exigida para cada reuso.

#### 4.5 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Para a estimativa de custos foi realizada a cotação dos preços dos produtos químicos utilizados para o tratamento da água de estudo que apresentaram melhores resultados de custo benefício. A cotação dos preços foi feita diretamente com os fornecedores dos determinados produtos e como referência uma ETE hipotética com vazão de água residuária de 124,7 m<sup>3</sup>/h que foi a média vazão apresentada na usina em estudo na safra de 2018. Os cálculos realizados foram para prever o custo por metros cúbicos de água residuária tratada com os produtos químicos utilizados no tratamento para a ETE.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. DIAGNÓSTICO PARA IDENTIFICAR OS PONTOS DE GERAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA

#### 5.1.1 Histórico da Empresa

No dia 1º de maio do ano de 1975 foi fundada a Indústria de Aguardente localizada em uma Fazenda no interior do Estado de São Paulo. A empresa produzia aguardente de cana-de-açúcar, com capacidade de moagem de 1.000 t/dia e sua primeira produção foi de 2.007.000 litros.

Em maio de 1984, sob a denominação “Destilaria”, a empresa torna-se mais uma produtora de etanol do país, gerando ainda mais empregos para o município e região.

Na safra de 2000/2001, teve início a operação da Fábrica de Levedura Seca, com a capacidade produtiva de 14.000 kg/dia. Em 2001, a Destilaria inicia a produção de açúcar e a capacidade produtiva de 10.000 sacas de 50 kg de açúcar e 600.000 litros de etanol por dia.

A partir do ano de 2003, foi ampliada a capacidade de moagem de cana-de-açúcar para 8.000 ton./dia, passando também a exportar energia elétrica excedente. No ano de 2010, a capacidade de produção de açúcar e moagem foi melhorada, sendo aumentado respectivamente para 30.000 sacas de 50 kg de açúcar e 15.600 t/dia. Em agosto de 2012, a Usina foi certificada nas normas ISO 9.001 e ISO 22.000.

Atualmente é uma empresa de renome em toda a região, onde propicia o desenvolvimento social-financeiro de grande parcela da população, da região e adjacências.

#### 5.1.2 Fluxograma das Etapas de Produção da Usina de Açúcar e Álcool

Os principais produtos no processo de fabricação da usina em estudo é o açúcar e o álcool, porém foi verificado que há a fabricação de outros produtos, como a levedura seca a partir da secagem do excedente de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* no processo de fermentação alcoólica. Também durante o processo de fabricação de açúcar e álcool há a geração de energia elétrica a partir da queima do bagaço e produção de vapor nas caldeiras.

Todos os processos dentro da usina utilizam água, porém não foi possível realizar a quantificação do volume gerado em cada setor, pois a empresa não possui medidores de vazão em todos os locais de entrada de água e saída de efluente. Os setores utilizam a água captada e

o efluente gerado é encaminhado para os reservatórios de vinhaça e consecutivamente para a irrigação na agricultura. O setor que reutiliza a água é o setor da evaporação do caldo, pois nesse há a recirculação dos condensados gerados, onde são reaproveitados dentro da usina.

O local da coleta para a caracterização do efluente foi no encontro das águas residuárias proveniente de todos os setores da Usina, que são da moenda, do tratamento de caldo, da evaporação, da fábrica de açúcar, do armazenamento de açúcar, da caldeira e da destilaria. As águas residuárias provenientes dos diversos setores da usina são encaminhados para um reservatório para a sedimentação parcial da terra e demais sólidos conforme pode ser verificado na Figura 9.

Figura 9: Reservatório de sedimentação de água residuária existente na usina de açúcar e álcool



Fonte: Autor, 2018.

Após o tanque de sedimentação as águas passam por um reservatório de equalização e quando o nível da água sobe, há uma bomba submersa que succiona (Figura 10) o efluente para o reservatório de água residuária e vinhaça.

Figura 10: Reservatório de equalização de água residuária existente na usina de açúcar e álcool



Fonte: Autor, 2018.

A água residuária é enviada para o reservatório através de uma tubulação onde há um medidor de vazão eletromagnético do tipo carretel existente (Figura 11). O medidor realiza as medições durante o acionamento da bomba. O laboratório da usina em estudo acompanha diariamente as somatórias das vazões as 06:00 e pela diferença entre um dia e outro realiza a quantificação da vazão por hora e o volume total que passou no dia.

Nas Figuras 12 e 13 são apresentados os fluxogramas de saídas de água residuária da usina levantados no presente estudo. Nos fluxogramas estão descritas as saídas da água residuária gerada na usina nos diversos setores, porém todo efluente gerado é encaminhado para um ponto único, onde foi realizada a medição da vazão total do efluente através do medidor de vazão existente (Figura 11).

Figura 11: Medidor de vazão eletromagnético do tipo carretel na usina de açúcar e álcool

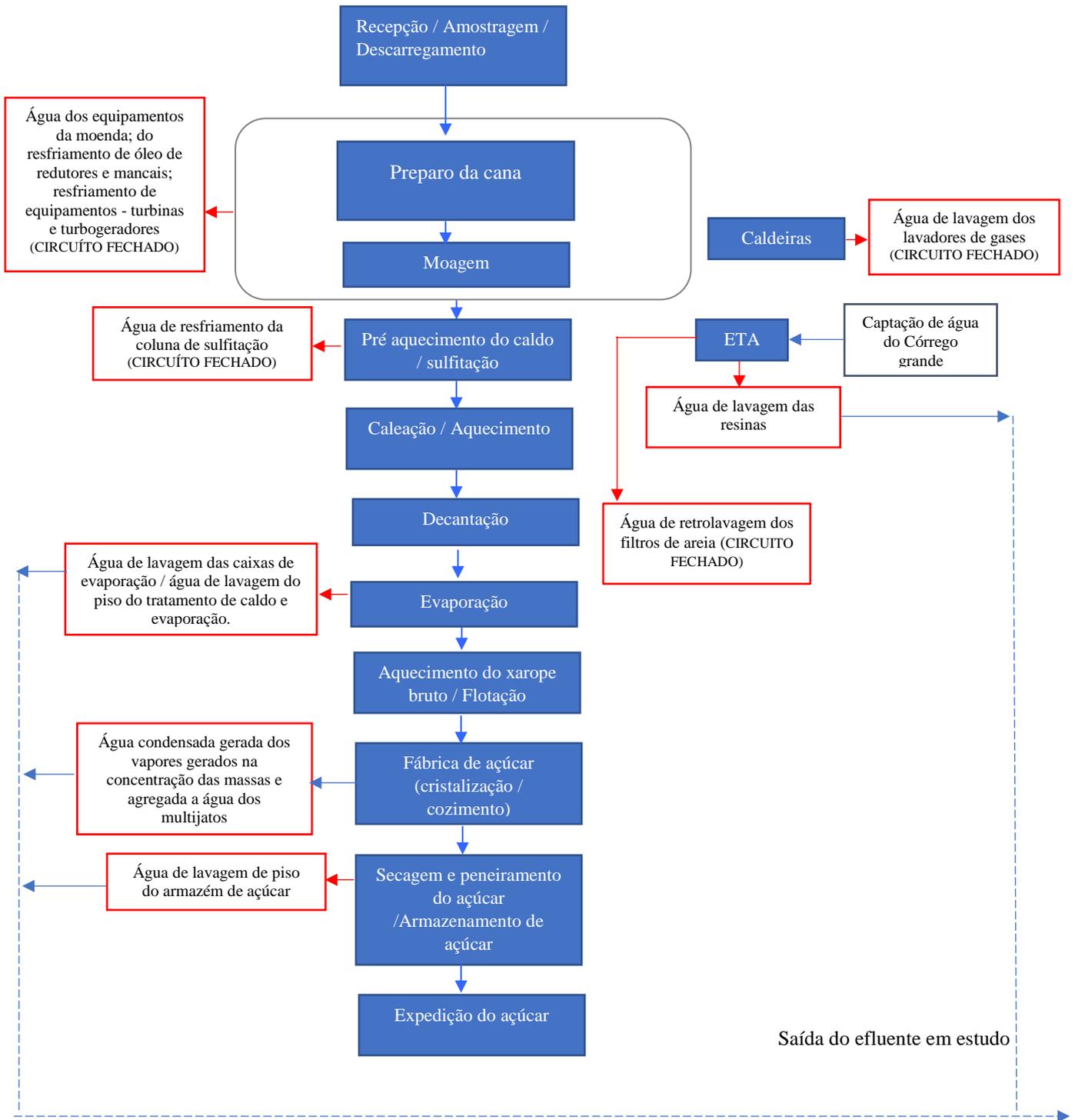


Fonte: Autor, 2018.

Os setores que geram água residuária da usina em estudo são mostrados nas Figuras 12 e 13, em alguns pontos a água residuária é descartada porém as águas utilizadas para o resfriamento dos equipamentos na usina estão em circuito fechado como por exemplo a água residuária de resfriamento dos mancais, trocadores de calor, turbinas, turbo geradores e no sistema de sulfitação no tratamento de caldo. As águas que estão em circuito fechado são reutilizadas, no entanto é necessário a reposição no sistema, pois há significativa perda água por evaporação.

Foi observado no reservatório de sedimentação existente na usina em estudo que o tempo de residência não é suficiente, pois há o acúmulo de terra no reservatório de equalização e também neste ponto há uma sistema de amostrador contínuo de água residuária para a análise de perdas de açúcares realizada no laboratório da usina e antes do amostrador há um filtro justamente para evitar a entrada de sólidos, porém foi verificado que há frequentes entupimentos no filtro durante devido a quantidade de sólidos que é enviado para o mesmo. Foi relatado durante o estudo que periodicamente é feita a retirada de terra do reservatório de sedimentação para liberar espaço no mesmo para a entrada de água residuária.

Figura 12: Localização dos pontos de geração de água residuária na fabricação de açúcar



Fonte: Autor, 2018.

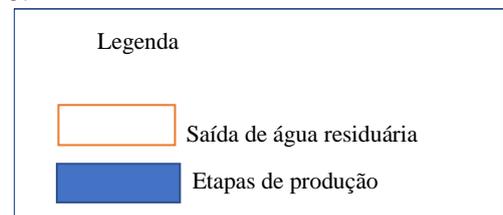
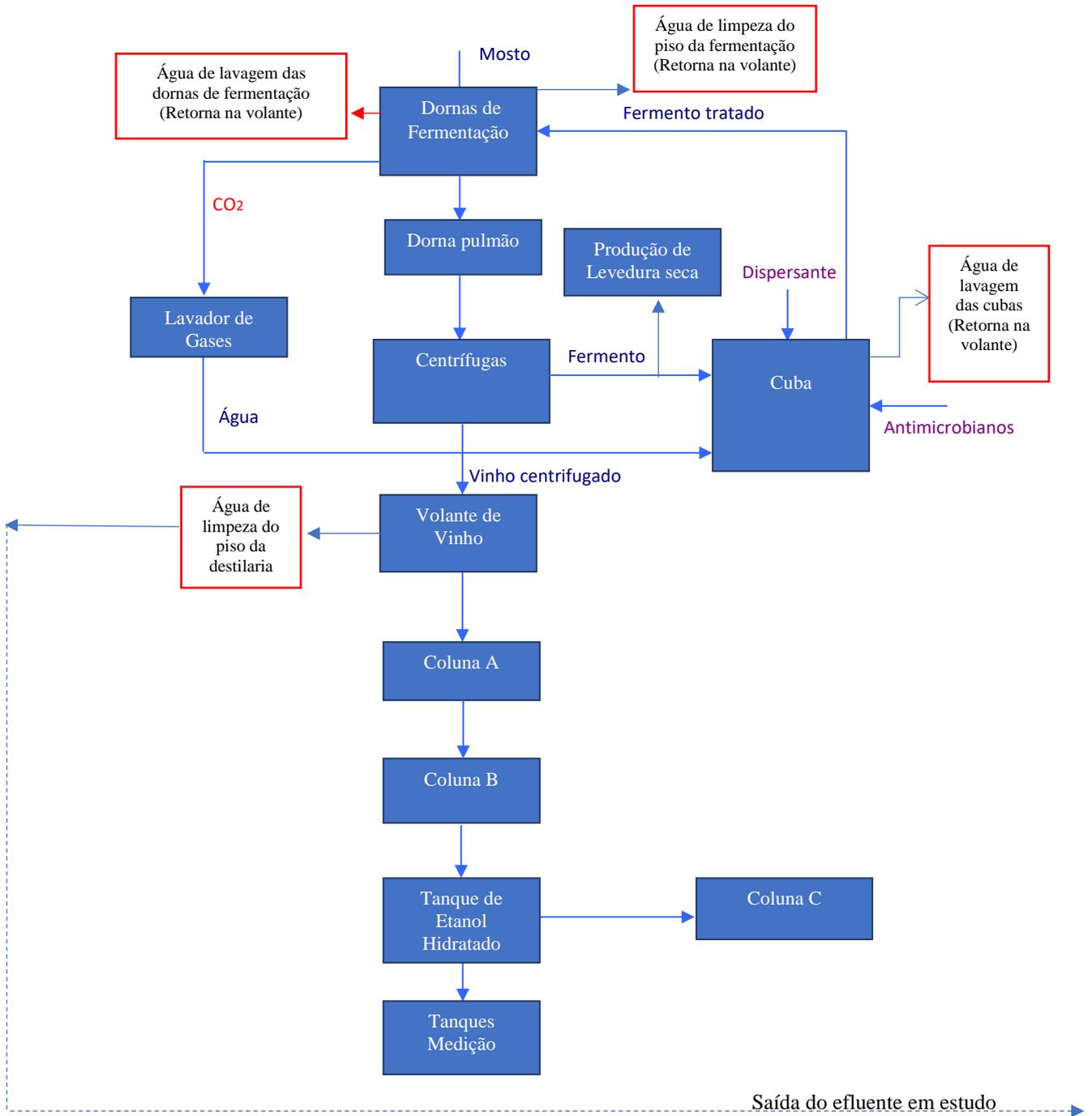
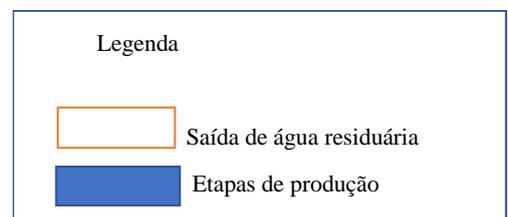


Figura 13: Localização dos pontos de geração de água residuária na fabricação de etanol



Fonte: Autor, 2018.



## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA GERADA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

Na Tabela 4 são apresentados os volumes mensais da água residuária gerada na usina em estudo referente ao ano safra de 2017 e 2018. Os resultados obtidos das duas coletas realizadas nos dias 25/05/2017 e 03/06/2017 às 00:00 foram com as vazões de 130,0 e 118,0 m<sup>3</sup>/h com DQO de 1.136 e 938 mg/L respectivamente. A vazão da água residuária medida durante as coletas foram realizadas quando a bomba de sucção estava ligada, pois há intervalos em que a bomba de sucção fica desligada. O momento que a bomba é ligada ocorre quando o nível da água do reservatório de equalização sobe e quando o nível desce a bomba automaticamente é desligada.

Tabela 4: Geração mensal em m<sup>3</sup>/h de água residuária na usina em estudo nos anos de 2017 e 2018 durante o período de safra

	2017	2018
Data	Vazão de água residuária média do mês (m <sup>3</sup> /h)	Vazão de água residuária média do mês (m <sup>3</sup> /h)
Maio	105,9	126,1
Junho	188,2	124,6
Julho	161,7	139,7
Agosto	108,1	126
Setembro	109,6	104,3
Outubro	108,3	127,8
Novembro	116,1	-
Média	128,3	124,7

Fonte: Autor, 2018.

Os valores foram obtidos através do sistema informatizado utilizado na usina em estudo, o cálculo realizado pelo sistema para os valores mensais de água residuária é feito através das diferenças do valor da somatória lida do medidor de vazão dia a dia, sendo assim foi obtido os dados em m<sup>3</sup>/h reais.

A DQO e a vazão da água residuária quantificadas durante o período de coleta nos horários previamente determinados são apresentadas na Tabela 5. Como pode - se observar houve uma significativa variação da vazão da água residuária como pode ser observado nos dias 26/07/2017 e 25/10/2017 que obtiveram vazão de 65,6 e 289,7 m<sup>3</sup>/h respectivamente, bem como da matéria orgânica expressa na DQO como foi verificado nos dias 26/07/2017 e 14/10/2017 que obtiveram DQO de 1.522 e 18.250 mg/L respectivamente.

Tabela 5: Valores de DQO e vazão da água residuária gerada na usina

<b>Data</b>	<b>DQO 08:00 (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Vazão 08:00 (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>DQO 10:00 (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Vazão 10:00 (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>DQO 12:00 (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Vazão 12:00 (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>DQO 14:00 (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Vazão 14:00 (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>DQO 16:00 (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Vazão 16:00 (m<sup>3</sup>/h)</b>
25/05/2017	4.620	230,0	4.080	258,0	4.810	166,0	2.800	235,0	2.790	243,0
03/06/2017	2.550	251,7	6.230	249,0	2.780	255,0	3.240	250,3	2.900	245,8
08/06/2017	2.720	252,6	3.350	257,0	3.230	245,0	2.590	251,8	2.860	256,6
22/06/2017	2.350	247,3	2.590	250,7	1.870	235,0	2.330	210,0	2.840	253,0
05/07/2017	1.528	237,7	1.776	193,4	1.780	178,8	1.880	155,9	1.646	184,2
13/07/2017	3.270	111,0	2.240	247,3	1.662	155,6	2.920	184,6	2.760	81,7
19/07/2017	2.340	205,3	1.502	262,3	1.920	167,4	2.000	126,0	1.880	145,0
22/07/2017	5.090	225,1	2.830	208,7	1.482	245,3	4.010	237,5	3.160	234,7
26/07/2017	1.522	65,6	4.360	217,3	1.350	248,4	2.480	251,2	4.410	190,6
27/07/2017	3.860	189,0	2.493	263,0	2.840	259,7	3.090	254,8	2.910	256,4
16/08/2017	4.350	161,3	5.220	173,3	4.010	113,6	2.310	171,2	4.760	147,3
17/08/2017	4.100	163,3	2.300	114,7	7.450	143,0	7.980	231,1	5.000	229,5
22/08/2017	5.640	189,2	7.190	159,6	5.650	100,4	3.480	103,6	4.820	132,2
23/08/2017	6.480	180,3	3.230	244,0	2.660	242,5	5.180	238,4	5.440	267,9
24/08/2017	6.570	222,0	6.580	240,7	7.390	238,6	4.440	107,3	6.360	214,2
30/08/2017	4.410	251,1	4.840	195,1	8.610	216,9	5.970	207,6	8.250	219,8
31/08/2017	7.150	204,7	3.080	199,6	4.370	216,0	5.240	171,3	6.190	249,6
04/09/2017	6.620	229,6	6.590	222,6	5.360	209,7	7.390	205,3	8.160	212,3
05/09/2017	6.930	221,1	5.330	178,2	5.150	183,6	6.540	190,5	5.970	216,6
13/09/2017	11.100	223,0	4.890	162,7	6.020	174,3	8.880	125,8	8.800	242,9
14/09/2017	7.790	82,5	5.320	181,9	7.350	174,2	8.500	209,7	5.640	239,1
19/09/2017	5.300	244,6	4.750	235,7	7.890	240,3	10.100	241,4	18.850	223,9
20/09/2017	17.250	223,4	4.780	240,6	5.890	235,2	7.620	238,3	3.690	230,4
27/09/2017	9.210	245,6	8.750	180,2	2.830	145,2	3.070	152,5	14.060	151,2
28/09/2017	5.890	154,4	4.720	120,6	4.950	127,7	8.000	92,4	6.470	102,6
05/10/2017	5.180	105,4	3.050	155,5	7.150	124,8	3.330	158,0	7.950	123,2
10/10/2017	6.780	242,6	5.350	231,5	6.260	242,2	3.950	238,0	5.270	237,7
11/10/2017	5.070	256,0	8.800	244,1	7.140	87,6	4.910	246,9	5.040	147,4
14/10/2017	5.010	151,7	4.140	170,9	18.250	120,4	3.600	138,7	3.140	139,3
16/10/2017	4.380	245,8	6.110	167,8	4.190	196,8	4.540	178,7	10.020	185,3
25/10/2017	4.520	234,6	4.600	289,7	3.950	232,4	5.860	183,0	4.410	232,6
26/10/2017	5.970	248,1	5.470	241,1	4.680	236,8	4.450	246,1	7.330	230,0

Fonte: Autor, 2018.

É válido ressaltar que a vazão verificada em cada horário de coleta é medida quando a bomba de sucção entra em operação, ou seja, a vazão sofre variações durante o dia, pois há momentos que a bomba fica desligada.

As concentrações de DQO em função da vazão resultaram em uma determinada carga em cada horário, que são apresentadas nas Tabela 6.

Tabela 6: Carga orgânica média medida em cada horário na água residuária da usina

<b>Data</b>	<b>Carga 08:00 (kg/dia)</b>	<b>Carga 10:00 (kg/dia)</b>	<b>Carga 12:00 (kg/dia)</b>	<b>Carga 14:00 (kg/dia)</b>	<b>Carga 16:00 (kg/dia)</b>	<b>Número de dias amostrados</b>
25/05/2017	25.502,4	25.263,4	19.163,0	15.792,0	16.271,3	1
03/06/2017	15.404,0	37.230,5	17.013,6	19.463,3	17.107,7	2
08/06/2017	16.489,7	20.662,8	18.992,4	15.651,9	17.613,0	3
22/06/2017	13.947,7	15.583,5	10.546,8	11.743,2	17.244,5	4
05/07/2017	8.716,9	8.243,5	7.638,3	7.034,2	7.276,6	5
13/07/2017	8.711,3	13.294,8	6.206,6	12.936,8	5.411,8	6
19/07/2017	11.529,6	9.455,4	7.713,8	6.048,0	6.542,4	7
22/07/2017	27.498,2	14.174,9	8.724,8	22.857,0	17.799,6	8
26/07/2017	2.396,2	22.738,3	7.040,5	14.951,4	20.173,1	9
27/07/2017	17.509,0	15.735,8	17.701,2	18.896,0	17.907,0	10
16/08/2017	16.839,7	21.711,0	10.932,9	9.491,3	16.827,6	11
17/08/2017	16.068,7	6.331,4	25.568,4	44.260,3	27.540,0	12
22/08/2017	25.610,1	27.540,6	13.614,2	8.652,7	15.292,9	13
23/08/2017	28.040,3	18.914,9	15.481,2	29.637,9	34.977,0	14
24/08/2017	35.005,0	38.011,3	42.318,1	11.433,9	32.695,5	15
30/08/2017	26.576,4	22.662,8	44.820,2	29.744,9	43.520,4	16
31/08/2017	35.126,5	14.754,4	22.654,1	21.542,7	37.080,6	17
04/09/2017	36.478,8	35.206,4	26.975,8	36.412,0	41.576,8	18
05/09/2017	36.773,4	22.795,3	22.693,0	29.900,9	31.034,4	19
13/09/2017	59.407,2	19.094,5	25.182,9	26.810,5	51.300,5	20
14/09/2017	15.424,2	23.225,0	30.728,9	42.778,8	32.364,6	21
19/09/2017	31.113,1	26.869,8	45.503,2	58.515,4	101.292,4	22
20/09/2017	92.487,6	27.601,6	33.247,9	43.580,3	20.404,2	23
27/09/2017	54.287,4	37.842,0	9.862,0	11.236,2	51.020,9	24
28/09/2017	21.826,0	13.661,6	15.170,8	17.740,8	15.931,7	25
05/10/2017	13.103,3	11.382,6	21.415,7	12.627,4	23.506,6	26
10/10/2017	39.475,9	29.724,6	36.388,1	22.562,4	30.064,3	27
11/10/2017	31.150,1	51.553,9	15.011,1	29.094,7	17.829,5	28
14/10/2017	18.240,4	16.980,6	52.735,2	11.983,7	10.497,6	29
16/10/2017	25.838,5	24.606,2	19.790,2	19.471,2	44.560,9	30
25/10/2017	25.449,4	31.982,9	22.031,5	25.666,8	24.618,4	31
26/10/2017	35.547,8	31.651,6	26.597,4	26.283,5	40.461,6	32

Fonte: Autor, 2018.

Como pode ser verificado na Tabela 6, há uma grande variação da carga orgânica em termos de DQO durante o período de amostragem, como por exemplo nos dias 26/07/2017 e 19/09/2017, onde foram obtidos os resultados para concentração da carga orgânica de 2.396,2 e 101.292,4 kg/dia respectivamente.

Após a verificação das cargas em cada horário foi realizada uma média aritmética dos dias coletados em seus respectivos horários para a determinação dos volumes a serem coletados em cada horário, como é mostrado na Tabela 7. O volume total amostrado foi de 5.000 mL.

Tabela 7: Quantificação do volume a ser coletado em cada horário

Horário	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Desvio padrão DQO	Q (m <sup>3</sup> /h)	Desvio padrão Q (m <sup>3</sup> /h)	Carga (kg/dia)	Volume (ml)
08:00	5.485,94	2.970,59	202,99	52,18	26.725,84	1.084
10:00	4.579,41	1.849,82	211,15	44,07	23.206,60	941
12:00	5.028,88	3.213,05	192,45	51,78	23.227,37	942
14:00	4.771,25	2.279,73	194,76	49,89	22.302,25	904
16:00	5.743,00	3.573,48	202,06	50,99	27.850,68	1.129
Total						5.000

Fonte: Autor, 2018.

Os resultados obtidos nos ensaios físico-químicos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Caracterização físico-química de água residuária da usina

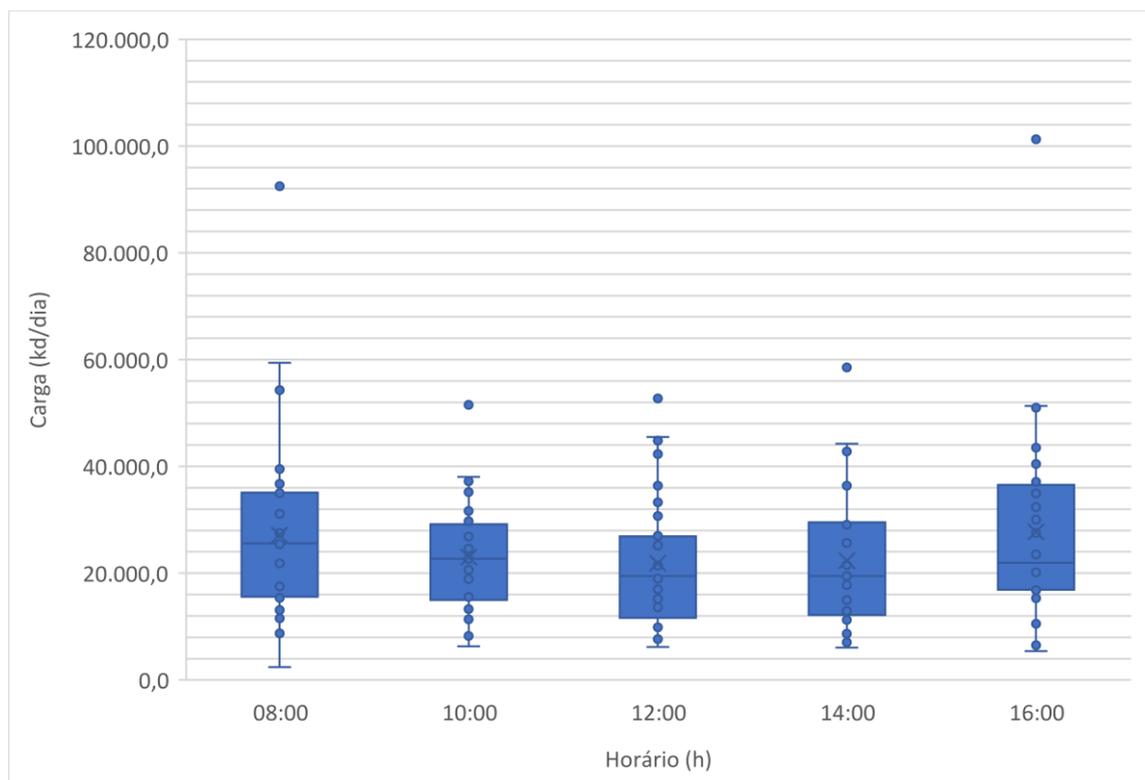
Parâmetros químicos	Unidade	Amostra 03/11/2017	Amostra 04/11/2017	Amostra 08/11/2017	Amostra 04/05/2018
pH	Adimensional	4,11	4,46	4,32	4,66
Resíduos sedimentáveis	mL.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>	4	32	38	30
NTK	mg.L <sup>-1</sup> N-NH <sub>3</sub>	7	77	74	71
Fósforo Total	mg.L <sup>-1</sup>	4	14	13,5	9,5
Nitrogênio Amoniacal	mg.L <sup>-1</sup> N-NH <sub>3</sub>	1,1	2,2	5,1	17
DBO <sub>5</sub> dias a 20°C	mg.L <sup>-1</sup> C	1.357	955	782	1.650
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	3.760	4.600	3.960	4.281
DQO/DBO <sub>5</sub> dias a 20°C	Adimensional	2,77	4,82	5,06	2,59
DBO/DQO <sub>5</sub> dias a 20°C	Adimensional	0,36	0,21	0,20	0,39
COT	mg.L <sup>-1</sup>	1.704	1.314	1.005	1.374
Óleos e Graxas ou Substâncias solúveis em N-hexano	mg.L <sup>-1</sup>	160	100	110	718
Sólidos Suspensos Totais	mg.L <sup>-1</sup>	1.158	1.404	596	1.330
Sólidos Dissolvidos Totais	mg.L <sup>-1</sup>	2.513	3.436	3.371	2.667
Sólidos Totais	mg.L <sup>-1</sup>	3.671	4.840	3.967	3.997

Fonte: Autor, 2018.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 8 observa-se que a água residuária possui elevada concentração de matéria orgânica em termos de DQO e DBO e também quantidades significativas de óleos e graxas que segundo o CONAMA 430 o lançamento em corpo hídrico o parâmetro máximo substâncias solúveis em hexano até 100 mg/L. Já a relação DQO / DBO apresentou valores acima de 2,5 e segundo Santos et al (2010), para caracterizar um tratamento biológico a relação DQO/DBO deve ser menor que 2,5, sendo assim de acordo com os resultados obtidos para a relação DQO/DBO apresentados na Tabela 8 não caracterizam um tratamento biológico.

Na Figura 14, é apresentada a concentração da carga orgânica em cada horário em que foi realizada a coleta e pode ser observado que estatisticamente há uma variação da carga orgânica dentro do conjunto de dados amostrados.

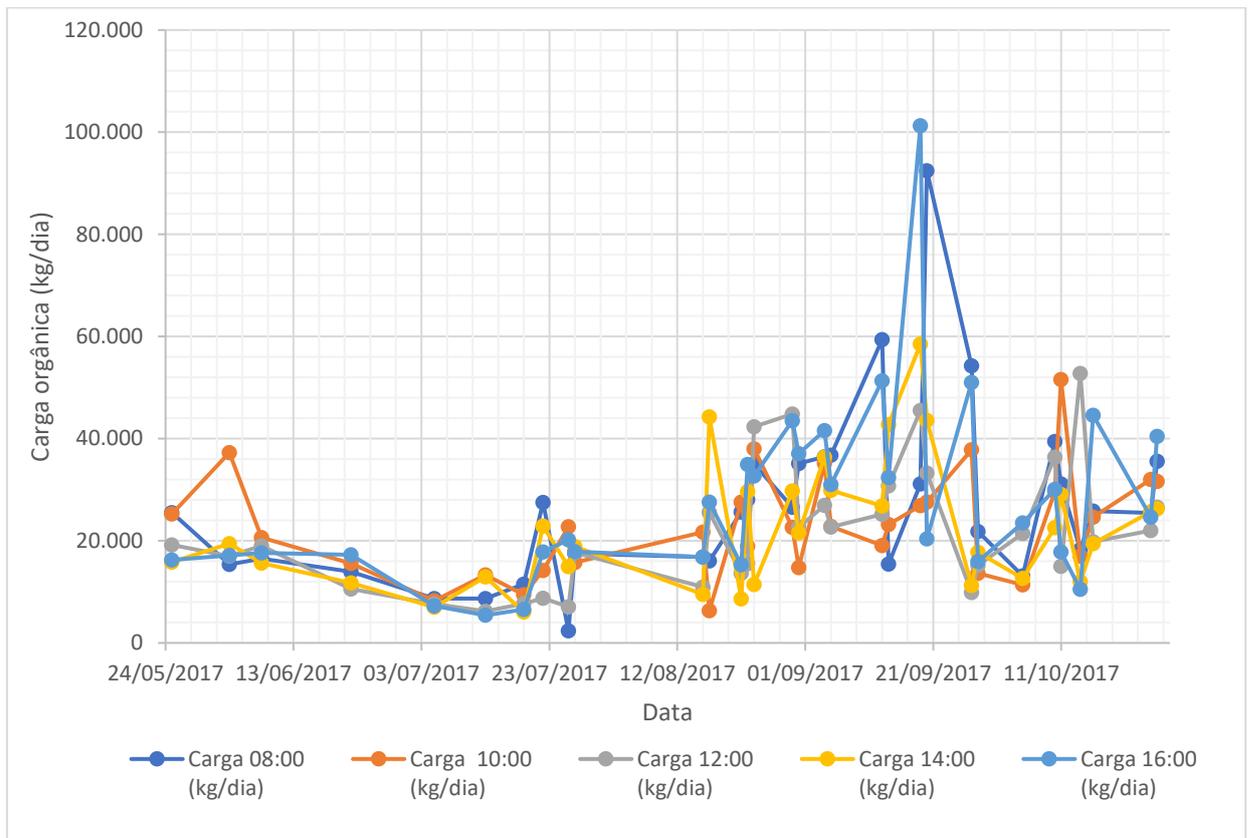
Figura 14: Carga orgânica medida na água residuária coletada na usina em cada horário



Fonte: Autor, 2018.

Na Figura 14 foi verificar no gráfico que a variação da carga orgânica durante o período de amostragem como pode ser observado há a variação da carga orgânica, que pode ir desde 2.396,2 kg/dia a 101.292,4 kg/dia. A variação da carga orgânica em função do horário coletado também pode ser verificada na Figura 15.

Figura 15: Variação da carga orgânica na água residuária



Fonte: Autor, 2018.

Na Figura 15 pode ser observado que a variação da carga orgânica ocorre desde o início do período amostrado, porém no final da safra 2017/2018 a concentração da matéria orgânica foi bem mais expressiva, ou seja, há maiores variações com picos maiores de concentração, sendo o maior dele no valor de 101.292,4 kg/dia, conforme também foi verificado na Figura 14.

### 5.3 PROPOSIÇÃO DE UMA TECNOLOGIA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA

Para a proposição de uma tecnologia mais adequada e viável em termos de custo benefício foi necessário conhecer a qualidade da água utilizada nos possíveis pontos de reutilização da água residuária na usina em estudo.

A comparação realizada em diferentes tipos de tratamentos foi de suma importância para se saber quais vantagens e desvantagens de cada tratamento para que no momento da escolha todos os aspectos sejam levados em consideração.

Na Tabela 9 são apresentadas as qualidades dos efluentes em indústrias distintas, incluindo os dados coletados no presente trabalho.

Tabela 9: Comparação de parâmetros químicos entre diferentes tipos de efluentes

Parâmetros químicos	Unidade	(1) Água residuária Usina de açúcar e álcool	(2) Vinhaça	(3) Água residuária da cabine de pintura de indústria moveleira	(4) Efluentes do branqueamento ácido e alcalino de poupa celulósica
pH	-	4,4	4,3	6,35	11
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	4.150	53.360	1.725	2.804
DBO <sub>5</sub> dias a 20°C	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	1.186	-	745	741
COT	mg.L <sup>-1</sup>	1.349	20.600	-	-
DQO / DBO	-	3,50		2,32	3,78

Fonte: (1) Autor, 2018; (2) Seixas et al., 2016; (3) Santos et al., 2010; Amaral et al., 2013.

Como pode ser observado na Tabela 9 a DQO é bem maior na vinhaça do que nos demais efluentes, já para a água residuária da usina de açúcar e álcool, da indústria moveleira e da indústria de celulose os valores para DQO são mais próximos.

Para o tratamento de efluentes gerados em cabines de pintura de uma indústria moveleira Santos et al. (2010) propôs tratamento biológico aeróbio de lodo ativado e anaeróbio UASB. O principal motivo que o levou a escolha do tratamento biológico foi a relação DQO / DBO menor que 2,5. Os ensaios de biotratabilidade da água residuária industrial foram feitos em reator UASB de bancada com operação à temperatura ambiente e tempo de detenção hidráulica de 10 horas, a alimentação do reator UASB foi feita somente com água residuária gerada na indústria moveleira que mostrou que após 25 dias de operação, surgiram alguns sinais de inibição microbiana com acúmulo de ácidos graxos voláteis e redução da eficiência de remoção de DQO para aproximadamente 44%, causada presumivelmente pela deficiência nutricional. Em contrapartida uso de um reator aeróbio de mistura completa com tempo de detenção hidráulica de 48 horas, operado à temperatura ambiente e alimentado com o efluente do sistema de tratamento anaeróbio de fluxo ascendente, aumentou a eficiência global de remoção de DQO para 88%, mostrando que a utilização de processos combinados anaeróbio-aeróbio podem ser uma ótima opção de tecnologia para o efetivo tratamento das águas residuárias das cabines de pintura de indústrias moveleiras, visto que o tratamento indicado é o biológico.

Em contrapartida conforme os resultados obtidos por Amaral et al. (2013) para biotratabilidade do efluente de branqueamento de polpa celulósica por processos aeróbios e

anaeróbios, os testes de DQO inerte e biodegradabilidade indicaram a baixa biodegradabilidade dos efluentes, indicando assim que mesmo com os tratamentos biológicos se faz necessário a conjugação com tratamentos físico-químicos.

Na Tabela 10 é apresentada a relação entre a DBO e DQO solúveis da água residuária do presente estudo.

Tabela 10: Relação entre DBO e DBO solúvel realizadas na amostra de água residuária

<b>Parâmetros químicos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Água Residuária</b>
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	3.075
DQO solúvel	mg/L O <sub>2</sub>	2.306
DBO <sub>5</sub> dias a 20°C	mg/L O <sub>2</sub>	1.466
DBO <sub>5</sub> dias a 20°C solúvel	mg/L O <sub>2</sub>	1.460
DBO <sub>5</sub> dias a 20°C solúvel/ DBO <sub>5</sub> dias a 20°C	-	0,996
DBO solúvel/ DQO solúvel	-	0,63

Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 10 pode ser observado a relação DQO solúvel/ DQO foi de 75% e isso significa que 75% da DQO estava de forma dissolvida e 25% estava na forma suspensa, sendo assim a DBO de 1.460 mg.L<sup>-1</sup> quando comparada a 2.306 mg.L<sup>-1</sup> de DQO solúvel representou que a relação DBO / DQO solúvel foi de 63%, sendo assim o material dissolvido obtido foi 63% biodegradável, sendo assim um tratamento físico-químico se faz necessário antecedendo o tratamento biológico.

### 5.3.1 Realização de Ensaio de Bancada do Tipo Jarteste para Simular o Tratamento Físico-Químico

Para se aproximar da qualidade ideal da água que é atualmente utilizada na usina em estudo na embebição da cana-de-açúcar na moenda, na esteira metálica da moenda, na embebição nos filtros à vácuo e enxague das caixas de evaporação do caldo que é um dos pontos propostos para o reuso da água residuária tratada, foram feitos ensaios em Jartestes e alguns parâmetros foram seguidos, como a utilização de produtos químicos regularizados para o uso onde a água que entra em contato com a matéria-prima para a produção de produto alimentício,

concentrações de cal dolomítica e temperatura adequada, pois esses fatores influenciam no processo de clarificação.

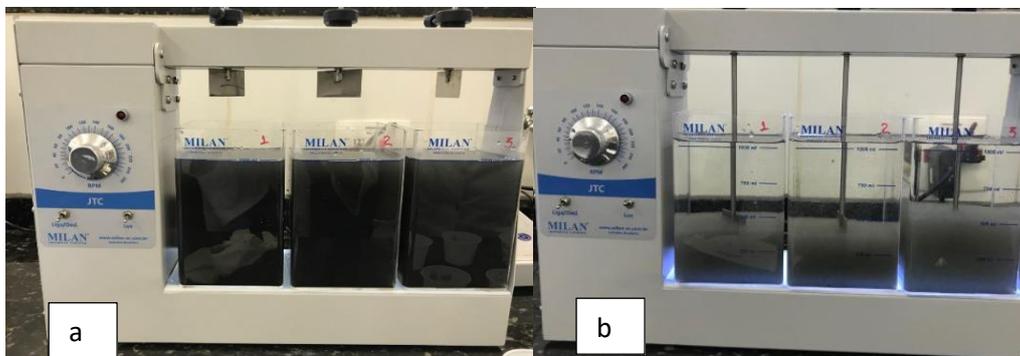
Os ensaios da primeira etapa de Jartestes realizados são mostrados nas Figura 16 a 19. A água residuária coletada para os testes estava com pH de 4,89 e turbidez de 2.313 NTU.

Figura 16: Ensaio de Jarteste com água residuária bruta coletada na usina em estudo



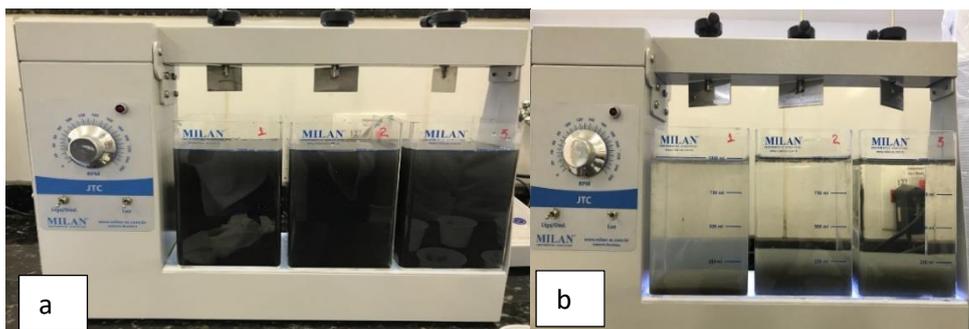
Fonte: Autor, 2018.

Figura 17: Ensaio de Jarteste com a água residuária coletada na usina em estudo antes (a) e após (b) o tratamento com o uso de polímero catiônico



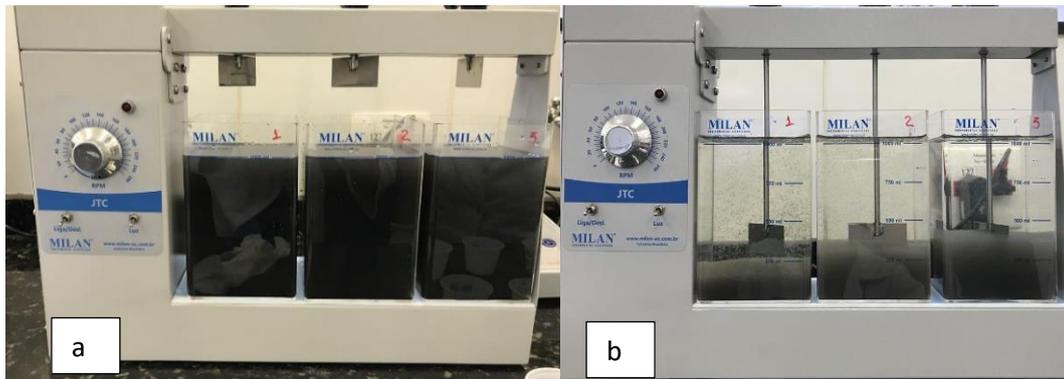
Fonte: Autor, 2018.

Figura 18: Ensaio de Jarteste com a água residuária coletada na usina em estudo antes (a) e após (b) o tratamento com o uso de polímero aniônico A



Fonte: Autor, 2018.

Figura 19: Ensaio de Jarreste com a água residuária coletada na usina antes (a) e após (b) o tratamento com o uso de policloreto de alumínio



Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 11 são mostrados os resultados obtidos com os ensaios de Jarreste utilizando-se o polímero catiônico para tratamento físico-químico da água residuária.

Tabela 11: Resultados dos ensaios de Jarrestes realizados em água residuária coletada na usina utilizando polímero catiônico

Jarro	NaOH 1N (mL)	Polímero catiônico (mL)	pH	Turbidez (NTU)
1	20	1,4	7,31	112
2	25	1,4	10,32	10,2
3	30	1,4	11,16	2,19
1	25	1,4	11,33	4,89
2	27,5	1,4	11,41	3,05
3	30	1,4	11,51	4,24
1	12	1,2	10,67	22
2	15	1,2	10,86	8,23
3	20	1,2	11,34	3,25
1	20	1,2	11,29	2,72
2	25	1,2	11,58	2,12
3	25	1,4	11,57	1,88

Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 11 foi possível observar que foram obtidos pH em torno de 10,67 para turbidez de 22,0 aproximadamente nas amostras após a realização dos ensaios. O uso de polímero catiônico exige para melhor eficiência na clarificação, pHs mais altos, pois a ação desse polímero ocorre quando se tem pH de aproximadamente 10 e isso pode ocasionar um consumo maior de alcalinizante quando comparado ao uso de polímeros aniônicos. É válido

ressaltar que o consumo de alcalinizante utilizado nos ensaios foram altos e essa necessidade de maiores quantidades dosadas encarece o tratamento.

Os resultados para os ensaios de Jarteste realizados com a dosagem de polímero aniônico são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados dos ensaios de Jartestes realizados em água residuária coletada na usina utilizando polímero aniônico

Jarro	NaOH 1N (mL)	Polímero aniônico A concentração de 0,005% (mL)	pH (-)	Turbidez (NTU)
1	15	5	4,32	396
2	20	5	4,33	290
3	25	5	4,33	284
1	10	2	6,5	11,1
2	10	3	7,74	16,6
3	15	5	9,65	7
1	10	1	9,12	25,4
2	15	1	10,3	6,21
3	20	1	11,2	2,45
1	10	1	7,19	49,5
2	15	1	9,75	8,39
3	17	1	10	5,6

Fonte: Autor, 2018.

A melhor dosagem do polímero aniônico em custo benefício para o tratamento da água residuária em ensaio de Jarteste conforme a Tabela 12 foi de 10 mL NaOH e 1 mL de polímero aniônico com concentração de 0,005%. A turbidez da água que é utilizada na usina para a limpeza dos equipamentos da fermentação, destilaria, na água de embebição da moenda, na esteira metálica da moenda, embebição dos filtros à vácuo e enxague das caixas de evaporação do caldo, que são os pontos propostos para reutilização da água residuária é de aproximadamente 50 NTU com pH entre 7 e 10,5, sendo assim a turbidez de 25,4 NTU que foi obtida no ensaio possibilita um melhor custo benefício. Nesse ensaio iniciou com 5,82 e no fim do ensaio estava com pH 9,12. Os testes com polímero aniônico foram realizados e foram obtidos resultados satisfatórios e a vantagem de se utilizar esse polímero é que ele é regularizado para o uso em águas que entram em contato com o alimento, pois ele tem todos os

parâmetros controlados e rastreados pelo sistema de gestão da qualidade da usina e é um polímero já utilizado no tratamento do caldo.

Os resultados para os ensaios de Jarteste realizados com a dosagem de policloreto de alumínio são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados dos ensaios de Jartestes realizados em água residuária coletada na usina utilizando policloreto de alumínio

Jarro	NaOH 1N (mL)	PAC (mL)	pH (-)	Turbidez (NTU)
1	1	3	3,92	91,2
2	3	3	4	57,6
3	5	3	4,09	21,9
1	10	2	4,99	41,2
2	15	2	7,24	2,27
3	20	2	9,1	100
1	12	2	6,88	0,89
2	15	2	7,34	1,97
3	17	2	8,4	1,3
1	12	1	9,44	3,5
2	12	1,5	8,76	2,53
3	12	2	7,01	0,98

Fonte: Autor, 2018.

Foram realizados ensaios de Jartestes na água residuária utilizando também como alcalinizante leite de cal dolomítica. A água residuária utilizada para os testes estavam com pH de 4,31, turbidez de 645 e sólidos suspensos de 569 mg/L. Os resultados são apresentados na Tabela 14 e como pode – se observar a melhor opção foi de 10 mL de cal a 5% com posterior dosagem de 1 mL de polímero aniônico. Os resultados da água tratada foram pH de 10,26, turbidez de 11,1 e sólidos suspensos de 20 mg/L.

Durante os ensaios de Jarteste realizados com o alcalinizante cal dolomítica foi possível observar que a cal tem a mesma eficiência que o NaOH e tem como vantagem ter o custo menor, sendo assim será utilizada como alcalinizante para os demais ensaios.

A água residuária utilizada para os testes na sequência estavam com pH de 4,31, turbidez de 645 e sólidos suspensos de 569 mg/L.

Tabela 14: Resultados obtidos com o Jarteste em água residuária coletada na usina em estudo com tratamento de polímero aniônico A

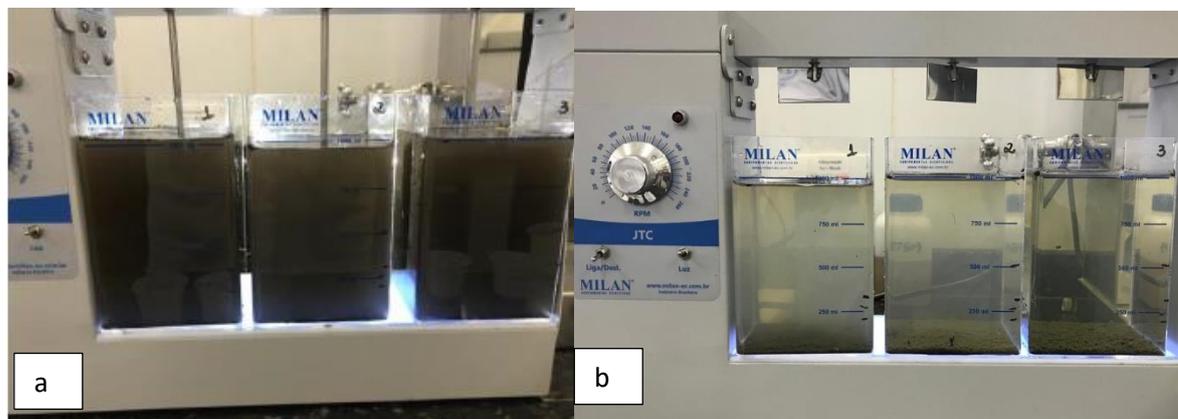
Jarro	Cal a 5% (mL)	Polímero aniônico A concentração de 0,005% (mL)	pH (-)	Turbidez (NTU)	Sólidos suspensos (mg/L)
1	10	1	10,85	12,1	12
2	10	1	10,86	12,2	12
3	10	1	10,85	12,1	12
1	10	1	10,26	11,1	20
2	10	1	10,25	16,6	19
3	20	2	10,86	7,0	15
1	20	1,5	10,67	23,0	52
2	20	1,5	10,78	19,1	47
3	20	1,5	10,77	21,5	48

Fonte: Autor, 2018.

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 14, foi possível observar que a melhor opção de dosagem no tratamento da água residuária utilizando o polímero aniônico A foi de 10 mL de cal a 5% com posterior dosagem de 1 mL de polímero aniônico A. Os resultados da água residuária tratada foram pH de 10,26, turbidez de 11,1 e sólidos suspensos de 20 mg/L.

A amostra de água residuária coletada na usina utilizada para os ensaios de Jarteste a seguir, estava com 5,60 de pH, 530 mg/L de sólidos suspensos e turbidez de 444 NTU. Na Figura 20 são mostradas as condições do efluente antes do tratamento.

Figura 20: Ensaio de Jarteste em água residuária coletada na usina antes (a) e após (b) o tratamento utilizando o polímero aniônico A.



Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 15 são apresentados os resultados obtidos com o teste utilizando o polímero B e o coagulante B.

Tabela 15: Jarteste realizado em água residuária coletada na usina em estudo utilizando o polímero aniônico B e o coagulante B a 0,05%

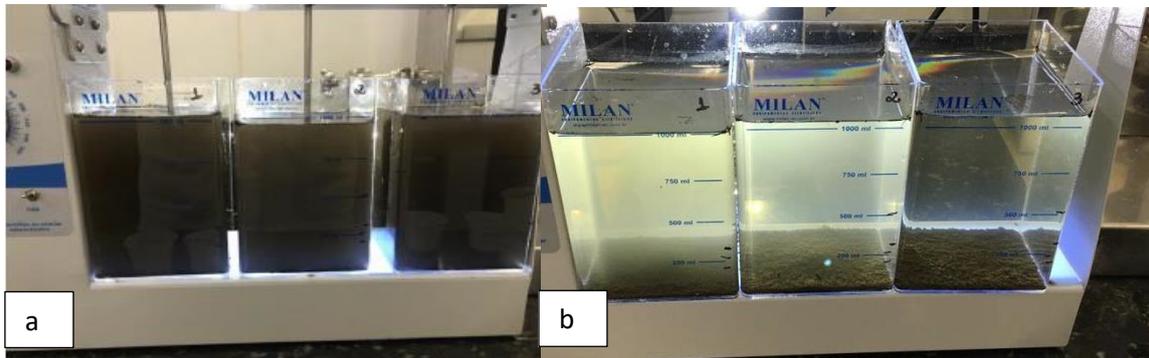
Jarro	Cal a 5% (mL)	Polímero aniônico B concentração 0,1% (mL)	Coagulante B 0,05% (mL)	pH final	Sólidos Suspensos (mg/L)	Turbidez (NTU)
1	10	1	-	6,61	146	111
2	10	1	-	7,71	147	103
3	10	1	40	6,74	95	48,6
1	10	0,25	-	9,5	53	23,1
2	10	0,25	-	9,92	32	25,2
3	10	0,25	40	9,58	19	7,07
1	10	0,5	-	9,73	45	34
2	10	0,5	-	9,58	36	36
3	10	0,5	40	9,9	5	5

Fonte: Autor, 2018.

Os resultados obtidos na dosagem com melhor performance utilizando-se o polímero aniônico B e coagulante B para o tratamento físico-químico na água residuária, conforme foi mostrado na Tabela 15, foi de 0,25 mL de polímero aniônico B e 40 mL de coagulante B, onde foi obtido uma turbidez de 7,07 NTU, sólidos suspensos de 19 mg/L e pH de 9,58. Foram feitos vários ensaios de Jarteste com a dosagem apenas do polímero aniônico B, porém para se obter um bom resultado foi preciso realizar dosagens de polímero aniônico B conjugado à dosagem do coagulante B, pois somente com a dosagem utilizando-se o polímero aniônico B os resultados não foram satisfatórios.

Na Figura 21 são apresentados os resultados do Jarteste utilizando o polímero aniônico B.

Figura 21: Ensaio de Jarteste em água residuária coletada na usina em estudo antes (a) e após (b) o tratamento utilizando o polímero aniônico B a 0,1% e o coagulante B.



Fonte: Autor, 2018.

Para os próximos ensaios que foram realizados para testar as dosagens dos demais produtos, foi realizada uma nova coleta de água residuária. A amostra coletada estava com 4,31 de pH, 569 mg/L de sólidos suspensos e turbidez de 645 NTU. Na Figura 22 são mostradas as condições do efluente antes do tratamento. Como pode ser observado nas Figuras 21 e 22 há variação da água residuária coletada nos parâmetros de pH (5,60 e 4,31 respectivamente), e turbidez (444 e 645 NTU respectivamente) e uma variação maior ainda na amostra coletada apresentada na Figura 16, que possuía um pH de 4,89 e turbidez de 2.313 NTU. Esses resultados confirmam a variação da carga orgânica presente durante o período da amostragem da água residuária na safra de 2017.

Figura 22: Água residuária coletada na usina em estudo antes do tratamento



Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 16 são apresentados os resultados dos ensaios de Jarteste realizado na água residuária coletada na usina em estudo, como pode ser observado nesse ensaio a água residuária teve um consumo um pouco maior para o tratamento tendo um consumo de 0,5 mL de polímero

aniônico B e 40 ml de coagulante B. Foram realizados mais ensaios e a informação do consumo de 0,5 mL de polímero aniônico B foi confirmada.

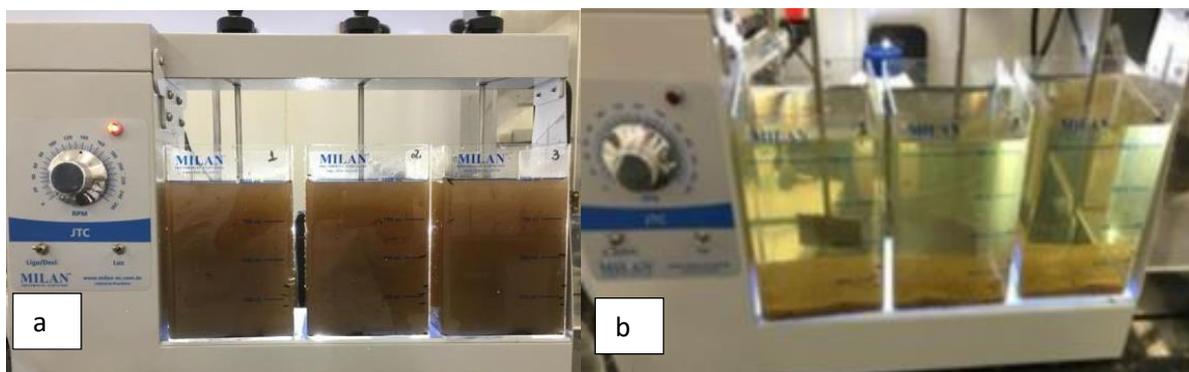
Tabela 16: Jarteste realizado em água residuária coletada na usina em estudo utilizando o polímero aniônico B a 0,1% e o coagulante B 0,05%

Jarro	Cal a 5% (mL)	Polímero aniônico B concentração 0,1% (mL)	Coagulante B 0,05% (mL)	pH final	Sólidos Suspensos (mg/L)	Turbidez (NTU)
1	10	0,25	-	8,63	-	-
2	10	0,25	-	8,85	-	-
3	10	0,25	40	8,66	52	18,8
1	10	0,5	-	10,93	22	9,7
2	10	0,5	-	10,91	26	11
3	10	0,5	60	10,79	12	8,9
1	10	0,5	70	10,81	20	11,6
2	10	0,75	-	10,79	19	11,7
3	10	0,5	60	10,89	15	9,28
4	10	0,5	40	10,83	22	9,1
5	10	0,5	40	10,99	24	9
6	10	0,5	40	10,99	26	10,3

Fonte: Autor, 2018.

Na Figura 23 é apresentada a água residuária antes e após o tratamento com o polímero aniônico B e coagulante B.

Figura 23: Ensaio de Jarteste em água residuária coletada na usina em estudo antes (a) e após (b) o tratamento utilizando o polímero aniônico B a 0,1% e o coagulante B



Fonte: Autor, 2018.

Após a realização de bateladas de ensaios de Jarteste e obter os resultados apresentados nas Tabelas 14 a 16, foi feita uma amostragem da água residuária antes e após os tratamentos físico-químicos, em seguida foi feito o envio das amostras para o laboratório de Recursos

Hídricos da UNAERP para a realização das análises cujos resultados são apresentados na Tabela 17.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 17 foi possível verificar que o teor de óleos e graxas ou substâncias solúveis em n-hexano, o teor de cobre e chumbo são baixos e que quando a água residuária for agregada às águas de vapores condensados que atualmente é agregada à água para o uso na embebição na moenda, na esteira metálica da moenda, nos filtros a vácuo, na limpeza das caixas de evaporação do caldo e de demais equipamentos na usina em estudo, os valores podem ficar até menores que o exigido na Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017 que é de 2 mg/L de cobre e 0,01 mg/L de chumbo.

A portaria de Consolidação Nº 05 é para a Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade e é válido ressaltar que o uso da água na usina em estudo nos pontos propostos é para fins industriais, pois não entra em contato diretamente com o produto final, porém mesmo assim os resultados podem atender a legislação de potabilidade da água.

Tabela 17: Resultados das amostras de água residuária coletadas na usina em estudo e amostras da água residuária tratada com os produtos testados

Parâmetros analisados	Unidade	Água bruta	Água utilizada na embebição na moenda, nos filtros e na limpeza das caixas	Água tratada com polímero aniônico B e coagulante B	Água tratada polímero aniônico A
pH	Adimensional	4,3	6,9	10,82	10,58
Resíduos sedimentáveis	mL/L.h	4	<0,1	<0,1	<0,1
DQO	mg/LO <sub>2</sub>	16.933	139	12.175	15.466
DBO <sub>5dias,20°C</sub>	mg/LO <sub>2</sub>	10.000	67	8.516	9.850
DQO / DBO	-	1,69	2,07	1,43	1,57
OD	mg/LO <sub>2</sub>	1,8	0,8	1	2,2
COT	mg/L C	4.152	154	3.717	3.973
NTK	mg/L N-NH <sub>3</sub>	15	2,87	6,59	7,28
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N-NH <sub>3</sub>	1,04	0,1	2,45	1,56
Fósforo total	mg/L P	1,3	0,4	0,2	0,2
Óleos e Graxas ou Substâncias solúveis em N-hexano	mg/L	157	<10	61	60
Chumbo	mg/L Pb	0,017	<0,001	0,023	0,028
Cobre	mg/L Cu	1,09	0,37	0,01	0,01

Obs.: (1) Foi utilizado no tratamento 10 mL de CaO a 5%.

Fonte: Autor, 2018.

Para a seleção da tecnologia foi levado em consideração a variação da vazão do efluente em estudo no decorrer do dia, portanto antes do tratamento, para eliminar picos de vazão na unidade de tratamento deve haver um reservatório para equalização do efluente com uma bomba submersa de sucção para enviar o efluente com vazão constante.

Um tratamento preliminar de gradeamento fino é necessário para a remoção de eventuais sólidos que possam surgir, logo após este deve vir a caixa de areia para eliminar a sedimentação de sólidos nos decantadores primários e em reatores. Devido ao acentuado teor de sólidos suspensos se faz necessário uma etapa de mistura rápida, floculação e coagulação para o tratamento químico, logo após um tanque de decantação primária deve ser inserido. Para o tratamento da água residuária será proposto dois tipos de tratamentos, sendo um tratamento físico químico com coagulação, floculação e sedimentação apenas e outro que envolve o tratamento físico químico e o tratamento biológico. Para a utilização da água residuária tratada na embebição da cana na moenda, o qual foi o ponto de reutilização escolhido pela usina, somente o tratamento físico químico é suficiente, pois não é preciso remover a matéria orgânica. No entanto para se utilizar a água nos demais pontos propostos se faz necessário, além do tratamento físico químico, o tratamento biológico para a remoção da matéria orgânica.

O tratamento do efluente em estudo para reutilização nos demais pontos citados no item 4.4 deve ser levado em consideração a alta concentração de DQO e DBO para a utilização nos pontos em que não pode haver concentrações altas de matéria orgânica, para isso foi estabelecido de acordo com as várias tecnologias selecionadas que a melhor opção é um tratamento físico-químico com mistura rápida, coagulação, floculação e decantação, seguido de um tratamento biológico anaeróbio UASB e de um tratamento biológico aeróbio de lodo ativado.

O tratamento físico-químico irá remover os sólidos suspensos e a DQO não degradável. O tratamento biológico UASB removerá parte da matéria orgânica e posteriormente o tratamento de lodo ativado como apresentado na Quadro 2 que possui eficiência de remoção de carga orgânica entre 85 e 95% finalizará o tratamento biológico. A sua alta eficiência permite boa remoção da carga orgânica e é requerida uma menor área para sua construção, como ponto de desvantagem tem-se a alta demanda energética para sua operação devido à exigência de aeração, porém com a associação ao tratamento anaeróbico no UASB o tamanho do reator de lodo ativado será reduzido. Além de que no período de entressafra (período que não há produção na usina) há geração reduzida de efluente industriais. E finalmente com ambos os tratamentos o efluente estará apto para a reutilização no processo de produção industrial, inclusive para usos mais restritos onde não possa haver altas concentrações de matéria orgânica.

#### 5.4 PROPOSIÇÃO DE PONTOS DE REÚSO DENTRO DA INDÚSTRIA

A importância de se ter um tratamento para a água residuária gerada dentro da usina é que pode - se reduzir a captação de água fazendo o reuso da água tratada em diversos setores. Para se propor os pontos de reutilização da água residuária na usina em estudo foi realizado um diagnóstico para a verificação dos principais pontos na usina que utiliza água e que após um tratamento adequado se possa fazer a reutilização da água residuária.

É evidente que para cada processo é exigida uma qualidade específica de água, como por exemplo para a utilização de água nas caldeiras de alta e baixa pressão para a produção de vapor superaquecido é necessário uma água tratada em estações de tratamento de água convencional e em seguida desmineralizada, em contrapartida para o uso de água na lavagem de gases nas chaminés das caldeiras de alta e baixa (Figura 24) pressão se faz necessário um água com qualidade inferior, ou seja uma água que possa conter sais. Sendo assim no diagnóstico realizado para a averiguação dos principais pontos de reutilização de água residuária tratada foi verificada a qualidade mínima necessária exigida para o seu reuso em cada processo dentro da usina em estudo.

Figura 24: Chaminé da caldeira da usina com sistema de lavador de gases



Fonte: Autor, 2018

A seguir são apresentados os principais pontos de reuso que foram verificados na usina em estudo.

- No resfriamento ou aquecimento de caldo e demais materiais nos trocadores de calor do tipo casco tubos e a placas conforme Figura 25, e em outros equipamentos como no sistema de resfriamento do óleo nas turbinas, resfriamento do óleo das turbinas e turbo geradores, no resfriamento do óleo dos mancais, no resfriamento do óleo dos casquilhos de bronze da moenda e na condensação do vapor de escape na geração de energia. Esses equipamentos usam a água das torres de resfriamento em circuito fechado (Figura 26) diminuindo assim drasticamente o consumo de água, no entanto nos sistemas da torre de resfriamento há uma perda significativa de água por evaporação, sendo assim se faz necessária sua reposição continuamente. A água utilizada para a reposição nas torres de resfriamento deve ser tratada para minimizar incrustações, processos de corrosão dos equipamentos e para controlar o desenvolvimento microbiológico.

Figura 25: Trocadores de calor da usina



Fonte: Autor, 2018.

- Na retrolavagem dos filtros de areia e na limpeza das resinas aniônicas e catiônicas da estação de tratamento de água para o uso nas caldeiras.

- Na adição aos caldos, na centrifugação do açúcar na fábrica de açúcar, no diluidor de açúcar no armazém de açúcar, porém para esses usos se faz necessário a utilização de água potável.

Figura 26: Torres de resfriamento de água dos trocadores de calor



Fonte: Autor, 2018.

- Na limpeza dos pisos e superfícies da destilaria, da fermentação, do tratamento de caldo, dos armazéns de açúcar, da fábrica de açúcar, dos asfaltos de dentro e fora da usina e da indústria como um todo;

- Na limpeza dos equipamentos da fermentação como as centrífugas de fermento (Figura 27), dornas, cubas e tubulações bem como na destilaria (Figura 28);

Figura 27: Limpeza das centrífugas de fermento da usina



Fonte: Autor, 2018.

- Na lavagem de CO<sub>2</sub> na coluna de saída de gases gerados no processo de fermentação alcoólica realizado nas dornas de fermentação, no preparo do mosto (matéria-prima para a alimentação da fermentação alcóolica) e no preparo do fermento para o pé de cuba. A qualidade desta água deve ser no mínimo livre de microrganismos contaminantes e ter teores baixos de sólidos suspensos.

Figura 28: Destilaria de etanol da usina



Fonte: Autor, 2018.

- Na embebição da cana na moenda (Figura 29) a água consumida nos últimos 5 anos, foi em média de 0,267 m<sup>3</sup> por tonelada de cana na usina em estudo e este ponto também pode ser reutilizada a água residuária tratada. Além da embebição da cana-de-açúcar na moenda, essa mesma água é utilizada na esteira metálica (Figura 29), embebição nos filtros prensa de lodo à vácuo, na destilaria para limpeza de equipamentos e na lavagem das caixas de evaporação do caldo. A água utilizada para esses fins deve ser isenta ou ter níveis baixos de sólidos suspensos como o bagacilho e outras impurezas. Foi verificado na usina que a água disponível para esses usos é a água das torres de resfriamento da destilaria misturada com água condensada, que possui pH de 7,78, turbidez de 49,7 NTU e sólidos suspensos de 61 mg/L. A quantidade de DBO e DQO não é mensurada atualmente, pois a carga orgânica não interfere na embebição.

Figura 29: Embebição da cana na moenda



Fonte: Autor, 2018.

- Nos sistemas de lavagem dos gases das caldeiras (Figura 30), onde há o consumo ininterrupto de água para a lavagem dos gases gerados pelas caldeiras. Neste ponto a exigência da qualidade da água é bem menor, sendo necessário a remoção parcial de sólidos.

Figura 30: Sistema de lavagem de gás da caldeira



Fonte: Autor, 2018.

- Para o preparo de leite da cal (Figura 30) e polímeros e lavagem da torta também são locais onde é de suma importância se reutilizar a água, pois são sistemas que exigem o uso contínuo de água na usina que funciona 24 horas por dia durante o período de safra.

- Nas caldeiras (Figura 31) de alta ou baixa pressão que requerem água de melhor qualidade para a geração de vapor com o objetivo de preservação dos equipamentos do sistema. O objetivo das caldeiras na usina é a geração de vapor para a sua conversão em energia elétrica nos geradores e para isso há o uso de água no sistema. Este ponto em específico de uso de água tem exigências maiores que os demais, pois a água deve ser desmineralizada com a finalidade de evitar incrustações devido às altas temperaturas nas fornalhas que aquecem as tubulações de água.

Figura 31: Caldeira de bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: Autor, 2018.

- Para o preparo de leite da cal (Figura 32) e polímeros e lavagem da torta também são locais onde é de suma importância se reutilizar a água, pois são sistemas que exigem o uso contínuo de água na usina que funciona 24 horas por dia durante o período de safra.

Figura 32: Preparo de leite de cal e coluna de sulfitação



Fonte: Autor, 2018.

- Na lavagem de tela dos filtros prensa à vácuo de lodo (Figura 31);

Figura 33: Vista superior do filtro prensa à vácuo de lodo



Fonte: Autor, 2018.

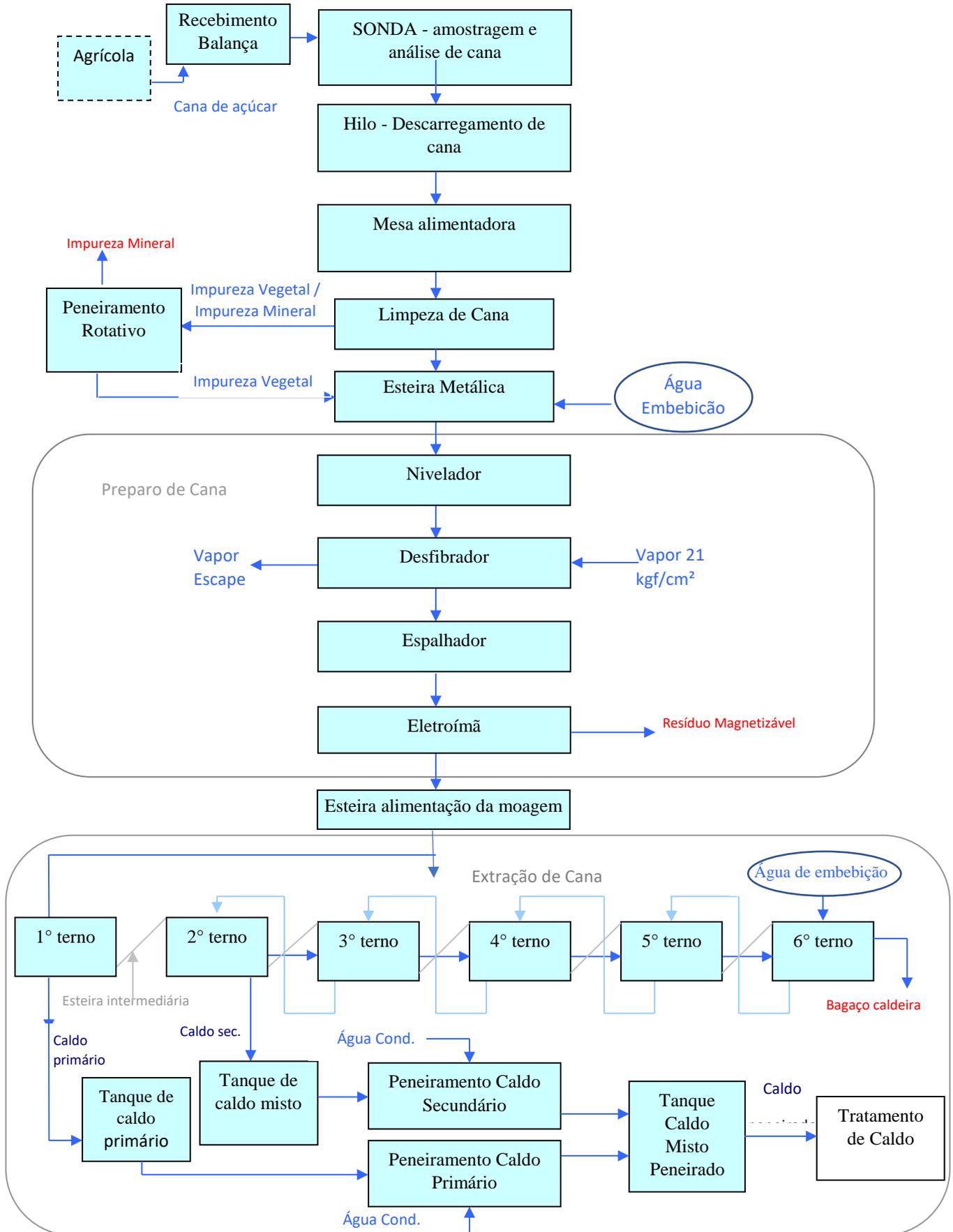
A partir do diagnóstico realizado dos principais possíveis pontos de reuso de água residuária, os pontos de reutilização na usina em estudo que mais se adequaram as necessidades da empresa foi na embebição da cana-de-açúcar na moenda e na esteira metálica da moenda conforme pode ser verificado na Figura 34, na embebição nos filtros prensa de lodo à vácuo, na

destilaria para limpeza de equipamentos e na lavagem das caixas de evaporação do caldo, onde a qualidade da água exigida apresentam características análogas, sendo assim o tratamento físico - químico para remoção de sólidos suspensos realizados nos ensaios de Jarreste apresentaram resultados para turbidez, pH e sólidos suspensos suficientes para a reutilização da água residuária nesses pontos, pois apresentou a qualidade compatível com a atual água que é utilizada atualmente na usina.

Conforme a caracterização da água residuária antes e após o tratamento físico – químico realizado nos ensaios de Jarreste apresentada na Tabela 17 não há contaminantes químicos que possam oferecer risco ao processo, pois a água residuária gerada é composta de material orgânico proveniente da limpeza e purga dos equipamentos. Conforme é apresentado na Tabela 18 pode ser verificado que o volume necessário para a embebição da cana – de-açúcar - moenda é maior que o volume gerado na água residuária (Tabela 19), diante deste cenário 100% da água gerada na usina em estudo e tratada será reutilizada na moenda, porém caso seja sobre ou seja necessário o uso na embebição nos filtros prensa de lodo à vácuo, na destilaria para limpeza e na lavagem das caixas de evaporação do caldo, também poderá ser utilizada.

A reutilização da água residuária tratada possibilitara a redução volume de água superficial captada pela usina em estudo, diante do atual cenário que se encontra com a cobrança do valor de R\$0,01/m<sup>3</sup> de água captada o maior benefício é para o meio ambiente e demais usos do corpo hídrico. Caso seja necessário aumentar a capacidade de produção que está diretamente relacionada com o aumento do consumo de água utilizada no processo de fabricação, o propósito do presente trabalho desenvolvido, o qual visou também a redução de custos, porém principalmente o desenvolvimento de tecnologia que possibilite manter a sustentabilidade e o meio ambiente reduzindo assim o volume de captação de água superficial ou ainda evitar o aumento de sua captação. A estratégia foi tratar a água residuária para reuso dentro da usina já pensando na possibilidade de futuras ampliações e também na escassez desse recurso tão precioso para a humanidade.

Figura 34: Uso da água na embebição da moenda e na esteira metálica



Fonte: Autor, 2018.

Tabela 18: Volume de água utilizada no processo de embebição da cana na moenda da usina em estudo entre os anos de 2014 a 2018

Data	2014	2015	2016	2017	2018
	Volume água de embebição (m <sup>3</sup> )				
9 - 30/04	15.587	625	40.936	20.497	57.065
1 - 31/05	101.925	67.095	51.232	75.476	102.477
1 - 30/06	98.591	85.668	44.504	102.490	112.045
1 - 31/07	93.463	101.740	78.155	107.884	108.210
1 - 31/08	107.189	120.511	74.180	106.964	105.291
1 - 30/09	95.677	85.087	126.900	113.055	95.800
1 - 31/10	82.639	92.455	89.136	88.284	48.253
1 - 30/11	0	30.579	26.269	51.116	-
<b>Acumulado</b>	<b>595.071</b>	<b>583.760</b>	<b>531.312</b>	<b>665.766</b>	<b>629.141</b>

Fonte: Autor, 2018.

Conforme pode ser verificado na Tabela 19, o volume de água residuária gerada reduziu de 633.126 m<sup>3</sup> na safra de 2017 para 500.021 m<sup>3</sup> na safra de 2018, representado 133.105 m<sup>3</sup> de água residuária gerada a menos.

Tabela 19: Volume de água residuária gerado na usina em estudo nos anos de 2017 e 2018

Data	2017	2018
	Volume água residual (m <sup>3</sup> )	Volume água residual (m <sup>3</sup> )
Maio	78.814	93.835
Junho	118.593	89.702
Julho	120.326	103.919
Agosto	80.451	93.733
Setembro	78.925	75.102
Outubro	80.599	73.629
Novembro	67.059	-
Dezembro (1)	8.359	-
<b>Acumulado</b>	<b>633.126</b>	<b>500.021</b>

(1) – No mês de dezembro de 2017 foram apenas 15 dias de uso, porém houve apenas cogeração, pois, a safra havia terminado.

Fonte: Autor (2018).

Os parâmetros atuais na usina em estudo para a água utilizada para embebição da cana - de – açúcar, na esteira metálica da moenda, na embebição nos filtros prensa de lodo à vácuo, na destilaria para limpeza e na lavagem das caixas de evaporação do caldo na usina em estudo são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20: Parâmetros apresentados na água utilizada para embebição da cana - de – açúcar na moenda, na esteira metálica da moenda, na embebição nos filtros prensa de lodo à vácuo, na destilaria para limpeza e na lavagem das caixas de evaporação do caldo na usina

<b>Água de embebição da moenda</b>	<b>Resultados</b>
pH	7,78
Sólidos Suspensos (mg/L)	61
Turbidez (NTU)	49,7

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 21: Resultados obtidos para os ensaios de Jarreste na água residuária da usina

<b>Produto químico utilizado</b>	<b>Turbidez</b>	<b>pH</b>	<b>Sólidos suspensos (mg/L)</b>
NaOH Polímero aniônico A	25,4	9,12	-
Cal Polímero aniônico A	11,1	10,26	20
Cal Polímero aniônico B e coagulante B	7,07	9,58	19
Cal Polímero aniônico B e coagulante B	9,1	10,83	22

Fonte: Autor, 2018.

Como pode ser observado na Tabela 20, os valores para sólidos suspensos de 61,0 mg/L e turbidez de 49,7 NTU encontrados na água utilizada na usina para os processos

propostos são maiores que os resultados encontrados na água residuária tratada nos ensaios de Jarteste com os polímeros aniônicos A e B, ou seja, o maior valor obtido de sólidos suspensos e de turbidez conforme foi mostrado na Tabela 21, foram de 22 mg/L e 25,4 mg/L respectivamente. Em relação ao pH alcalino encontrado na água após o tratamento foi positivo, pois pHs ácidos causam corrosão nos equipamentos. Esses resultados apresentados reafirmaram que a água residuária tratada nos ensaios de Jarteste atendem os atuais parâmetros utilizados para a água nos locais propostos para reuso na usina.

## 5.5 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Os produtos que apresentaram maior eficiência no tratamento físico-químico foram os polímeros aniônicos A e B e o coagulante B. Ambos os tratamentos necessitam da dosagem de cal para se obter o pH ideal para a ação dos polímeros. Foram testados o hidróxido de sódio e a cal, porém devido a ambos apresentarem nos testes a mesma eficiência, foi selecionada a cal para se utilizar no tratamento devido ao custo menor da cal quando comparada com o hidróxido de sódio.

É válido ressaltar que para os ensaios onde foi utilizado o polímero aniônico B para se ter eficiência no tratamento foi necessário utilizar o mesmo associado a dosagem do coagulante B.

De acordo com a Tabela 22, onde são apresentados os dados dos custos com insumos por m<sup>3</sup> de água residuária tratada, pode ser observado que o polímero aniônico A possui o menor custo benefício para o tratamento quando comparado com o polímero aniônico B, pois para se obter a mesma eficiência de tratamento do polímero aniônico A, é necessário utilizar o polímero aniônico B e o coagulante B o que tornou o custo maior.

Não foram feitos os cálculos de consumos com os demais produtos químicos utilizados, o policloreto de alumínio e o polímero catiônico, pois a quantidade do alcalinizante utilizada nos ensaios de Jarteste foram maiores quando comparado ao consumo de alcalinizante para os ensaios de Jarteste utilizando os polímeros aniônicos A e B e coagulante B. O alcalinizante foi que causou maior impacto no custo do tratamento físico-químico, portanto quanto menor o consumo de alcalinizante menor será o custo do tratamento.

Tabela 22: Comparativo de custos com produtos químicos para o tratamento de água residuária na usina em estudo

Insumo	Custo com insumos em R\$/m <sup>3</sup> de água residuária tratada	*Custo com insumos em U\$/m <sup>3</sup> de água residuária tratada	Custo com insumos em R\$/mês de água residuária tratada com vazão média de 124,7m <sup>3</sup> /h	*Custo com insumos em U\$/mês de água residuária tratada com vazão média de 124,7m <sup>3</sup> /h <sup>2</sup>
Cal	1,125	0,288	101.007,0	25.833,0
Polímero aniônico A	0,01	0,003	712,0	182,1
Polímero aniônico B + coagulante B	0,1	0,026	7.936,6	2.029,8
Polímero aniônico A + cal	1,135	0,291	101.719,0	26.015,1
Polímero aniônico B + coagulante B	1,235	0,317	108.943,6	27.862,8

\*Cotação do dólar em 18 de dezembro de 2018.

Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 22 foram mostrados os gastos mensais com os insumos para o tratamento da água residuária da usina em estudo, como pode ser observado o custo menor para o tratamento foi com o polímero aniônico A.

O polímero aniônico A é já utilizado pela usina em estudo para o tratamento do caldo, logo é um produto químico comprado durante todo o período de safra. Foi verificado que ele é comprado na forma sólida em pó e é diluído no tanque de diluição de polímero da usina em estudo para a concentração de 0,05%, fato esse que possui vantagem, pois não será necessário a empresa adquirir novos equipamentos para a diluição de polímero. Outra vantagem importante que foi verificada na usina foi que o polímero aniônico já foi aprovado para o uso em águas que entram em contato com o alimento, sendo assim não terá impactos caso seja adotado pela empresa na gestão da segurança do alimento apresentada no Manual do APPCC (Análises de perigos e pontos críticos de controle) da usina.

Na Tabela 23 está apresentado um comparativo do consumo específico em kg/m<sup>3</sup> de produtos químicos, bem como os consumo mensal.

Tabela 23: Comparativo de quantidades específicas e mensais com produtos químicos para o tratamento de água residuária na usina

<b>Insumo</b>	<b>Consumo de insumos em kg/m<sup>3</sup> de água residuária tratada</b>	<b>Consumo de insumos em kg por mês com vazão média de 124,7m<sup>3</sup>/h de água residuária</b>
Cal	0,50	44.892,0
Polímero aniônico A	0,0005	44,9
Polímero aniônico B + coagulante B	0,0468	3.746,4
Polímero aniônico A + cal	0,51	44.936,9
Polímero aniônico B + coagulante B + cal	0,546	48.638,4

Fonte: Autor, 2018.

Como pode ser visto na Tabela 23 o insumo utilizado em maiores quantidades no tratamento foi o alcalinizante, pois para se obter a eficiência requerida foi necessário ter pH entre 9 e 10, em razão, dessa ser a faixa de pH ótima para a ação dos polímeros utilizados.

## 6. CONCLUSÕES

A água residuária gerada na usina de açúcar e álcool em estudo possui uma vazão média de 124,7 m<sup>3</sup>/h e é agregada junto à vinhaça para sua disposição final, conforme a normativa de lançamento de vinhaça no solo conforme a Norma CETESB P 4.231.

A amostragem realizada durante a safra 17/18 e 18/19 permitiu conhecer o efluente nas diversas etapas da safra, início, meio e fim, o que possibilitou entender o comportamento e a variação da carga orgânica no decorrer do tempo amostrado.

Foi possível observar que agregada a água residuária que é gerada em todos os setores da usina, durante o dia em horários variados também há o descarte esporádico de água de alguns sistemas em circuito fechado como: água de cinzas dos lavadores de gases das caldeiras que e descarte de lodo dos decantadores de água da estação de tratamento da água.

Os resultados da caracterização físico-química da água residuária da usina de açúcar e álcool em estudo indicaram um teor elevado de matéria orgânica. A relação DQO solúvel / DQO de 75% representou que 75% da DQO estava sob a forma dissolvida e 25% estava na forma suspensa. A DBO de 1.460 mg.L<sup>-1</sup> quando comparada a 2.306 mg.L<sup>-1</sup> de DQO solúvel representou a relação DBO / DQO solúvel de 63% e com isso foi possível concluir que o material que estava dissolvido era 63% biodegradável, sendo assim fica evidente que um tratamento físico químico é essencial para remover os sólidos suspensos e parte da DQO e que o tratamento biológico é a melhor opção para a remoção da matéria orgânica.

A partir do presente estudo foi possível concluir que a atual demanda de utilização de água para a fabricação dos produtos pode ser drasticamente reduzida se houver um tratamento que possa conferir a qualidade necessária para o reuso no processo.

O possível ponto para reutilização da água residuária de acordo com o diagnóstico realizado na usina em estudo é na embebição da cana-de-açúcar na moenda, na esteira metálica da moenda, embebição nos filtros à vácuo e enxague das caixas de evaporação do caldo, onde apenas o tratamento físico-químico atende as exigências da qualidade da água requerida.

Com o estudo apresentado foi possível concluir que há duas opções de tratamento da água residuária, sendo um tratamento físico químico apenas ou tratamento um físico químico seguido por um tratamento biológico e a escolha pelo tratamento mais adequado depende do ponto onde será feito o reuso.

A melhor tecnologia de tratamento para a remoção da carga orgânica é um sistema de tratamento anaeróbico UASB seguido de um tratamento biológico aeróbico de lodo ativado. O tratamento anaeróbico do tipo UASB, além de remover a carga orgânica, promove uma menor

geração de lodo e minimiza o uso de energia que será necessária para o tratamento aeróbio no reator de lodo ativado.

O insumo mais viável em relação a custo benefício foi o polímero aniônico A com a cal dolomítica como alcalinizante, devido ao polímero aniônico B ter a necessidade de ser dosado em conjunto com o coagulante B, porém sugere-se que outros produtos químicos sejam testados para que o tratamento se torne viável e que sejam realizados ensaios de bancada para se avaliar a eficiência dos tratamentos biológicos após o tratamento físico-químico.

## REFERÊNCIAS

- AHMARUZZAMAN, M.. Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater laden with heavy metals. *Advances in colloid and interface science*. 166, 36-59, 2011.
- AMARAL, M. C. S.; ANDRADE L. H.; LANGE, L. C.; BORGES C. P.. Avaliação da biotratabilidade do efluente de branqueamento de polpa celulósica por processos aeróbicos e anaeróbios. *Engenharia Sanitária Ambiental*. 18, 253-262, 2013.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WPCF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th edition. Washington DC, 2005. 937 p.
- AMORIM, H. V.. *Fermentação alcoólica*. Pancrom. 1º edição, 448p, Piracicaba-SP, 2005.
- ANA AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR; CENTRO DE TECNOLOGIA CANAIEIRA. *Manual de Conservação de Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética*. Brasília: ANA, 2009.
- ANGENENT, L. T.; KARIM K.; AL-DAHMAN, M. H.; WRENN, B. A; DOMIGUEZ-ESPINOSA, R... Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater. *Trends in Biotechnology*. 22, 477-485, 2004.
- ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA M. A.; DURÁN, N.. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. *Química Nova*. 27, 818-824, 2004.
- ALMEIDA, J. C. A.. indústria sucroalcooleira-energética e os recursos hídricos: rio Santo Antônio Grande, Alagoas. Maceió, 2009. Originalmente apresentada como dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 2009. Disponível em: <  
<http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs/sites/default/files/dissertacaojoceline.pdf> >. Acesso em: 01 de set. de 2013
- Aplicação de vinhaça na ferti-irrigação nos canaviais. Disponível em:  
<http://www.uagro.com.br/editorias/agroindustria/sucroenergetica/2012/09/04/vinhaca-para-producao-de-algas-com-co2-tem-alto-potencial.html>. Acesso em 25. Jan. 2018.
- BATISTA, R. O.; SARTORI, M. A.; SOARES, A. A.; MOURA F. N., PAIVA M. R. F. C.. Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros operando com esgoto doméstico *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 6, núm. 3, 2011, pp. 152-164 Universidade de Taubaté, Taubaté-SP, Brasil.
- BOLDRIN, V. P.; BARBIERI, J. C. ; BOLDRIN, M. S. T. . *Gestão Ambiental e Economia Sustentável: Um Estudo de Caso da Destilaria Pioneiros S/A. Futura Mente (Faculdades Integradas Urubupungá)*, V.2, p. 48-56, 2004.

BOMFIM, A. P. S.. Avaliação dos coagulantes tanfloc em comparação aos coagulantes inorgânicos a base de alumínio no tratamento de água. - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, p. 192, 2015.

CIAAGRO Centro integrado de informações agrometeorológicas Universo agro. Disponível em: < <http://www.uagro.com.br/editorias/agroindustria/sucroenergetica/2012/09/04/vinhaca-para-producao-de-algas-com-co2-tem-alto-potencial.html>>. Acesso em 20. Fev. 2018.

DAEE Departamento de água e energia elétrica. Disponível em: [http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=67%3Acobranca&catid=40%3Acobranca&Itemid=30](http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=67%3Acobranca&catid=40%3Acobranca&Itemid=30). Acesso em: 04. Out. 2017.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P.. Seleção de tecnologia de tratamento de água. 1º edição, 878 p. Editora LDIBE LTDA, 2008.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2º edição, 792 p. Editora RIMA, 2005.

ELIA NETO, A. Gestão dos Recursos Hídricos na Agroindústria Canavieira – Única (2009). Disponível em: < [www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=12610505](http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=12610505) >. Acesso em: 05, Nov. 2017.

ENSINAS, A.V.. Integração térmica e otimização termoeconômica aplicadas ao processo industrial de produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ETANOL VERDE. Relatório Preliminar Safra 2016/2017. Disponível em: < [http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/2017/06/etanol-verde-relatorio-preliminar-safra-16\\_17-site.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/2017/06/etanol-verde-relatorio-preliminar-safra-16_17-site.pdf) >. Acesso em: 05, Nov. 2017.

ETANOL VERDE. Zoneamento agroambiental no Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www2.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/zoneamento-agroambiental/>. Acesso em: 20. Ago. 2018.

ESPAÑA-GAMBOA, E. E.; MIJANGOS-CORTÉS, J. O.; HERNÁNDEZ-ZÁRAT, G.; MALDONADO, J. A. D.; ALZATE-GAVIRIA, L. M.. Methane production by treating vinasses from hydrous ethanol using a modified UASB reactor. *Biotechnology for Biofuels*. 5, 3-9, 2012.

GLEICK, P. H. The world's water. 2000. Report on Freshwater Resources. Island Press, 2000. 315p.

GOMES, M. T. M. S.; EÇA, K. S.; VIOTTO, L. A.. Concentração de vinhaça por microfiltração seguida de nanofiltração com membranas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. V46. 2011.

JORDÃO, E. PESSÔA, C. A.. Tratamento de esgotos domésticos. 6º edição, 1050p, Rio de Janeiro-RJ, 2011.

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A.. Tratamento de esgotos domésticos. SEGRAC.4ª edição, 932p, Rio de Janeiro-RJ, 2005.

LIU, A.S.; OLIVEIRA, G.N.; PORTELA, C.I.P; CHO, L.Y. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE RESÍDUO DE ALUMINATO DE SÓDIO COMO COAGULANTE. Revista Univap. V23. 2017.

MARTINELLI, A.; NUVOLARI, A.; TELLES, D. D.; RIBEIRO, J.T.; MIYASHITA, N. J.; RODRIGUÊS, R.B.; ARAUJO, R.. Esgoto sanitário, coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2ª edição. Dgar Blucher Ltda. São Paulo - SP, 2014.  
PIACENTE, F. J.. Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental: o caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 2005. 177f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico, Campinas-SP: UNICAMP, 2005.

METCALF, L.; EDDY, H.; tradução: Hespanhol, I.; Mierzwa, J.C.. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5ª edição. Porto Alegre: AMGH, 2016.

NORMA TÉCNICA P4.231. Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. 3ª Edição. Fevereiro de 2015. 15 páginas. 2ª versão

PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017.

PROJETO BIOTA FAPESP. Disponível em: <http://www.fapesp.br/biota/>. Acesso em: 25. Jan. 2018.

RAMALHO, J. F. G. P.; SOBRINHO, N. M. B. A.. Metais pesados em solos cultivados com cana de açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. Floresta e ambiente. 8, 120-129, 2001.

RESOLUÇÃO SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE SMA 88, de 19 de dezembro de 2008.

RESOLUÇÃO CONAMA CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011

ROSA, A.S; MARTINS, C. P. S.. Produção mais limpa nas fontes geradoras de poluição da indústria de açúcar e álcool. Revinter. 6, 90-125, 2013.

SANTOS, A. R. L.; AQUINO, S. F.; CARVALHO, C. F.; VIEIRA, L. A.; GONTIJO, E. S. J. Caracterização e tratabilidade biológica dos efluentes líquidos gerados em cabines de pintura de uma indústria moveleira. Engenharia Sanitária Ambiental. 15, 357-366, 2010.

SANT'ANNA JR, G. L.. Tratamento biológico de efluentes. 1ª edição, 418p. Interciência. Rio de Janeiro-RJ, 2010.

SÃO PAULO (estado). Decreto n. 8468/76, de 8 de setembro de 1976. Aprova o regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo: 1976.

SEIXAS, F.L.; GIMENES, M. L.; MACHADO, F. M.. Tratamento da vinhaça por adsorção em carvão de bagaço de cana-de-açúcar. Química Nova. 39, 2016.

STACKELBERG, P. E.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; ZAUGG, S. D.; HENDERSON, A. K.; REISSMAN D. R.. Persistence of pharmaceutical compounds and other organic wastewater contaminants in a conventional drinking-water-treatment plant. *Science of the Total Environment* 329, 99–113, 2004.

SILVA, F. C.; CESAR, M. A. A.; MORAES, J.; VILELA, M.; MENDES, C.. Diagnóstico hídrico em destilarias de álcool em São Paulo, 2011.

SMA, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Relatório Preliminar Etanol Verde, 2017. Disponível em: [http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/2017/06/etanolverde-relatorio-preliminar-safra-16\\_17-site.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/2017/06/etanolverde-relatorio-preliminar-safra-16_17-site.pdf). Acesso em: 25. Jan. 2018.

SMA, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Zoneamento Agroambiental No Estado de São Paulo. Disponível em: [http://www.ciiagro.sp.gov.br/Zoneamento\\_Agroambiental/mapas/ZoneamentoAgroambiental.jpg](http://www.ciiagro.sp.gov.br/Zoneamento_Agroambiental/mapas/ZoneamentoAgroambiental.jpg). Acesso em: 25. Jan. 2018

SILVA, M. O. S. A.. “Análises físico-químicas para controle de estações de tratamento de esgotos”. SÃO PAULO, COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 226p, São Paulo - SP, 1977.

SONUNE, A; GHATE, R.. Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*. Vol. 167. 55-63p, Aurangabad – MS, India, 2004.

STANDART METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WATEWATER. 19 TH edition (2005).

TELLES, Dirceu D’ Alkmin; COSTA Regina Pacca. Reuso da Água conceitos, teorias e práticas 2º edição 2010 São Paulo editora Edgar Blucher Ltda.

TONETTI, L. A.; CORAUCCI FILHO, B.; GUIMARÃES, J. R.; MATTOS DE OLIVEIRA CRUZ, L.; NAKAMURA, M.S.. Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio. *Revista de Engenharia Sanitária Ambiental*, v.16 n.1, 11-16, 2011.

TUNDISI, J. G.. Recursos Hídricos no Brasil - problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014.

UNICA UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR Apresenta informações sobre o setor sucroalcooleiro brasileiro. Disponível em: <http://www.unica.com.br/default.a>. Acesso em: 21, Jun. 2017.

USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR E ETANOL. Disponível em: <<https://www.novacana.com/cana/uso-agua-producao-cana-etanol/>>. Acesso em: 05. Jul. 2017.

Universo agro. Disponível em: <<http://www.uagro.com.br/editorias/agroindustria/sucroenergetica/2012/09/04/vinhaca-para-producao-de-algas-com-co2-tem-alto-potencial.html>>. Acesso em 20. Fev. 2018.

VON SPERLING, M. Lodos ativados. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997. 416 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 4).

WILKIE, A. C.; RIEDESEL, K. J.; OWENS, J. M.. Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks. *Biomass and Bioenergy*. 19, 63-102, 2000.

VAN HAANDEL, A; KATO, M. T.; CAVALCANTI, P. F.; FLORENCIO, L.. Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic wastewater, *Reviews in Environmental Sciences and Bio/Technology*, 5, 21-38, 2006.

VIVAN, M., Kunz, A., STOLBERG, J., PERDOMO, C., TECHIO, V. H.. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, v.14, n. 3, 2010.

## ANEXO I

Tabela 23: Vazão de água residuária nos anos de 2017 e 2018 na usina em estudo

<b>Data</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/dia) 2017</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/h) 2017</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/dia) 2018</b>	<b>Vazão água residuária (m<sup>3</sup>/h) 2018</b>
04/mai	2736	114	2999	125
05/mai	3661	153	3613	151
06/mai	2878	120	3397	142
07/mai	3828	160	3137	131
08/mai	4162	173	3195	133
09/mai	3904	163	2910	121
10/mai	4864	203	2777	116
11/mai	3919	163	3404	142
12/mai	4543	189	3340	139
13/mai	3145	131	2148	90
14/mai	2963	123	3096	129
15/mai	2931	122	5065	211
16/mai	2900	121	4076	170
17/mai	2850	119	2716	113
18/mai	2900	121	4028	168
19/mai	2461	103	3043	127
20/mai	1783	74	2774	116
21/mai	2098	87	3311	138
22/mai	1043	43	2918	122
23/mai	523	22	2896	121
24/mai	3066	128	2707	113
25/mai	3153	131	2649	110
26/mai	3593	150	2213	92
27/mai	3404	142	2684	112
28/mai	3449	144	2460	103
29/mai	3220	134	1811	75
30/mai	3080	128	2739	114
31/mai	1148	48	2807	117
01/jun	3214	134	2518	105
02/jun	3276	137	2625	109
03/jun	3226	134	2099	87
04/jun	3057	127	2533	106
05/jun	2491	104	2386	99
06/jun	3215	134	2574	107
07/jun	2493	104	1898	79
08/jun	3911	163	2739	114
09/jun	3548	148	3193	133
10/jun	3407	142	3247	135

Continua ...

Tabela 23: Vazão de água residuária nos anos de 2017 e 2018 na usina em estudo (continuação)

	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/dia) 2017</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/h) 2017</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/dia) 2018</b>	<b>Vazão água residuária (m<sup>3</sup>/h) 2018</b>
11/jun	3786	158	3072	128
12/jun	4298	179	3045	127
13/jun	4054	169	3151	131
14/jun	4981	208	2324	97
15/jun	4463	186	3447	144
16/jun	3916	163	3149	131
17/jun	4641	193	2678	112
18/jun	4546	189	3465	144
19/jun	4443	185	3022	126
20/jun	4958	207	3214	134
21/jun	4244	177	3582	149
22/jun	4568	190	3182	133
23/jun	4231	176	2536	106
24/jun	4551	190	3084	129
25/jun	4474	186	3337	139
26/jun	4818	201	3472	145
27/jun	4021	168	3546	148
28/jun	3810	159	3425	143
29/jun	3620	151	3484	145
30/jun	4332	181	3675	153
01/jul	4706	196	3378	141
02/jul	4650	194	3565	149
03/jul	4994	208	3448	144
04/jul	4402	183	3208	134
05/jul	4525	189	3270	136
06/jul	4308	180	2774	116
07/jul	3806	159	3822	159
08/jul	4131	172	3837	160
09/jul	4166	174	3027	126
10/jul	4461	186	3696	154
11/jul	3506	146	3657	152
12/jul	4886	204	3312	138
13/jul	3304	138	3831	160
14/jul	4556	190	3518	147
15/jul	4038	168	3468	145
16/jul	4531	189	2696	112
17/jul	4883	203	3060	128
18/jul	5709	238	3134	131
19/jul	4404	184	3796	158

Continua...

Tabela 23: Vazão de água residuária nos anos de 2017 e 2018 na usina em estudo (continuação)

<b>Data</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/dia) 2017</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/h) 2017</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/dia) 2018</b>	<b>Vazão água residuária (m<sup>3</sup>/h) 2018</b>
20/jul	3.355	140	2874	120
21/jul	2.818	117	3423	143
22/jul	2.877	120	3137	131
23/jul	2.727	114	2384	99
24/jul	2.799	117	2301	96
25/jul	2.690	112	2298	96
26/jul	2.827	118	3001	125
27/jul	3.559	148	2183	91
28/jul	3.909	163	2191	91
29/jul	3.031	126	2043	85
30/jul	2.912	121	2233	93
31/jul	2.856	119	2271	95
01/ago	2.771	115	1867	78
02/ago	2.940	123	1641	68
03/ago	3.418	142	2414	101
04/ago	3.213	134	2168	90
05/ago	3.158	132	3760	157
06/ago	2.523	105	3324	139
07/ago	2.447	102	1505	63
08/ago	2.206	92	993	41
09/ago	2.203	92	1114	46
10/ago	2.528	105	2129	89
11/ago	3.440	143	2916	122
12/ago	2.749	115	3157	132
13/ago	2.136	89	2511	105
14/ago	2.306	96	2361	98
15/ago	2.576	107	3847	160
16/ago	2.510	105	3243	135
17/ago	2.698	112	2895	121
18/ago	1.909	80	3661	153
19/ago	2.576	107	2524	105
20/ago	2.263	94	3354	140
21/ago	3.093	129	2813	117
22/ago	2.865	119	2709	113
23/ago	3.074	128	2597	108
24/ago	2.050	85	3135	131
25/ago	2.513	105	2842	118
26/ago	3.033	126	2773	116
27/ago	2.249	94	2315	96
28/ago	2.120	88	1424	59

Continua...

Tabela 23: Vazão de água residuária nos anos de 2017 e 2018 na usina em estudo (continuação)

Data	Vazão de água residuária (m <sup>3</sup> /dia)	Vazão de água residuária (m <sup>3</sup> /h)	Vazão de água residuária (m <sup>3</sup> /dia)	Vazão água residuária (m <sup>3</sup> /h)
	2017	2017	2018	2018
29/ago	2874	99	3.341	139
30/ago	3423	99	3.795	158
31/ago	3137	88	3.451	144
01/set	2384	90	3.703	154
02/set	2301	97	3.340	139
03/set	2298	113	2.754	115
04/set	3001	109	2.598	108
05/set	2183	105	2.914	121
06/set	2191	112	3.956	165
07/set	2043	115	3.559	148
08/set	2233	107	2.873	120
09/set	2271	102	3.138	131
10/set	1867	105	3.174	132
11/set	1641	110	3.944	164
12/set	2414	117	3.660	153
13/set	2168	106	4.665	194
14/set	3760	96	4.051	169
15/set	3324	103	3.464	144
16/set	1505	109	3.060	128
17/set	993	122	3.453	144
18/set	1114	102	2.552	106
19/set	2129	105	2.956	123
20/set	2916	119	3.384	141
21/set	3157	119	2.575	107
22/set	2511	122	3.359	140
23/set	2361	103	2.819	117
24/set	3847	108	4.199	175
25/set	3243	121	2.788	116
26/set	2895	106	2.159	90
27/set	3661	124	3.130	130
28/set	2524	107	2.510	105
29/set	3354	113	2.354	98
30/set	2813	121	2.150	90
01/out	2709	156	2.670	111
02/out	2597	170	3.097	129
03/out	3135	50	2.172	91
04/out	2842	120	2.537	106
05/out	2773	107	2.276	95
06/out	2315	127	2.209	92
07/out	1424	105	2.932	122

Continua...

Tabela 23: Vazão de água residuária nos anos de 2017 e 2018 na usina em estudo (continuação)

<b>Data</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/dia) 2017</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/h) 2017</b>	<b>Vazão de água residuária (m<sup>3</sup>/dia) 2018</b>	<b>Vazão água residuária (m<sup>3</sup>/h) 2018</b>
08/out	2662	111	2761	115
09/out	2537	106	4147	173
10/out	2457	102	3209	134
11/out	2341	98	3902	163
12/out	2953	123	1878	78
13/out	2782	116	3990	166
14/out	2598	108	3487	145
15/out	3288	137	2561	107
16/out	2733	114	2420	101
17/out	2389	100	2986	124
18/out	2704	113	4058	169
19/out	2723	113	3631	151
20/out	2262	94	3046	127
21/out	2793	116	4145	173
22/out	3013	126	3301	138
23/out	1889	79	3953	165
24/out	2489	104	2359	98
25/out	2489	104	-	-
26/out	2489	104	-	-
27/out	2810	117	-	-
28/out	2005	84	-	-
29/out	2418	101	-	-
30/out	1855	77	-	-
31/out	1885	79	-	-
01/nov	3164	132	-	-
02/nov	1913	80	-	-
03/nov	2824	118	-	-
04/nov	2232	93	-	-
05/nov	1711	71	-	-
06/nov	2566	107	-	-
07/nov	2477	103	-	-
08/nov	2992	125	-	-
09/nov	2527	105	-	-
10/nov	1845	77	-	-
11/nov	1671	70	-	-
12/nov	2755	115	-	-

Fonte: Autor, 2018.