



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**QUÍMICA**

Leilane Aragão da Silva

**ESTUDO SOBRE QUALIDADE DA ÁGUA DE QUENCH EM UMA**  
**PLANTA DE ETILENO**

SALVADOR

2024

LEILANE ARAGÃO DA SILVA

ESTUDO SOBRE QUALIDADE DA ÁGUA DE QUENCH EM UMA PLANTA DE  
ETILENO

Trabalho de conclusão de Curso de  
Graduação em Engenharia Química, Escola  
Politécnica da Universidade Federal da Bahia,  
apresentado como Monografia como requisito para  
obtenção do título de Engenheiro Químico.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> M.Sc. Daniela Araújo Costa

SALVADOR - BA

2024

LEILANE ARAGÃO DA SILVA

ESTUDO SOBRE QUALIDADE DA ÁGUA DE QUENCH EM UMA PLANTA DE  
ETILENO

Este Trabalho de Graduação foi julgado adequado para a obtenção do grau de Engenheiro Químico e aprovado em sua forma final pela Comissão examinadora e pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Química, Escola Politécnica, da Universidade Federal da Bahia.

Salvador, 05 de julho de 2024

---

Prof.<sup>a</sup> M.Sc. Daniela Araújo Costa (DEQ/UFBA)  
Orientadora

---

Prof. M.Sc. Marcos Fábio de Jesus (DEQ/UFBA)  
Banca Examinadora

---

Eng.<sup>a</sup> Carlane Estefane Aguiar Lira  
Banca Examinadora

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, preciso agradecer a Deus por essa conquista. Não apenas ao escrever o presente trabalho, mas por ter iluminado e guiado o meu caminho até este momento, o percurso não foi fácil, mas graças à Ele foi possível trilhá-lo.

Agradeço, também, à minha família. Eu tenho orgulho do sobrenome que carrego e tudo o que ele significa, cada conquista minha foi pavimentada pela minha família. Agradeço por ser prima de Vinicius, sobrinha de Cristina e Claudia, neta de Luzia, filha de Manoel e, principalmente, Ivana. Tudo o que sou e serei é por conta da minha mãe e de tudo o que ela fez para me criar de forma digna, na qual nenhuma oportunidade me fosse negada. Nenhum agradecimento será o suficiente para expressar a minha gratidão e amor, mas preciso começar por algum lugar.

Agradeço também a Alisson, meu marido, por me suportar e acolher durante esse caminho, existiram muitos percalços nessa reta final, mas você me lembrou que eu era capaz de passar por todos eles.

Agradeço aos meus amigos, os que a faculdade me proporcionou – em especial, Fábiana e Iviny, de tudo o que a UFBA me proporcionou nesses anos, sem dúvidas, vocês duas são as melhores – e os que já estão presentes na minha vida há muitos anos – Lanara (a irmã que a vida me deu), Ianne, Isabela, Kaio e Yanna, além de muitos outros – sem vocês, a vida acadêmica seria muito mais difícil e muito menos interessante.

Deixo também registrado o meu agradecimento aos meus colegas de trabalho da Veolia, que se tornaram também amigos e professores, obrigada por todo o ensinamento. Minha atuação como engenheira química, sem dúvidas, foi impactada positivamente por trabalhar ao lado de pessoas comprometidas e tão determinadas.

Aos meus professores que me ensinaram sobre essa profissão que escolhi trilhar e, por fim, à minha orientadora Professora Daniela Araújo Costa, por toda paciência, comprometimento e ensinamentos ao longo desse trabalho.

## RESUMO

A indústria petroquímica apresenta-se como um dos principais componentes para o desenvolvimento socioeconômico de um país, podendo ser dividida entre primeira geração, segunda geração e a terceira. No que tange as indústrias de 1ª geração, o principal produto são as olefinas leves como eteno e propeno cuja rota de produção majoritária é via *steam cracking* (pirólise) a partir da nafta. A Água de Quench é caracterizada como o produto de fundo do fracionamento da corrente de gasolina na produção de eteno, possui como principal função servir como carga térmica, assim como a geração de vapor de diluição, estando presente em grande parte do sistema. O presente estudo tem como objetivo analisar a qualidade da Água de Quench em uma planta de etileno, visando identificar possíveis fontes de contaminação e propor melhorias para otimização do processo produtivo. Nesse sentido, foi realizado um estudo de caso em uma planta de etileno localizada no Brasil, onde foram analisados dados de amostras coletadas da Água de Quench ao longo de duas campanhas diferentes de produção, de modo a comparar possíveis mudanças na operação e seus impactos. A análise das amostras revelou tentativas operacionais de melhoria que podem ser aprofundadas, pH fora dos padrões recomendados, sugerindo a necessidade de aprimoramento das técnicas de tratamento e monitoramento da água e a correlação entre os parâmetros e problemas que são enfrentados no cotidiano de uma planta petroquímica. Conclui-se que uma gestão eficiente da qualidade da Água de Quench é essencial para evitar impactos negativos na produção.

**Palavras-chave:** água de quench; etileno; turbidez; pH.

## **ABSTRACT**

The petrochemical industry is one of the main components for the socioeconomic development of a country and can be divided into first, second, and third generations. Regarding first-generation industries, the primary products are light olefins such as ethylene and propylene, which are predominantly produced via steam cracking (pyrolysis) from naphtha. Quench Water is characterized as the bottom product from the fractionation of the gasoline stream in ethylene production. Its main function is to serve as a thermal load as well as to generate dilution steam, being present in a large part of the system. This study aims to analyze the quality of Quench Water in an ethylene plant, to identify possible sources of contamination, and to propose improvements for optimizing the production process. In this context, a case study was conducted in an ethylene plant located in Brazil, where data from samples collected from the Quench Water were analyzed over two different production campaigns to compare possible operational changes and their impacts. The analysis of the samples revealed operational improvement attempts that could be further explored, pH levels outside the recommended standards, suggesting the need for enhancement in water treatment and monitoring techniques, and the correlation between parameters and the issues encountered in the daily operations of a petrochemical plant. It is concluded that efficient management of Quench Water quality is essential to avoid negative impacts on production.

**Keywords:** quench water; ethylene; turbidity; pH.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de blocos da cadeia petroquímica do eteno .....	1
Figura 2 - Produção mundial de resinas termoplásticas em 2016.....	3
Figura 3 - Fluxograma Simplificado do Sistema de Área Quente .....	5
Figura 4 - Diagrama do Sistema de Água de Quench Teórico .....	7
Figura 5 - Tipos de emulsões: a) óleo em água (O/A); b) água em óleo (A/O).....	9
Figura 6 - Depósito de coque do trocador de calor em um sistema de Água de Quench ....	11
Figura 7 - Célula Eletroquímica.....	14
Figura 8 - Representação da Teoria Geral da Polimerização .....	15
Figura 9 - Efeito da temperatura na conversão .....	16
Figura 10 - Turbidímetro Microprocessado Digital .....	17
Figura 11 - Amostras de Água de Quench.....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação Estatística da Vazão de Refluxo Entre Campanhas .....	23
Tabela 2 - Comparação Estatística do Tempo de Residência Entre Campanhas .....	24
Tabela 3 - Comparação Estatística da Temperatura de Fundo Entre Campanhas .....	25
Tabela 4 - Comparação Estatística do pH Entre Campanhas.....	29



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Turbidez Água de Quench Campanha Anterior .....	19
Gráfico 2 - Turbidez Água de Quench Campanha Atual .....	20
Gráfico 3 - Comparação entre análise de turbidez para cada campanha.....	21
Gráfico 4 - Comparação entre turbidez para o 1º ano de campanha .....	21
Gráfico 5 - Comparação da Vazão de Refluxo Entre Campanhas .....	22
Gráfico 6 - Comparação Entre o Tempo de Residência Entre Campanhas .....	23
Gráfico 7 - Turbidez x Tempo de Residência .....	24
Gráfico 8 - Comparativo da Temperatura de Fundo Entre Campanhas.....	25
Gráfico 9 - Comparativo da Temperatura de Fundo 1º Ano de Campanha .....	26
Gráfico 10 - Comparativo da Temperatura de Fundo 2º Ano de Campanha .....	27
Gráfico 11 - Comparativo da Temperatura de Fundo 3º Ano de Campanha .....	27
Gráfico 12 - Comparativo da Temperatura de Fundo 4º Ano de Campanha .....	28
Gráfico 13 - Comparativo do pH Entre Campanhas .....	29
Gráfico 14 - Relação entre o teor de hidrocarbonetos e a turbidez.....	30

## LISTA DE SIGLAS

GOP: Gasóleo de Pirólise

TLE'S: *Transfer Line Exchanger*

RAP: Resíduo Aromático de Pirólise

GAP: Gasolina de Pirólise

AGR: Água de Resfriamento

QWT: Torre de Água de Quench

QW: Água de Quench

DSG: Geradora de vapor de diluição

PWT: *Stripper* de Água de Processo

LOL: (*Lower Outlier Limit*)

UOL: (*Upper Outlier Limit*)

NTU:- Nephelometric Turbidity Units

TR: Tempo de Residência

V: Volume fase líquida

Q: Vazão de fundo

## Sumário

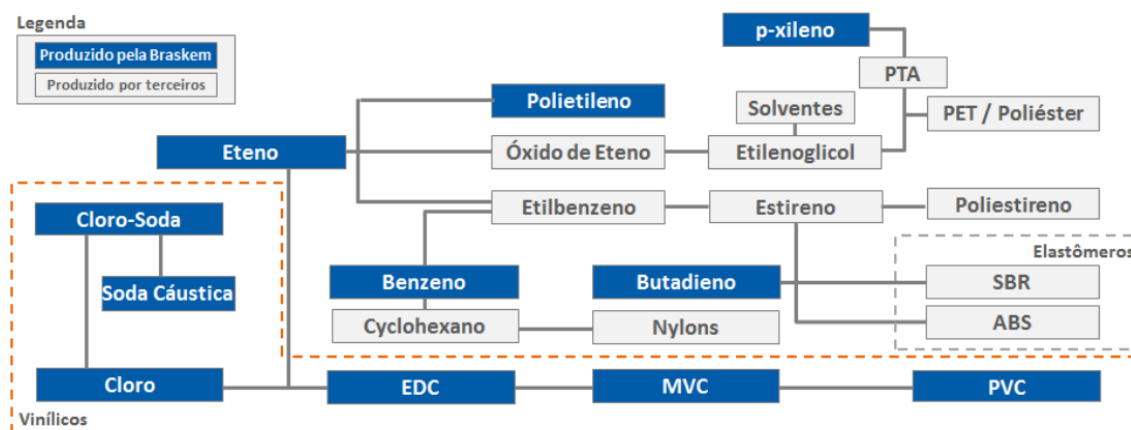
1. <b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
2.1. OBJETIVO GERAL: .....	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	2
3. <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>3</b>
3.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO: .....	3
3.2. TORRE DE ÁGUA DE QUENCH .....	6
3.3. <i>STRIPPER</i> DE ÁGUA DE PROCESSO. ....	7
4. <b>PROBLEMAS ASSOCIADOS AO SISTEMA</b> .....	<b>8</b>
4.1. QUALIDADE DA ÁGUA DE QUENCH.....	8
4.2. EMULSÃO .....	9
4.3. <i>FOULING</i> .....	11
4.4. CORROSÃO.....	13
4.5. POLIMERIZAÇÃO.....	14
5. <b>METODOLOGIA</b> .....	<b>16</b>
6. <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>18</b>
7. <b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Petroquímica apresenta-se como um dos principais componentes para o desenvolvimento socioeconômico de um país, podendo ser dividida entre primeira geração com produção de petroquímicos básicos, segunda geração com produção de resinas e intermediários e a terceira geração com a produção de itens de consumo (ABDI, 2009). No que tange as indústrias de 1ª geração, o principal produto são as olefinas leves como eteno e propeno cuja rota de produção majoritária é via *steam cracking* (pirólise) a partir da nafta.

O eteno é um produto altamente visado visto que é formado por moléculas que possuem ligações duplas carbono-carbono, que sob a ação de um iniciador, rompem a dupla ligação e duas ligações simples com outras moléculas do eteno são formadas para efetivar a polimerização (EPE, 2018). Há diferentes polímeros sintéticos obtidos a partir do eteno, conforme apresentado na Figura 1 abaixo:

Figura 1 - Diagrama de blocos da cadeia petroquímica do eteno



Fonte: Braskem (2018c)

No que tange a produção de olefinas, uma das operações unitárias mais presentes é a destilação, possuindo três destilações diferentes em sua cadeia produtiva. A segunda destilação ocorre na Torre de Água de Quench (QWT) que possui tem o objetivo de separar a água proveniente do vapor de diluição da gasolina de pirólise (GAP) e do gás de carga, além de realizar a separação da Água de Quench (QW). A QW é caracterizada como o produto de fundo do fracionamento da corrente de gasolina, produtos mais leves e vapor d'água na produção de eteno.

No entanto, a QWT está sujeita à formação de emulsão, *fouling* e corrosão, problemas que estão diretamente relacionados à qualidade da Água de Quench. Esses problemas podem resultar

em maiores gastos com manutenção, perda de produção e paradas não planejadas na planta. Portanto, é crucial entender os fatores que causam a baixa qualidade do fluido para proteger a planta química e prevenir tais agravantes.

Dessa forma, este trabalho busca investigar os aspectos operacionais que afetam a qualidade da Água de Quench, com o intuito de identificar as causas da formação de emulsões, *fouling* e corrosão. A compreensão desses aspectos é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de mitigação, garantindo a eficiência operacional e a sustentabilidade da planta petroquímica.

## 2. OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC:

### 2.1. OBJETIVO GERAL:

O objetivo do presente trabalho é compreender quais fatores estão corroborando para a má qualidade da Água de Quench em uma unidade petroquímica de produção de etileno e - consequentemente, minimizando problemas de corrosão e *fouling* o que impacta na duração da campanha da unidade, isto é, o período produtivo sem necessidade de intervenção na manutenção e parada de produção.

### 2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar e documentar as diferentes campanhas de produção realizadas na planta de etileno, incluindo informações sobre parâmetros operacionais;
- Investigar os padrões de variação da turbidez da Água de Quench durante diferentes períodos de produção, correlacionando-os com as operações específicas da planta de etileno e possíveis fontes de contaminação;
- Identificar e analisar os principais parâmetros físico-químicos e operacionais da Água de Quench ao longo das campanhas de produção, incluindo pH, temperatura de fundo da torre e concentração de hidrocarbonetos.
- Averiguar os principais fatores operacionais que influenciam problemas de corrosão e *fouling* na campanha.

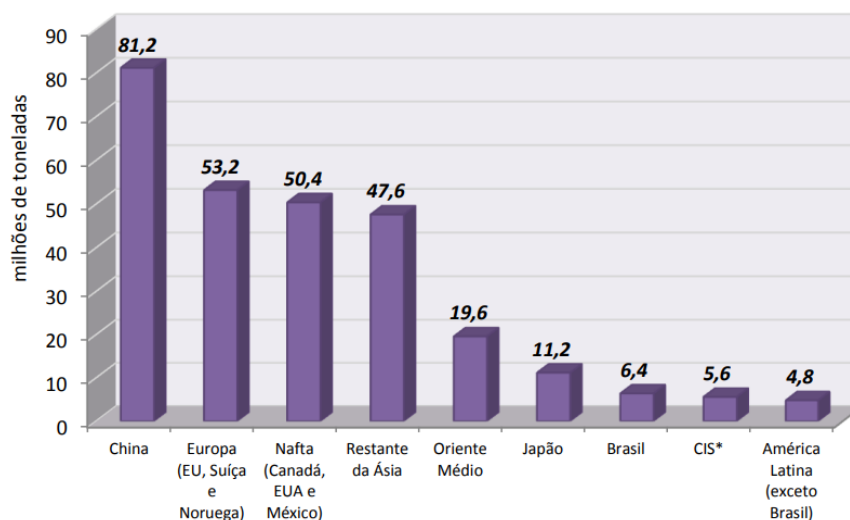
### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO:

A indústria química brasileira ocupa a sexta posição no mundo, tendo alcançado faturamento superior a cem bilhões de dólares em 2020, sendo que o ramo petroquímico responde por aproximadamente 55% dos produtos de uso industrial no Brasil. (DIEESE, 2021). Os produtos petroquímicos, como elastômeros e resinas termoplásticas, estão inseridos no cotidiano dos brasileiros, tanto quanto os derivados para os fins energéticos. Neste contexto, as resinas termoplásticas têm papel importante, pois, produzidas a partir de petroquímicos básicos, são utilizadas pelos transformadores na fabricação de produtos finais, como embalagens, componentes plásticos para indústria automobilística (EPE, 2018).

A América Latina representa 4% da produção mundial de resinas termoplásticas, sendo que o Brasil contribui com mais da metade dessa produção (57%), concentrada em polietileno (PE), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), politereftalato de etileno (PET) e as resinas de engenharia (EPE, 2018). A figura 2, a seguir, apresenta os principais produtores de resinas termoplásticas:

Figura 2 - Produção mundial de resinas termoplásticas em 2016



Fonte: Abiplast (2018a)

Dessa forma, é notável a importância dos processos de conversão na indústria petroquímica, visto que permitem alterar a estrutura molecular dos hidrocarbonetos, seja através da quebra em

moléculas menores, seja por combinação em moléculas maiores ou através de rearranjos moleculares que conferem propriedades melhores aos produtos finais.

No que tange a produção de eteno, o principal meio para a produção de eteno é via craqueamento a vapor, embora existam outros métodos para a produção de olefinas leves, esse processo ainda é o mais amplamente utilizado. As olefinas são base para a produção de polímeros e elastômeros, podendo ser convertidas em aldeídos, glicóis e álcoois.

Uma unidade de produção de olefinas é dividida em três macro áreas:

1. Área quente: consta os fornos e fracionamento primário;
2. Área de Compressão de Gás de Carga;
3. Área fria: área de separação criogênica.

O craqueamento de vapor começa com o pré-aquecimento da nafta para a sua posterior admissão nos fornos de pirólise, juntamente com o vapor de diluição, este é utilizado para controlar a severidade e seletividade da reação de pirólise, assim como atenuar a taxa de formação de coque nas serpentinas. O processo de craqueamento constitui-se nas quebras entre as ligações de carbono e hidrogênio, criando olefinas. Pela nafta ser uma mistura de diferentes tipos de hidrocarbonetos, suas reações são complexas e, quando as suas ligações são quebradas, desencadeia outras reações secundárias. O mecanismo de reação inclui diferentes etapas, como a iniciação, a propagação e a terminação (MAGALHÃES, 2016).

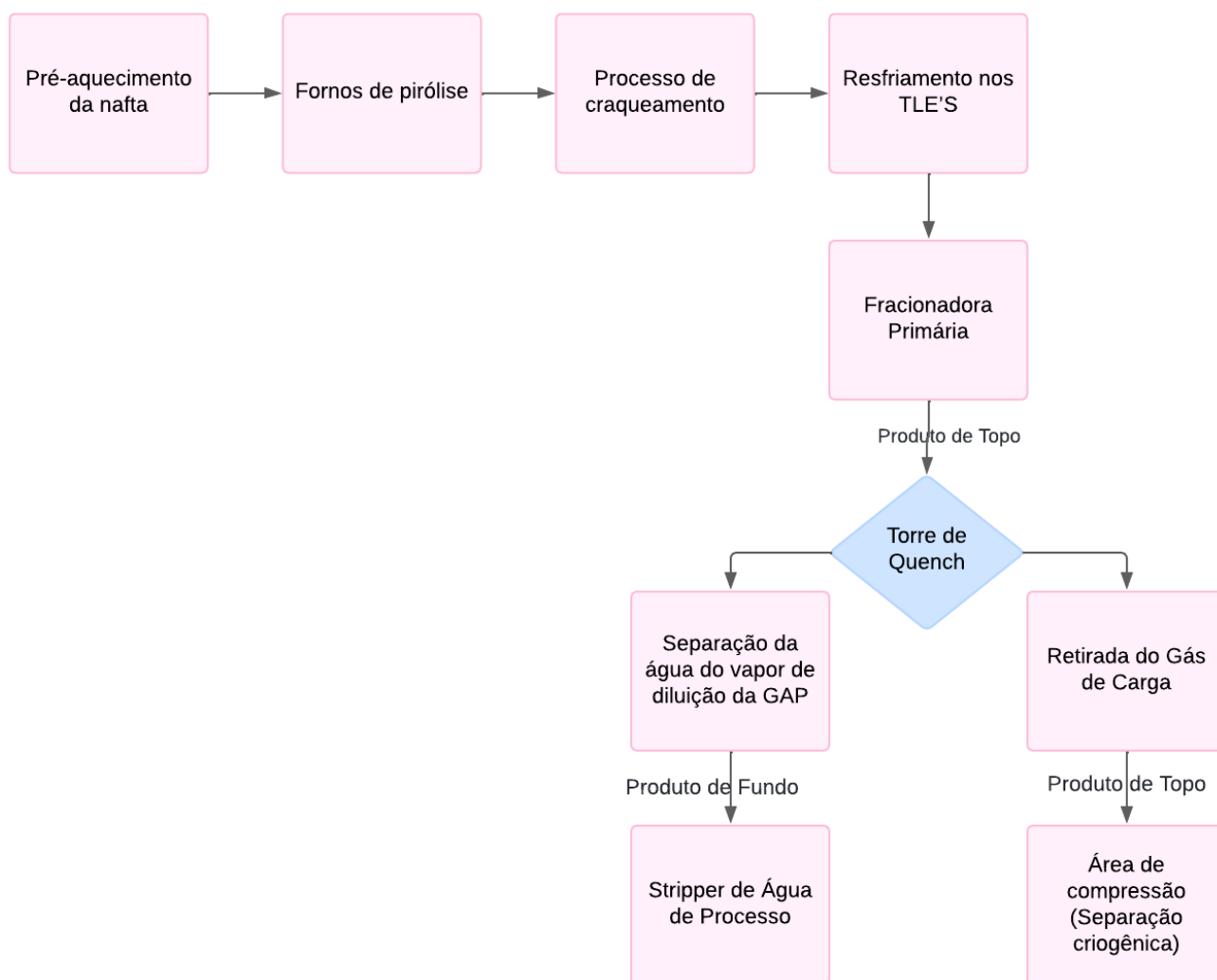
Após ser processada nos fornos de pirólise, a mistura passa por resfriamento nos TLE'S - (*Transfer Line Exchanger*), que são trocadores especiais do tipo termosifão - para interromper a reação de craqueamento pela redução extrema de calor para geração de vapor. Visto que, caso haja a continuidade dessas reações, poderá ocorrer a degradação de produtos nobres e geração de compostos que contribuem para formação de resíduos sólidos. O efluente dos fornos é então resfriado com Óleo de Quench proveniente da Fracionadora Primária (LEITE, 2013).

Ao finalizar a etapa de reações, é necessário separar os diferentes produtos contidos na mistura, a principal operação unitária relacionada é a destilação. Dessa forma, a mistura é enviada para a Fracionadora Primária, que possui a função de separar as frações de gasóleo de pirólise (GOP) e resíduo aromático de pirólise (RAP) da corrente de efluentes, através de retiradas secundárias, que podem ser aproveitados como combustível ou reprocessados nas unidades de produção de aromáticos. A corrente de leves que sai do topo são encaminhadas para a Torre de

Quench, torre esta que possui o fim de realizar a separação da água proveniente do vapor de diluição da gasolina de pirólise (GAP) e do gás de carga (MAGALHÃES, 2016).

No fundo da QWT ocorre a separação de Água de Quench – que será enviada para a *Stripper* de Água de Processo – da gasolina de pirólise e pelo topo é retirado o Gás de Carga, que é enviado para a área de compressão e posteriormente para a área de separação criogênica, onde são separados e purificados o eteno, propeno e hidrogênio. O presente trabalho possui maior foco na área quente, dessa forma, na figura 3, há o fluxograma simplificado da área quente:

Figura 3 - Fluxograma Simplificado do Sistema de Área Quente



Fonte: Autoria Própria



A área de compressão realiza três funções básicas: ajuste da pressão nos fornos, elevação da pressão aos níveis desejados para separação metano-hidrogênio na área fria e retirada de componentes ácidos como o  $H_2S$  e o  $CO_2$ . A elevação da pressão do gás de carga é realizada através de um compressor centrífugo, em cinco estágios, promovendo entre cada um deles, através dos resfriadores interestágios, um resfriamento/condensação dos compostos mais pesados que são posteriormente removidos através de vasos separadores. Este resfriamento tem como finalidade melhorar a eficiência da compressão, bem como minimizar o risco de polimerização nos internos da máquina. Além disso, entre o 3º e 4º ou 4º e 5º estágio de compressão ocorre o processo de lavagem cáustica, para remover os componentes ácidos supracitados (MAGALHÃES, 2016).

A área fria é responsável pela separação criogênica dos hidrocarbonetos leves provenientes do gás de carga agora seco. É composta das seguintes colunas: demetanizadora, depropanizadora, debutanizadora, fracionadora de eteno e fracionadora de propeno. Além desses equipamentos, os reatores de hidrogenação são essenciais para aumentar o rendimento na produção de eteno e propeno (MOREIRA, 2015).

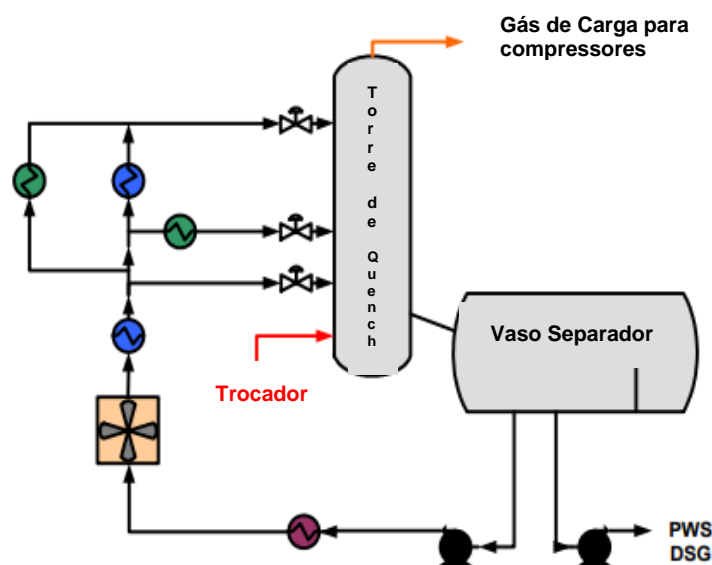
### 3.2. TORRE DE ÁGUA DE QUENCH

A Torre de Quench funciona, basicamente, como um condensador parcial para a fracionadora de gasolina, deixando passar a parte leve do efluente dos fornos e separando uma fase líquida, da qual são separados hidrocarbonetos (gasolina de pirólise) de uma fase aquosa ("Quench Water"- utilizada como fluido de aquecimento em outras áreas do processo) pelo fundo da coluna e como carreador de calor para os trocadores de água de resfriamento (AGR) onde este calor é descartado para a torre de resfriamento. Estes compostos associados com a temperatura elevada são fatores potenciais para a formação de emulsão, que deve ser evitada. O topo dessa coluna (Gás de Carga) é enviado para a área de compressão, onde é aspergido wash oil (óleo aromático) na carcaça de cada estágio, de modo a prevenir o acúmulo de fouling (incrustações) nos internos do compressor de gás de carga (MAGALHÃES, 2016).

Do fundo da torre, uma parte da corrente de QW é bombeada para ser circulada em uma série de trocadores de calor, onde uma parte da carga térmica deste resfriamento será utilizada para aquecer correntes de processo da Área Fria e também para pré-aquecer a carga dos fornos. Após essa troca de calor, a QW é resfriada adicionalmente com a água de resfriamento e retorna para a seção central da Torre de Água de Quench como o 1º estágio de resfriamento e para a seção de topo, como 2º estágio de resfriamento esse processo é chamado de *loop* da Água de Quench.

A QW separada na torre irá para a *Stripper* de Água de Processo (PWS). Comumente, em plantas de etileno, na saída da Torre de Quench existe um vaso separador onde são encontrados dispositivos que atuam como coalescedores, atuando como mais um estágio de separação. Eles funcionam diminuindo a velocidade ou parando o movimento de gotículas na fase mais densa, através de forças de choque, movimento centrífugo e tensão superficial (HUUSARI, 2015). Na figura 4 abaixo, temos a representação do sistema de Água de Quench Teórico:

Figura 4 - Diagrama do Sistema de Água de Quench Teórico



Fonte: Hammond & Walker, 2006

Após a *strippagem*, a corrente de água de processo será enviada para o vaso gerador de vapor de diluição (DSG), o vapor de diluição (DS) separado da água de processo é superaquecido e transferido para o header de distribuição de DS para os fornos de pirólise, onde irá ser misturado à nafta para ser craqueado.

### 3.3. STRIPPER DE ÁGUA DE PROCESSO.

A *Stripper* de Água de Processo tem como objetivo a remoção de impurezas da água de processo à baixa pressão e aumento da eficiência do *stripping*, devido à maior volatilidade relativa e menor pressão parcial dos hidrocarbonetos, além de minimizar a presença destes em pontos com temperaturas mais elevadas. A pressão desta torre é controlada por injeção de vapor de diluição na seção de fundo, os hidrocarbonetos vaporizados são retirados pelo topo sob controle de vazão e retornam para a Torre de Quench (LINCK, 2012).

O sistema de geração de vapor de diluição tem como função garantir a produção de vapor de diluição necessária para a operação dos fornos de pirólise. Para tanto, a Água de Quench enviada para a produção de vapor de diluição sofre *stripping* na *stripper* de água de processo, é parcialmente vaporizada no vaso de vapor de diluição, enquanto parte da água de processo é retirada como *blowdown* e enviada para efluente após resfriamento com AGR (LINCK, 2012) ,

Embora o vapor de diluição se condense na Torre de Água de Quench, a água de processo difere da Água de Quench na medida em que essa é usada para recuperar calor residual do processo e é mantida em circulação. A água do QWT está contaminada com hidrocarbonetos livres, dispersos e dissolvidos. Dependendo do arranjo do esquema de processo da Seção de Quench e se uma matéria-prima gasosa ou líquida está sendo craqueada, essa QW também pode conter alcatrão, óleos poliméricos e finos de coque. (MALDONADO, 2013).

#### **4. PROBLEMAS ASSOCIADOS AO SISTEMA**

O sistema de área quente de uma planta de produção de etileno pode sofrer alguns problemas, sendo estes principalmente: corrosão, formação de emulsão, incrustação e polimerização. Os principais mecanismos e razões para cada uma destas questões são explicadas abaixo.

##### **4.1. QUALIDADE DA ÁGUA DE QUENCH**

A Água de Quench é caracterizada como o produto de fundo do fracionamento da corrente de gasolina, produtos mais leves e vapor d'água na produção de eteno. Têm como principal função servir como carga térmica, assim como a geração de vapor de diluição, dessa forma, é uma corrente que está presente em grande parte do sistema de produção de etileno, tornando a manutenção de sua qualidade de suma importância.

Conceitualmente, turbidez é uma propriedade física que traduz a presença de materiais em suspensão e que interferem na passagem de luz através do fluido. Materiais, de origem orgânica ou inorgânica, variando em dimensões até sólidos, podem influenciar na turvação (MARTINS, 2013).

Uma das principais formas de analisar a qualidade da QW é através da turbidez do sistema, a análise laboratorial é realizada através do turbidímetro. O instrumento funciona através da emissão de uma fonte luminosa que atravessa a amostra e, em seguida, irá medir a intensidade da luz dispersa pelas partículas presentes na água, essa medida é contabilizada em unidades de nefelométrica (NTU - *Nephelometric Turbidity Units*). Seguindo a Norma 2130 *Standard*

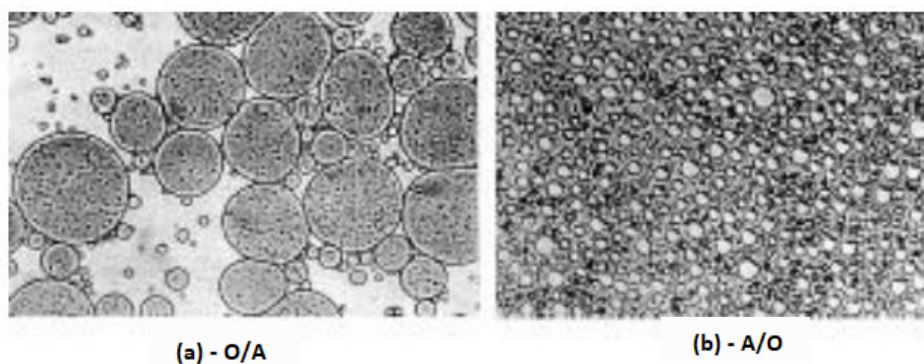
*Methods: For The Examination Of Water And Wastewater, 18th Edition* a turbidez ideal é < 500 NTU e seu limite de controle < 700 NTU.

#### 4.2. EMULSÃO

A emulsão é um tipo de dispersão coloidal na qual gotas de um líquido estão dispersas em um outro líquido (RUSSEL, 1981). Entende-se, por dispersões coloidais, também chamadas de coloides, um estado intermediário entre uma solução e uma suspensão (KOTZ & TREICHEL, 2008). As emulsões são caracterizadas de acordo com a predominância da fase e tipo de emulsificante, sendo duas classificações: emulsões óleo em água (O/A) - na qual o óleo é a fase interna - e emulsões água em óleo (A/O), na qual a água é a fase interna.

No tipo de planta estudada, a emulsão é do óleo em água, onde temos a fase contínua sendo a água e o hidrocarboneto presente em pequenas gotas é conhecido como fase dispersa. Nesse caso, a emulsão é chamada de (O/A). Na figura 5, há os dois tipos de emulsões:

Figura 5 - Tipos de emulsões: a) óleo em água (O/A); b) água em óleo (A/O)



Fonte: Oliveira & Carvalho, 1998

O processo de formação de emulsão é bastante complexo e rápido. Algumas condições de processo e características químicas das correntes impactam direta ou indiretamente na formação de emulsões. Em relação às condições do processo, o presente trabalho levará em consideração a vazão de reciclo e a temperatura de fundo da Torre de Água de Quench, por se tratar de parâmetros que repercutem na qualidade da QW.

Quanto menor a vazão de reciclo, maior será o tempo de residência desse volume na torre, já que tempo de residência é a quantidade média de tempo que uma partícula reside em um sistema

em particular, ou seja, o tempo de residência é a caracterização ou medida do fluxo padrão das moléculas e quão elas demoram para percorrer o equipamento (MORES e RAYMANN, 2014). Outrossim, se temos uma menor vazão de reciclo, sabe-se que o tempo do líquido do fundo da coluna irá aumentar, dessa forma, acarretará uma melhor separação da água e do óleo. Da mesma forma, a vazão de reciclo impacta na velocidade de agitação da mistura óleo/água e, quanto maior essa velocidade, mais emulsionada ficará a amostra (MOTTA et al, 2017).

No caso da temperatura, o aumento da temperatura interfere na tensão interfacial óleo-água, diminuindo a viscosidade do óleo e, conseqüentemente, favorece o processo de separação das emulsões (MOTTA et al, 2017).

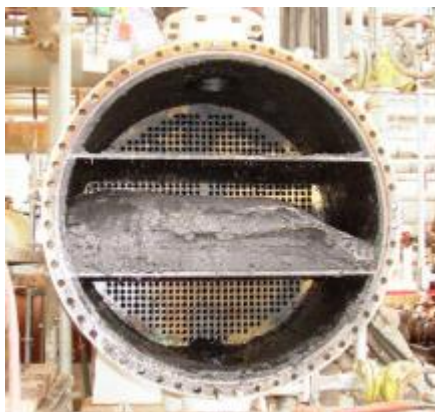
Já para as características químicas das correntes, temos: teor de naftalenos, asfaltenos e parafínicos, tensoativos/surfactantes, ácidos orgânicos e seus respectivos sais e mercaptanas. Ou seja, a quantidade de hidrocarbonetos e compostos orgânicos presentes no processo representa a quantidade de óleo presente no meio, e, por isso, são fundamentais para o processo de formação de emulsão (CARNEIRO A.C, 2021). A formação de emulsão ainda é impactada por fatores que regem a lei de Stokes como densidade, viscosidade, temperatura, cargas elétricas, pH e tamanho das partículas.

De maneira similar, também é preciso levar em consideração as condições físicas propícias para a formação de emulsão, sendo elas: contato íntimo de dois líquidos imiscíveis, forte agitação de forma que gere dispersão um no outro e presença de agentes emulsionantes.

Para a torre analisada, a formação de emulsão se torna um problema visto que a sua incidência na torre de água de Quench reduz a eficiência da separação dos hidrocarbonetos da água. Conseqüentemente, mais precursores orgânicos e inorgânicos de *fouling* são enviados ao *loop* de Água de Quench e para o gerador de vapor por meio da água de processo. Os fenômenos de *fouling* por sua vez, podem acelerar outros mecanismos de corrosão e em situações até mais severas, a presença de hidrocarbonetos na água de processo aumenta a possibilidade de formação de espuma no gerador, com maior chance de ocorrência de arraste de líquido.

Os sistemas de Água de Quench para resfriamento possuem tendência a sujar devido a dificuldade de separação da emulsão óleo em água. Uma melhor separação entre água e óleo melhora a qualidade da água recirculada, o que reduz a incrustação do trocador devido ao revestimento de óleo nos trocadores (Hammond & Walker, 2006). Na figura 6, temos um exemplo de um trocador de calor com presença de depósito de coque:

Figura 6 - Depósito de coque do trocador de calor em um sistema de Água de Quench



Fonte: Hammond & Walker, 2006

No exemplo da figura 6, a emulsão estava espalhada na embalagem da torre, nos trocadores de calor e nas áreas de baixo fluxo de água circulante. Também tendia a sujar preferencialmente nos trocadores mais frios, a limpeza do trocador de resfriamento revelou pilhas de depósitos pretos nas áreas de baixo fluxo e a análise indicou uma emulsão formada por coque, óleo e água. A rápida incrustação do sistema de água de resfriamento resultou em um sistema de água de resfriamento com baixo desempenho. A incrustação restringiu o fluxo de água de resfriamento. Por consequência, o baixo fluxo de água dificultou a remoção de calor da torre de resfriamento, a temperatura da água de resfriamento reciclada aumentou e ficou muito mais quente do que o desejado. O baixo fluxo de água de têmpera e o alto fluxo de água de têmpera temperaturas fizeram com que a temperatura do gás craqueado que saía da torre aumentasse. As altas temperaturas do gás craqueado na torre causaram a inundação da torre que foi observada nas varreduras e resultou em arrastamento de água. Esses efeitos combinados resultaram na redução da produção (Hammond & Walker, 2006).

#### 4.3. FOULING

*Fouling* é um termo genérico que inclui qualquer tipo de depósito de material sólido sobre a superfície de equipamentos, podendo ser formação de depósito, incrustação entre outros com efeito adverso à operação. Seus efeitos podem ser, por exemplo: perda de transferência de calor conforme indicado pela diminuição da temperatura de saída de carga e aumento da queda de pressão, bloqueio de tubulações de processo (SPEIGHT, 2001).

O processo de *fouling* ocorre principalmente por conta da polimerização por radicais livres de diolefinas na fase líquida. A taxa de polimerização está diretamente relacionada à concentração

de diolefinas, temperatura de operação, tempo de residência e presença de contaminantes. Outrossim, a ocorrência de *fouling* afeta diretamente a performance dos equipamentos, fazendo com que sejam necessárias limpezas periódicas ou inclusive a parada da unidade, acarretando prejuízos para produção e custos de manutenção.

Conforme Bott (1995), não há apenas uma forma de origem para o *fouling*, cada forma depende de variáveis diferentes. Da mesma forma, em um mesmo sistema, é possível ter a incidência de um ou mais tipos de mecanismos. Podemos citar alguns tipos de *fouling*:

- *Fouling* por Reação Química: produto indesejado de fase sólida na superfície gerado como resultado de reação química. É possível exemplificar com a formação de depósito de carbonos – coque – na superfície. Esses depósitos são extremamente tenazes e requerem medidas extremas para a sua remoção;
- *Fouling* como Produto de Corrosão: resulta da exposição da superfície de troca a correntes corrosivas. Os produtos da corrosão podem incrustar a superfície caso o pH do fluido não seja o suficiente para dissolvê-los quando formados;
- *Fouling* por Sedimentação: ocorre quando, em um sistema, há a existência de sólidos suspensos com possibilidade de fixar-se sobre a superfície dos equipamentos do processo;
- *Fouling* por Solubilidade Inversa: ocorre quando há cristalização de sais inorgânicos dissolvidos na corrente. A camada de depósitos formada é estável e aderente e, normalmente, requer rigorosas operações mecânicas ou tratamentos químicos para sua remoção.

A temperatura é um fator muito importante, pois a taxa de polimerização possui uma relação exponencial com ela. A formação de *fouling* ocorre devido à presença de hidrocarbonetos na alimentação que podem sofrer um processo de polimerização resultando em depósitos de incrustações nas regiões de maior transferência de calor. Estes depósitos ao serem expostos às altas temperaturas dos metais da superfície do equipamento desencadeiam reações de desidrogenação que resultam em formação de depósitos de coque.

Outrossim, o tempo de residência também é um fator de suma importância e está diretamente relacionada com a taxa de polimerização. A taxa de formação de polímeros por radicais livres sofre variação direta com o tempo de residência do sistema de forma que quanto maior o tempo de residência maior será a taxa de crescimento do polímero dentro do sistema observado. Dessa forma, para o cálculo do tempo de residência utilizamos a equação 1:

$$TR = \frac{V}{Q} \quad (\text{eq. 1})$$

Sendo:

- TR: Tempo de Residência;
- V: Volume fase líquida;
- Q: Vazão de fundo.

A elevação do tempo de residência propicia a formação de radicais livres e de diferentes estruturas poliméricas (em situações extremas ocorre a desidrogenação, ou seja, formação de coque), pois a menor velocidade de circulação determina condições mais críticas. Esta situação será ainda pior quando o fluido de aquecimento propiciar elevadas temperaturas de película.

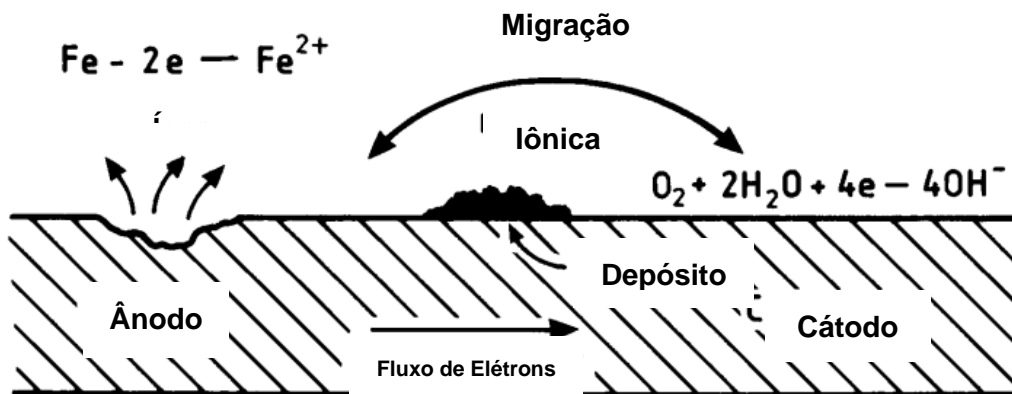
#### 4.4. CORROSÃO

Conforme Bott (1995), podemos definir a corrosão como a deterioração e perda de material a algum tipo de ataque químico. A sua origem pode ser decorrente do próprio fluido de processo ou um de seus constituintes, assim como também pode ser oriundo da presença de impurezas no fluido. A corrosão também pode ser considerada como uma reação de *fouling*, com as reações químicas envolvendo a superfície de equipamentos ao invés de constituintes do fluido de processo.

No estudo envolvido, por se tratar de meio aquoso, o mecanismo de corrosão envolvido é eletroquímico. Nesse mecanismo, há a oxidação do metal, no qual há a remoção de elétrons. Este tipo de corrosão é desencadeado através da formação de uma pilha de corrosão eletroquímica, a qual contém ânodo, cátodo, eletrólito (meio reacional do processo) e uma ligação elétrica entre cátodo e ânodo (TICIANELLI; GONZALEZ, 2005). A localização dos sítios individuais dependerá muito das características da superfície, ou seja, descontinuidades em uma camada protetora de óxido, limites de grãos e fendas. (BOTT, 1995). A figura 7 representa esse processo:



Figura 7 - Célula Eletroquímica



Fonte: Bott, 1995

A corrosão pode ser classificada também segundo sua morfologia, destacando-se a corrosão uniforme e a corrosão puntiforme, que são os tipos mais comumente observados no sistema estudado. A corrosão uniforme, também conhecida como generalizada, consiste normalmente de uma reação química ou eletroquímica que ocorre uniformemente sobre toda a superfície exposta, tornando o metal mais fino o que pode eventualmente ocasionar uma ruptura. Quando o ataque é uniforme, a corrosão pode ser medida através das unidades mdd ou ipy. A primeira representa a perda ou ganho de massa em miligramas por decímetro quadrado por dia, enquanto que a segunda é a unidade de penetração em polegadas por ano. Por outro lado, a corrosão puntiforme, ou por pite, é uma forma de corrosão muito localizada, apresentando um ataque muito intenso em áreas de ordem de  $\text{mm}^2$ , permanecendo o metal ao seu redor sem sofrer corrosão. Geralmente os pites requerem um longo período de latência antes de se tornarem visíveis, período este que pode variar de alguns meses até anos, dependendo da combinação específica metal/meio corrosivo (PONTE, 2003).

O processo de corrosão se mostra prejudicial para uma planta petroquímica haja vista que a presença de produtos de corrosão irá representar resistência a transferência de calor, assim como perda de material de superfície, o que pode impactar em um futuro furo ou parada não planejada para manutenção.

#### 4.5. POLIMERIZAÇÃO

A palavra polímero vem do grego poli (muitas) + mero (partes), ou seja, é a repetição de muitas unidades (poli) de um tipo de composto químico (mero). A polimerização é o nome dado

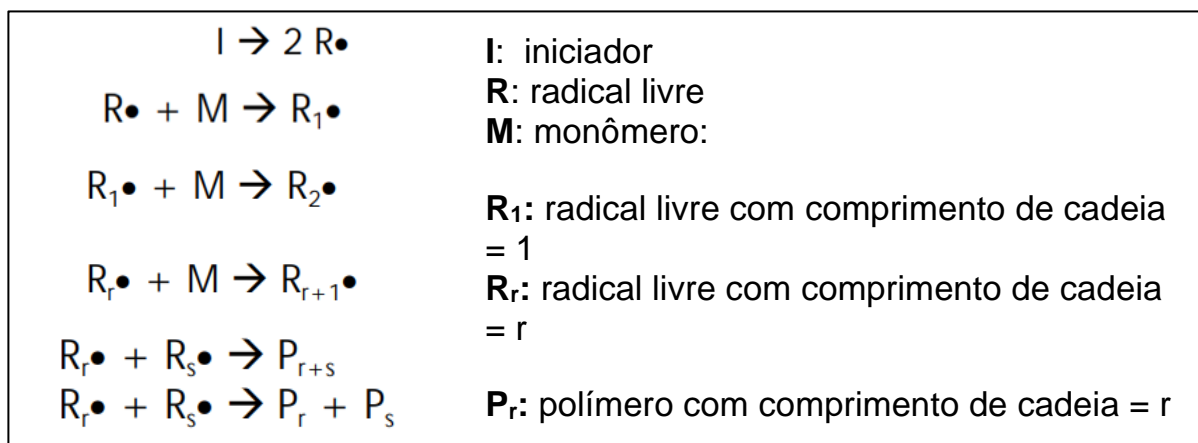
ao processo no qual as várias unidades de repetição (monômeros) reagem para gerar uma cadeia de polímeros (FERNANDES; LONA, 2004).

A formação polimérica é caracterizada pela geração de uma estrutura espacial complexa de elevado grau de ligações cruzadas que isola os radicais livres permitindo o seu crescimento, mas não sua terminação. Experiências de campo demonstram que a heterogeneidade das superfícies metálicas também contribui para que tal processo ocorra. Eventualmente, o crescimento verificado no interior do polímero, provoca a quebra da estrutura, mas as ligações químicas rompidas somente proporcionam o surgimento de novos pontos ativos dos quais os grânulos podem continuar a crescer.

A formação de polímeros depende, inicialmente, da etapa de iniciação da reação, podendo ser: química, térmica e radiação. Por senso empírico da área, acredita-se que a iniciação térmica é o maior causador da polimerização dentro do processo (CARNEIRO, 2021).

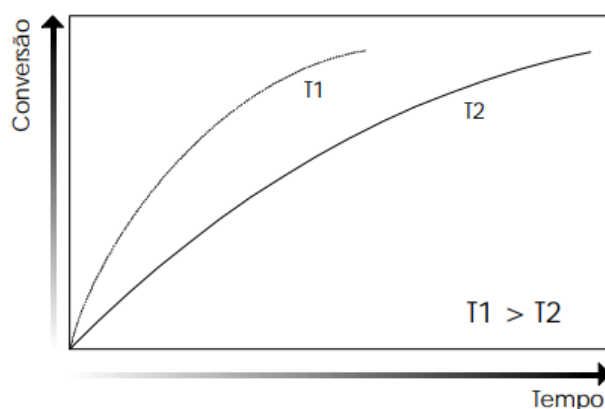
Considerando a polimerização via radical livre, na iniciação, uma molécula de iniciador se decompõe formando dois ou mais radicais livres. Esses radicais, por sua vez, irão reagir com as moléculas de monômeros presentes no meio reacional e os radicais contendo moléculas de monômeros em suas estruturas continuam a reagir com outras moléculas de monômeros, fazendo com que a cadeia de radical livre cresça. A propagação da cadeia do radical livre continua até que dois radicais se encontrem e reajam entre si, terminando com o crescimento das duas cadeias de radicais livres (terminação) e formando uma ou duas moléculas de polímero (MACHADO, 2004). A figura 8 a seguir representa esse processo, o  $\bullet$  representa um elétron:

Figura 8 - Representação da Teoria Geral da Polimerização



No processo estudado, a polimerização ocorre principalmente devido à presença de compostos reativos como estireno, que podem reagir a uma taxa muito elevada mesmo com os precursores estando em concentrações muito baixas na alimentação (CARNEIRO, 2021). O oxigênio e a elevada temperatura no meio atuam como iniciadores da polimerização isso porque a reação de polimerização com iniciação térmica é uma reação própria do estireno e é obtida a uma temperatura acima de 100°C, na qual existe a decomposição térmica do monômero a radicais livres (GONÇALVES, 2006). A temperatura influencia diretamente nas taxas de reação (iniciação, propagação e terminação), aumentando a taxa global de reação (FERNANDES; LONA, 2004), o que pode ser visto na figura 9 a seguir:

Figura 9 - Efeito da temperatura na conversão



Fonte: FERNANDES; LONA, 2004

## 5. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo começou com uma avaliação detalhada do sistema de área quente da planta petroquímica produtora de eteno onde os valores de turbidez da Água de Quench consistentemente excedem a faixa de controle estabelecida para operação, sendo está de turbidez ideal < 500 NTU e limite de controle < 700 NTU, seguindo *Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 2130 turbidity in: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Essa observação identificou uma oportunidade de melhoria no sistema; no entanto, para implementar melhorias eficazes, era crucial identificar a causa adjacente do problema.

Para alcançar esse objetivo, foram coletados dados operacionais e físico-químicos da Torre de Água de Quench. Essa coleta de dados teve como propósito comparar estatisticamente o comportamento da torre ao longo da campanha anterior com o desempenho atual, partindo de uma pesquisa quantitativa de natureza explicativa, focada na análise de dados provenientes de duas campanhas distintas em uma planta de produção de estireno.

Para isso, foram selecionados dados de processo, sendo esses tempos de residência, temperatura de fundo da QWT e vazão de refluxo, e análises químicas, incluindo análise de pH, concentração de hidrocarbonetos e turbidez. ao longo de um período de quase seis anos para a primeira campanha, que será nomeada neste estudo de campanha anterior e possuiu duração de janeiro de 2014 à outubro de 2019, já para a segunda campanha – que será nomeada neste estudo de campanha atual - teve início em dezembro de 2019 e ainda está ocorrendo, portanto, possui menor período de duração. Entre as duas campanhas, houve a manutenção programada da planta, mas não ocorreu nenhuma mudança substancial nos equipamentos ou produtos dosados na operação

Os dados de processo foram medidos através de instrumentação em linha e os dados extraídos do simulador de processos Aspen Plus. Já as análises químicas foram realizadas em laboratório, as amostras eram coletadas diariamente para realização dos testes de pH, então, a análise era realizada utilizando o pHmetro de bancada. Para turbidez, a rotina de coleta de amostra era de duas vezes por semana e o teste realizado utilizando-se um turbidímetro, o qual pode ser visto na figura 10. A análise de teor de hidrocarbonetos foi iniciada durante a metade da segunda campanha e sua amostra era coletada uma vez por semana. A rotina de coleta de amostras pode sofrer alterações durante o presente estudo, a depender da necessidade da operação da planta.

Figura 10 - Turbidímetro Microprocessado Digital



Fonte: Bilbos, 2024.

Após a coleta, os dados foram submetidos à análise estatística. Para garantir a qualidade dos dados, foi utilizado LOL (*Lower Outlier Limit*) e UOL (*Upper Outlier Limit*) - limites inferiores e superiores, respectivamente, de *outliers* em um conjunto de dados. Qualquer valor no conjunto de dados que esteja abaixo do LOL ou acima do UOL é considerado um *outlier* e pode ser identificado como tal.

Considerações éticas foram incorporadas ao estudo, incluindo procedimentos para garantir a integridade dos dados e a confidencialidade dos resultados. Além disso, a determinação do coeficiente de variação satisfatório foi feita com base na média e no desvio padrão dos dados. Essa abordagem garante a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos na análise dos dados da planta de produção de eteno.

A análise desses dados foi direcionada para identificar quaisquer mudanças ou desvios nas condições operacionais e nas características físico-químicas da Água de Quench entre as duas campanhas. Essa comparação permitiu uma avaliação aprofundada das possíveis causas subjacentes da deterioração da qualidade da água e do aumento da turbidez.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O principal ponto de gatilho para o presente estudo foram os valores de turbidez – indicadores de emulsão, ou seja, que a separação entre óleo e água não ocorreu adequadamente – consistentemente fora da faixa de controle que definia como limite aceitável para o sistema até 700 NTU. A condição da Água de Quench com caráter de emulsão pode ser determinante, quanto mais emulsionada estiver a QW, maior será a indicação de turbidez.

É válido ressaltar que a análise de turbidez para amostra de água de Quench é realizada duas vezes na semana e, por limitações do equipamento utilizado para a medição (o turbidímetro), consegue medir apenas até 1000NTU, ou seja, é possível que tenhamos amostras com resultados maiores, porém o valor máximo encontrado nesse trabalho será 1000NTU. Na seguinte figura 11, temos exemplos de diferentes amostras de Água de Quench coletadas na campanha atual:

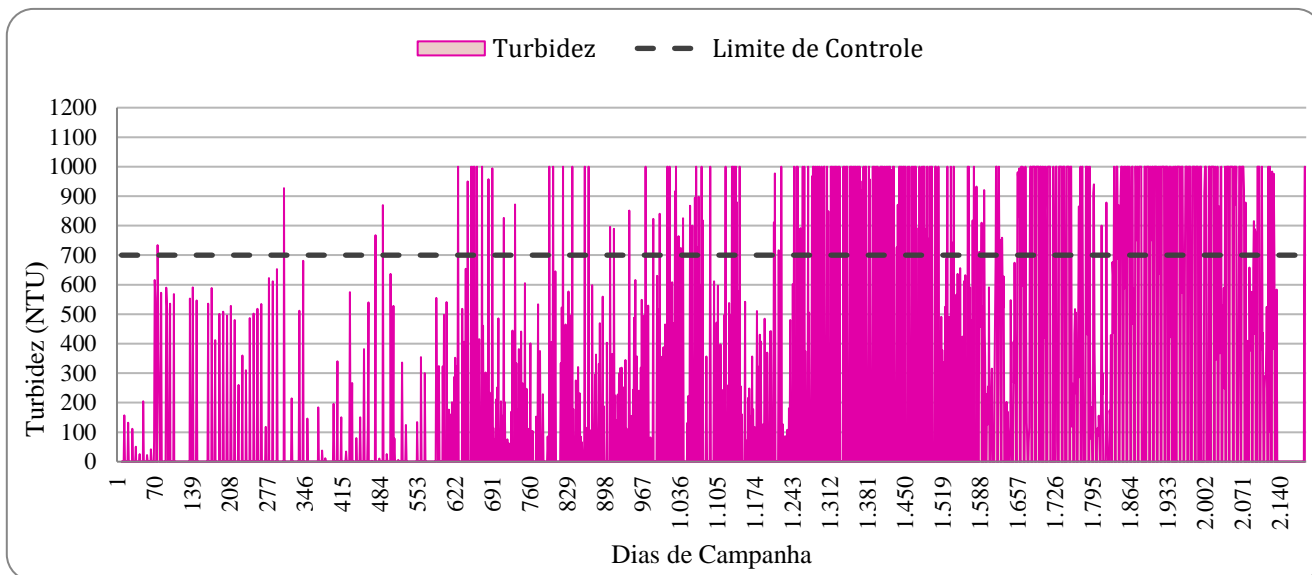
Figura 11 - Amostras de Água de Quench



Fonte: Autoria Própria

Primeiramente, iremos analisar o comportamento da turbidez ao longo da campanha anterior, com início em janeiro de 2014 e fim em outubro de 2019, com duração de quase 6 anos de acordo com o estabelecido pela empresa, no gráfico 1 a seguir:

Gráfico 1 - Turbidez Água de Quench Campanha Anterior

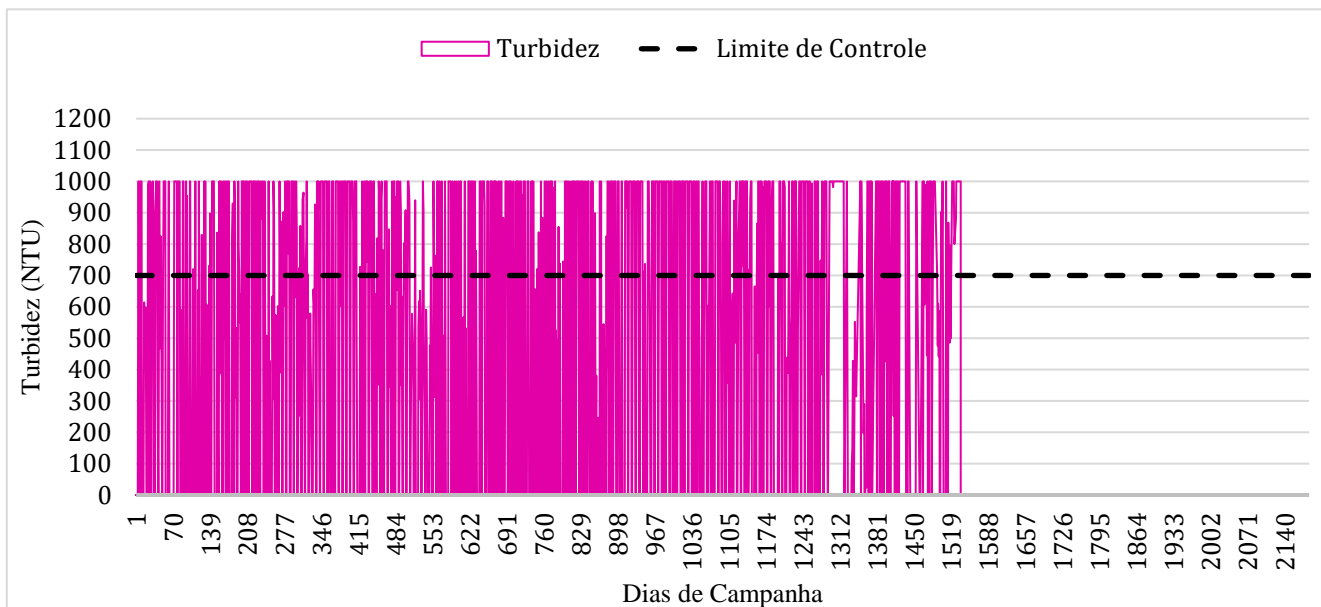


Fonte: Autoria Própria

No gráfico 1 acima, podemos perceber a incidência de valores acima do limite de controle (700NTU), porém há uma maior presença de valores dentro da faixa de controle, aproximadamente 18% dos resultados se compararmos com o gráfico de turbidez para a campanha atual, o qual

apresenta apenas 12% e valores dentro da faixa de controle, e está em seu 4º ano com previsão de 7 anos, como podemos ver abaixo no gráfico 2:

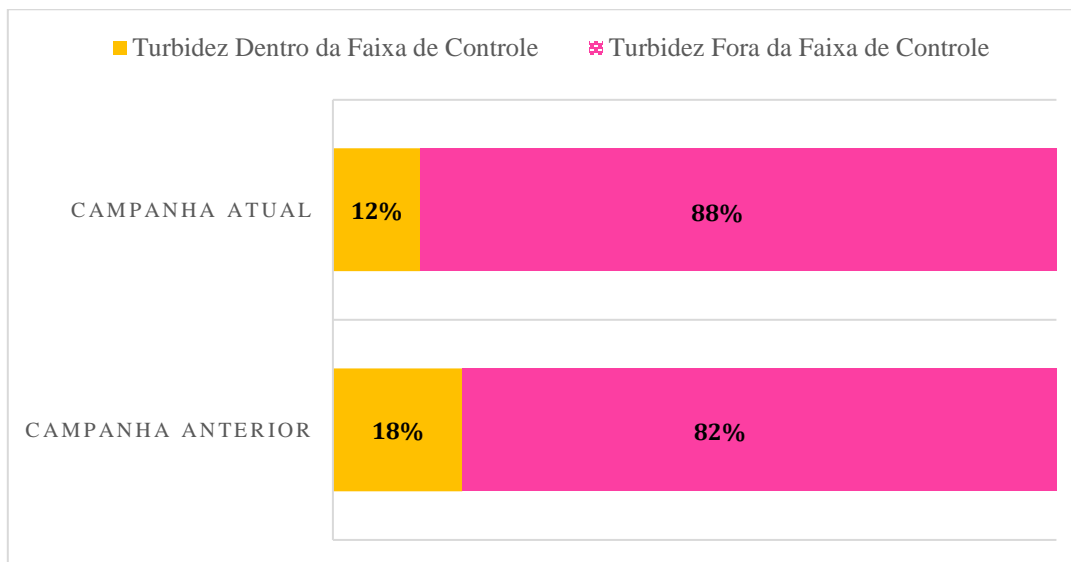
Gráfico 2 - Turbidez Água de Quench Campanha Atual



Fonte: Aatoria Própria

No gráfico 3 a seguir temos a comparação entre as campanhas. É possível perceber que em nenhuma das duas campanhas a Água de Quench apresentou bons resultados de forma constante, entretanto, entre a campanha anterior e a atual, houve uma piora nos resultados, equivalente a 6% a menos de resultados dentro da faixa de controle.

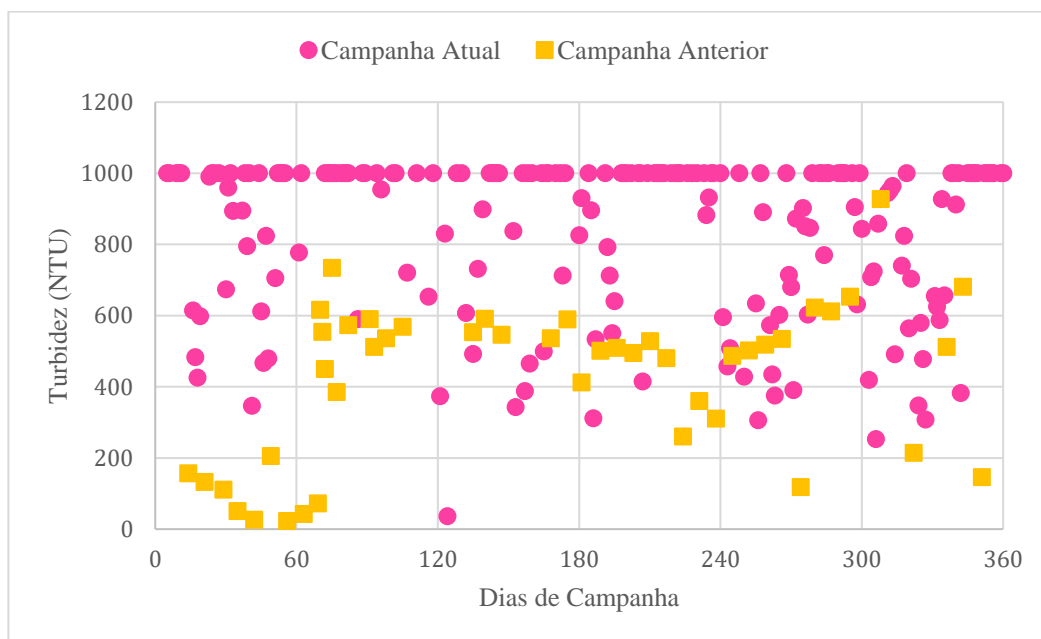
Gráfico 3 - Comparação entre análise de turbidez para cada campanha



Fonte: Autoria Própria

A variação na qualidade torna-se mais nítida ao selecionar um menor período de tempo para as duas campanhas, escolhendo o primeiro ano de operação para análise, tendo-se em vista que será o momento em que a QWT estará mais limpa após a manutenção e, portanto, podemos presumir que estará operando sem a incidência de nenhum problema, podemos comparar os resultados de turbidez para cada campanha no gráfico 4 a seguir.

Gráfico 4 - Comparação entre turbidez para o 1º ano de campanha



Fonte: Autoria Própria

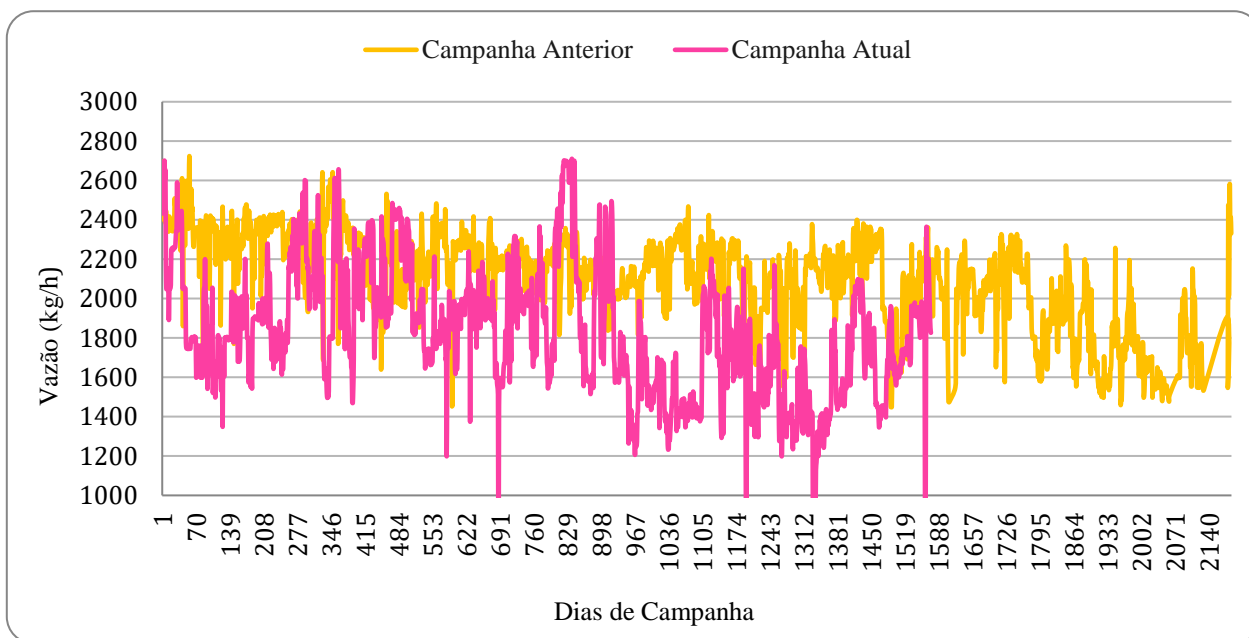


No gráfico 4, há a presença de menos dados disponíveis para o mesmo período de tempo, porém ainda é possível perceber a menor incidência de valores fora da faixa de controle de 700 NTU.

Na planta estudada, o vaso coalescedor está localizado na linha de refluxo para a torre de óleo de Quench, separando a água de quench do óleo, e não o óleo da água de processo enviada para a torre de *stripper*, acarretando na água que é enviada para a *stripper* seja de qualidade abaixo da desejada para um processo considerado ideal.

A partir desse ponto, deu-se a investigação das condições de processo que poderiam ter impactado na piora da qualidade da Água de Quench, ao comparar as duas campanhas. Outrossim, ao analisar o sistema, é necessário analisarmos as condições operacionais. Dessa forma, o gráfico 5 abaixo representa a comparação da vazão de reciclo entre as duas campanhas:

Gráfico 5 - Comparação da Vazão de Refluxo Entre Campanhas



Fonte: Autoria Própria

É possível perceber que, durante a campanha atual, embora – ocasionalmente - apresente picos maiores que durante a campanha anterior, ainda assim apresenta uma tendência decrescente em comparação. Tal fato pode ser visto mais claramente na tabela 1 abaixo, a qual apresenta valores médios menores de vazão de refluxo para a campanha atual.

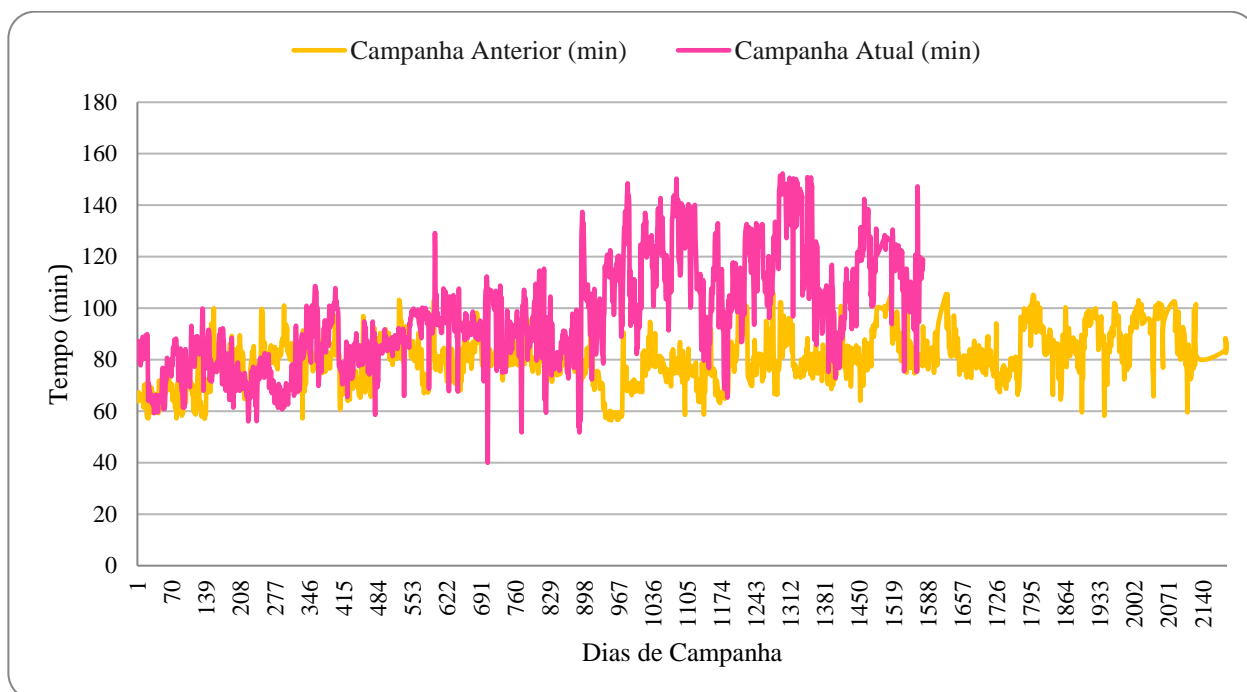
Tabela 1 - Comparação Estatística da Vazão de Refluxo Entre Campanhas

	Campanha Anterior	Campanha Atual
Valor Médio (kg/h)	2101,25	1832,48
Máximo (kg/h)	2724,03	2710,31
Mínimo (kg/h)	1449,00	623,84
Coefficiente de Variação (%)	0,11	0,18

Fonte: Autoria Própria

De acordo com Motta (2017), a vazão de reciclo impacta na velocidade de agitação da mistura óleo/água e, quanto maior essa velocidade, mais emulsionada ficará a amostra, sendo assim, uma menor vazão de reciclo irá favorecer uma melhor separação da água e do óleo e maior será o tempo de residência desse volume na QWT. O que pode ser averiguado no gráfico 6 e na tabela 2, a seguir:

Gráfico 6 - Comparação Entre o Tempo de Residência Entre Campanhas



Fonte: Autoria Própria

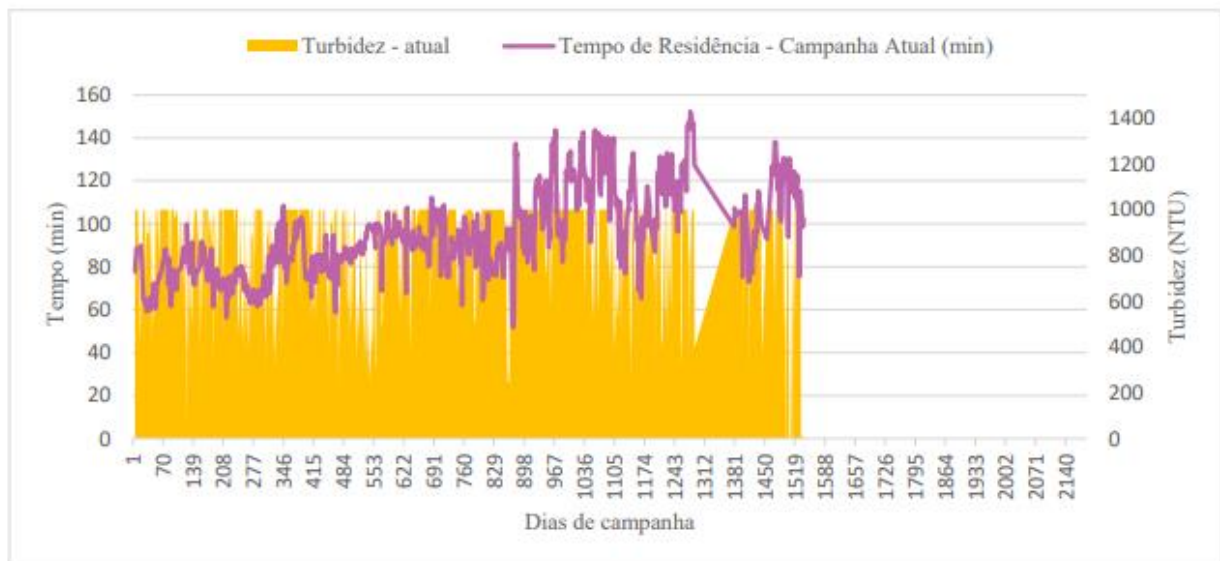
Tabela 2 - Comparação Estatística do Tempo de Residência Entre Campanhas

	Campanha Anterior	Campanha Atual
Valor Médio (min)	80,09	96,85
Máximo (min)	105,49	152,34
Mínimo (min)	56,44	39,97
Coefficiente de Variação (%)	0,12	0,22

Fonte: Aatoria Própria

É possível perceber que de acordo com Motta, (2017), Mores e Raymann (2014), a diminuição da vazão de reciclo da torre acarretou em um maior tempo de residência. No gráfico 7, há a comparação entre o tempo de residência e a turbidez para a campanha atual:

Gráfico 7 - Turbidez x Tempo de Residência



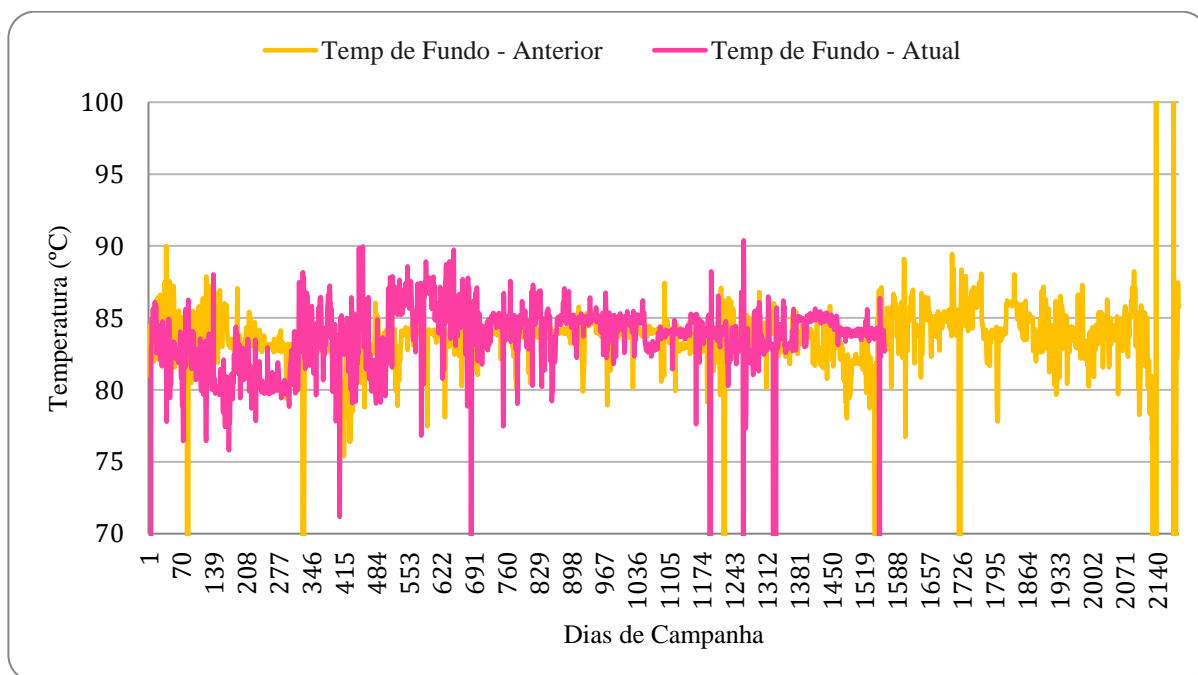
Fonte: Aatoria Própria

No gráfico 7 acima, nota-se que, o tempo de residência da água de quench na QWT não impacta de forma significativa a turbidez, fato exemplificado nos períodos os quais encontra-se

maior tempo de residência e, mesmo assim, a turbidez está na faixa de 1000 NTU como no período de 914 a 1071 dias de campanha. Ou seja, pode-se perceber que houve uma medida operacional com objetivo de melhora na qualidade da Água de Quench, mas não se atingiu resultados significativos.

Seguindo com a pesquisa, outro fator operacional primordial para a qualidade da Água de Quench é a temperatura de fundo da torre, o gráfico 8 e a tabela 3 apresentam o comparativo entre as campanhas.

Gráfico 8 - Comparativo da Temperatura de Fundo Entre Campanhas



Fonte: Autoria Própria

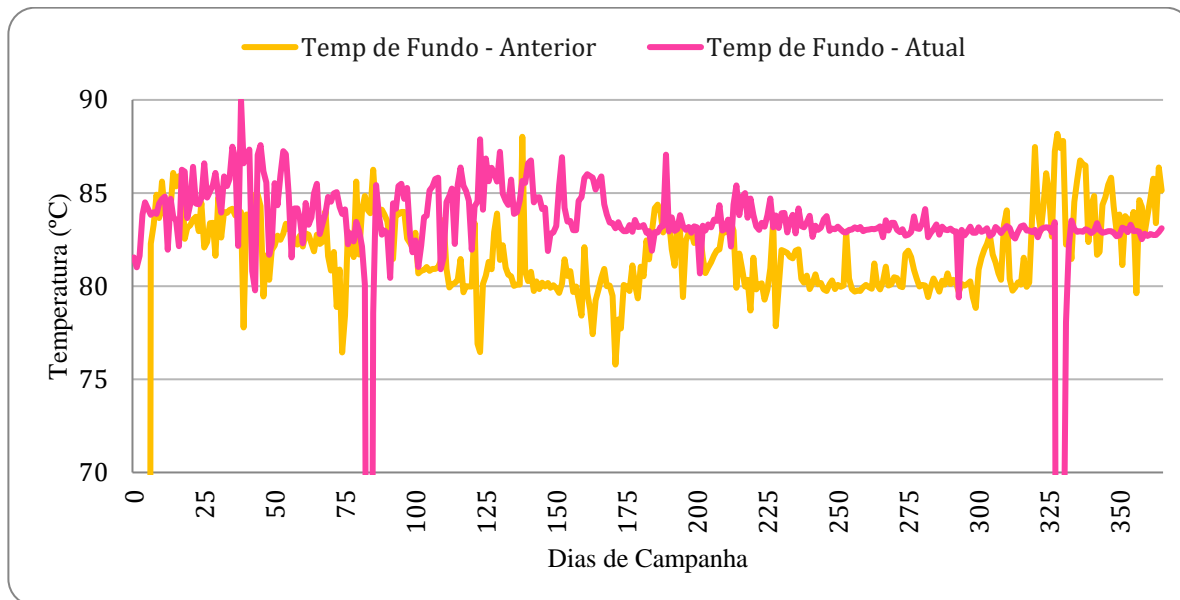
Tabela 3 - Comparação Estatística da Temperatura de Fundo Entre Campanhas

	Campanha Anterior	Campanha Atual
Valor Médio (°C)	82,53	83,35
Máximo (°C)	154,62	90,39
Mínimo (°C)	23,93	22,72
Coefficiente de Variação (%)	0,10	0,06

Fonte: Autoria Própria

Para melhor visualização dos dados, é possível separar os dados obtidos ano a ano para comparação, no gráfico 9 a seguir.

Gráfico 9 - Comparativo da Temperatura de Fundo 1º Ano de Campanha

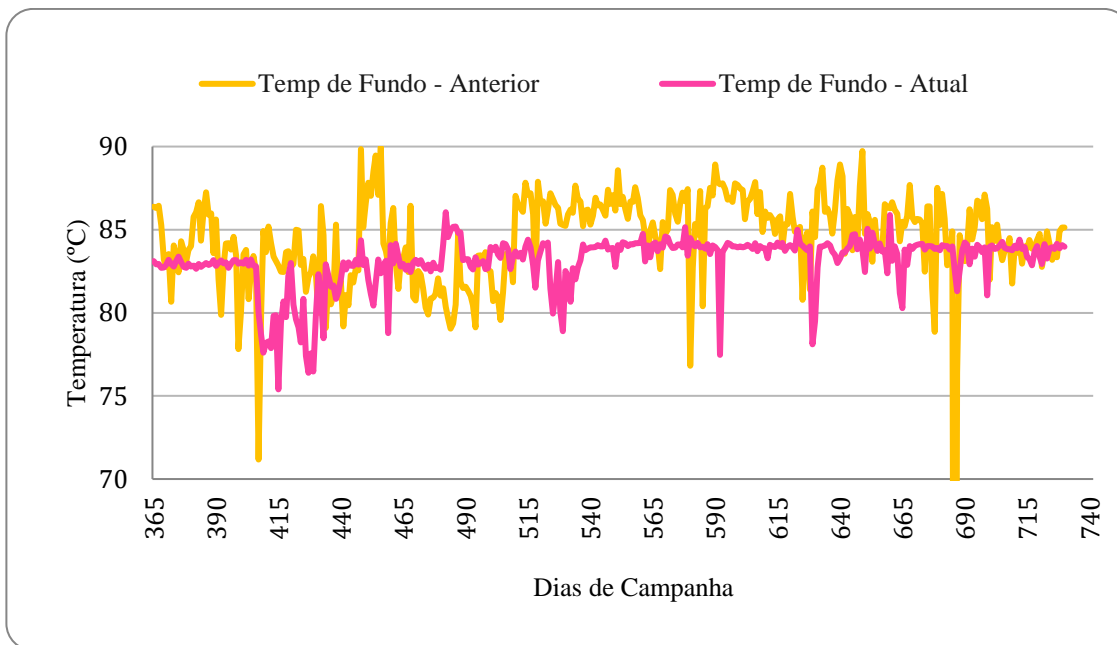


Fonte: Autoria Própria

Pode-se perceber que, em comparação com a campanha anterior, durante a campanha atual há valores maiores de temperatura de fundo para o mesmo período de tempo. Conforme MOTTA (2017), o aumento da temperatura interfere na tensão interfacial óleo-água, diminuindo a viscosidade do óleo e, conseqüentemente, favorecem o processo de separação das emulsões.

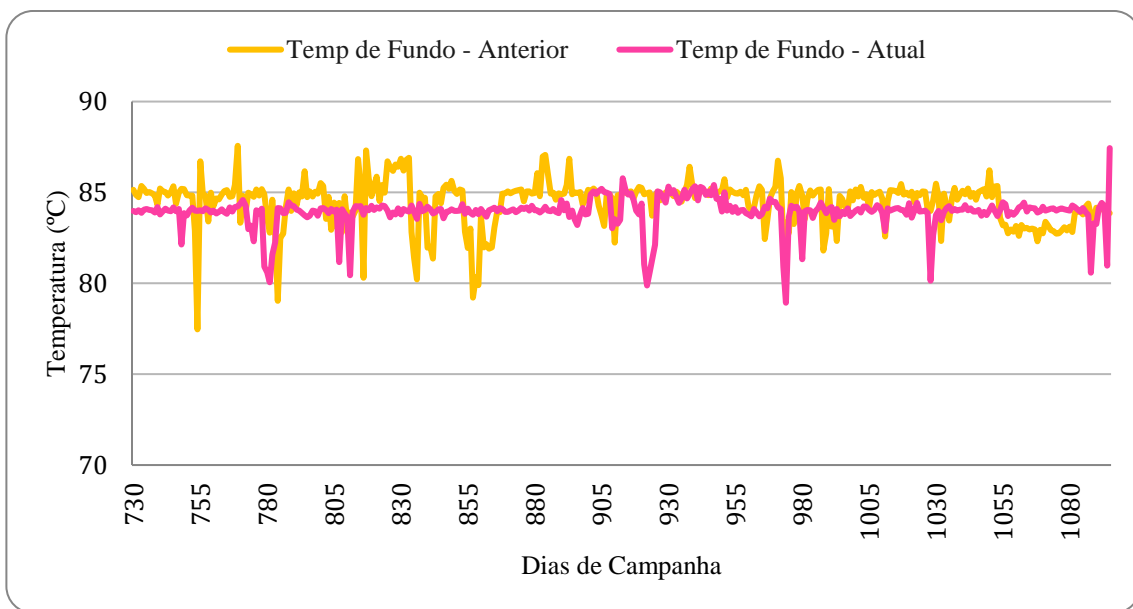
Ao analisar os seguintes anos de campanha de maneira similar, é possível notar que esse comportamento não se sucedeu nos demais anos, ou seja, a temperatura de fundo da QWT apresentou valores menores na campanha atual do que na campanha anterior, o que pode ser observado nos gráficos 10, 11 e 12 a seguir:

Gráfico 10 - Comparativo da Temperatura de Fundo 2º Ano de Campanha



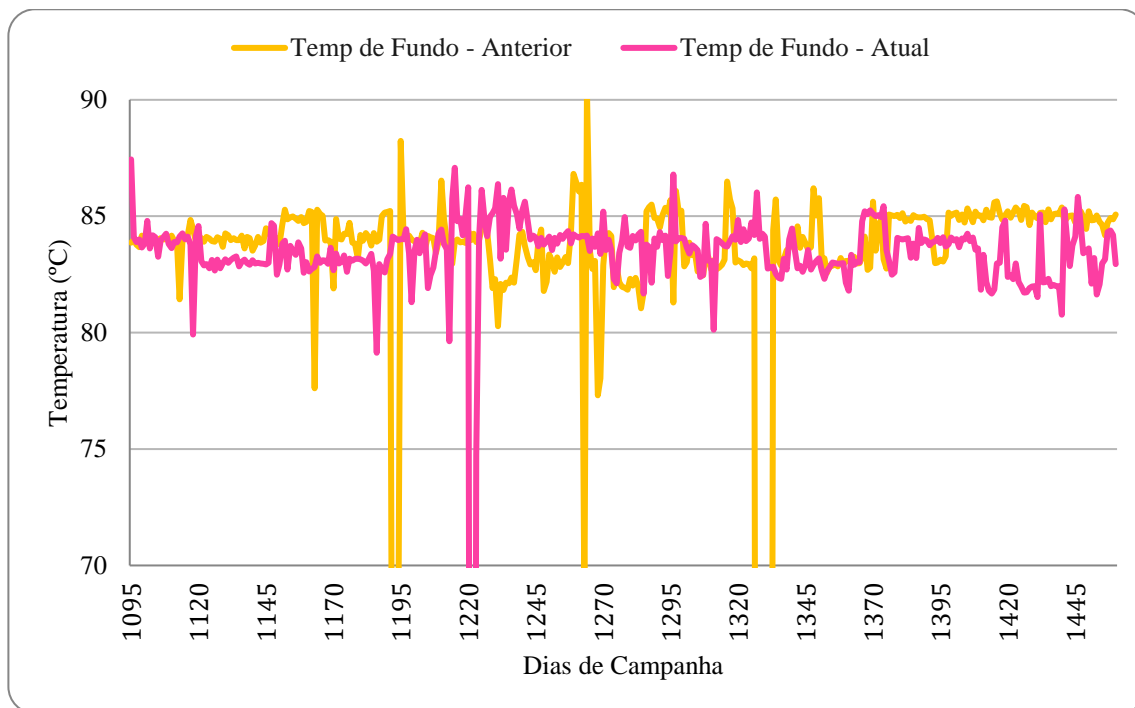
Fonte: Autoria Própria

Gráfico 11 - Comparativo da Temperatura de Fundo 3º Ano de Campanha



Fonte: Autoria Própria

Gráfico 12 - Comparativo da Temperatura de Fundo 4º Ano de Campanha

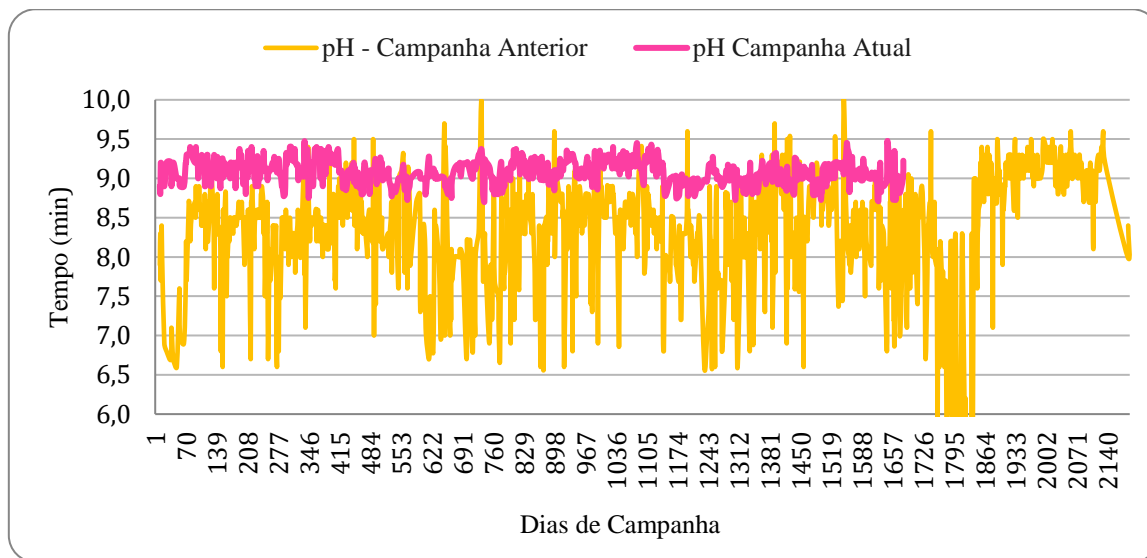


Fonte: Autoria Própria

Como pode ser visto nos gráficos 10, 11 e 12 acima, o comportamento da temperatura de fundo da QWT não se mantém o mesmo após o primeiro ano de campanha. A temperatura de fundo da campanha anterior, principalmente no 2º e 3º ano de operação, apresenta maior valor em comparação com a campanha atual, mesmo que de forma geral, o valor médio da temperatura de fundo da campanha atual seja maior que da campanha passada. Dessa forma, pode-se compreender por que, ao contrário do que é esperado pela literatura, o aumento de temperatura referente a campanha atual não é o suficiente para que haja a melhora da qualidade de Água de Quench.

No que tange parâmetros físico-químicos, o principal para o presente trabalho é o pH. Valores menores de pH levam a uma menor emulsão, no gráfico 13 e na tabela 4 pode-se comparar os valores de pH para cada campanha.

Gráfico 13 - Comparativo do pH Entre Campanhas



Fonte: Autoria Própria

Tabela 4 - Comparação Estatística do pH Entre Campanhas

	Campanha Anterior	Campanha Atual
Valor Médio	8,37	9,09
Máximo	10,00	9,48
Mínimo	4,50	8,70
Coeficiente de Variação (%)	0,09	0,02

Fonte: Autoria Própria

É possível notar que, ao longo da campanha anterior, os valores de pH eram menores e mais variáveis, possuindo inclusive uma média menor. Na campanha corrente, os valores se encontram na faixa de 8,7 a 9,5. Essa alteração na faixa do pH pode ser o maior agente causador para a qualidade de Água de Quench ter piorado entre campanhas. Em investigação conjunta com a planta petroquímica, uma das causas para tal incremento dos valores de pH, está relacionada com uma contaminação de amônia na planta, o que mantém a QW em valores altos e constantemente saturados.

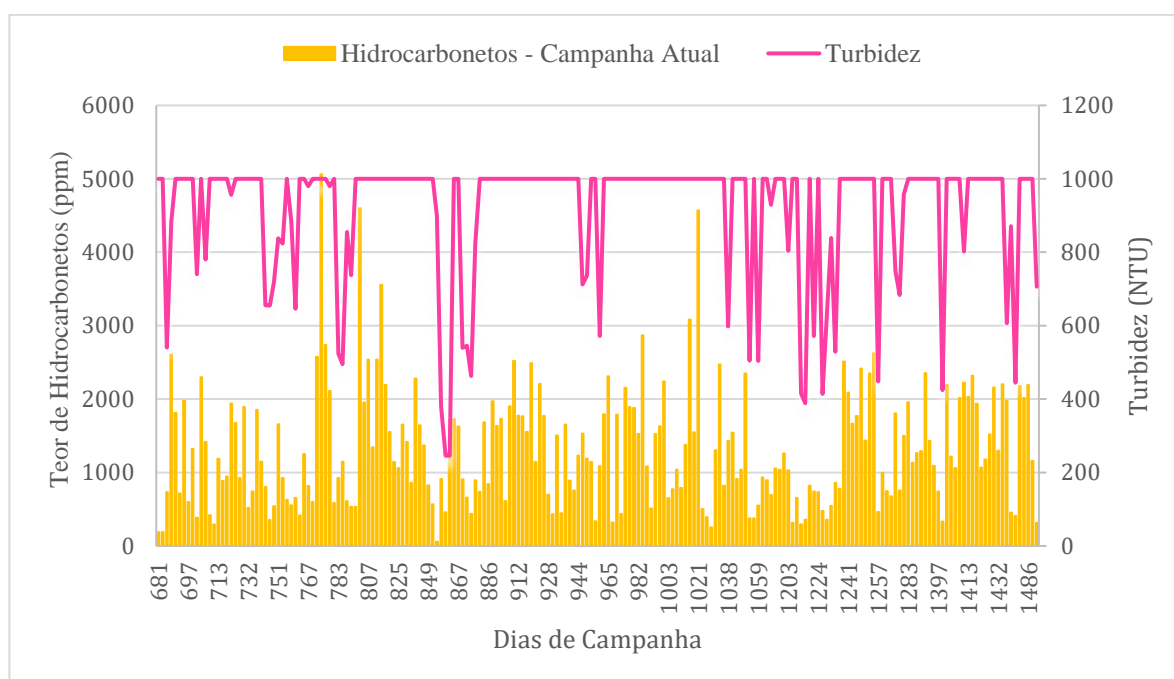
Para a torre analisada, a formação de emulsão se torna um problema visto que a sua incidência na torre de água de Quench reduz a eficiência da separação dos hidrocarbonetos da água. Conseqüentemente, mais precursores orgânicos e inorgânicos de *fouling* são enviados ao



*loop* de Água de Quench e para o gerador de vapor por meio da água de processo. No tipo de unidade alvo deste estudo, o principal tipo de *fouling* é advindo como produto de reações químicas de polimerização.

Referente ao teor de hidrocarbonetos na Água de Quench, não será possível fazer o estudo comparativo entre campanhas haja vista que a análise começou a ser feita apenas na metade da campanha atual, como uma medida protetiva para controlar o sujamento da planta. Entretanto, por se tratar de um parâmetro importante para esse estudo, será feito a análise correlacional entre o teor de hidrocarbonetos e a turbidez, como é possível ver no gráfico 14.

Gráfico 14 - Relação entre o teor de hidrocarbonetos e a turbidez



Fonte: Autorial Própria

Na Torre de Água de Quench existem dienos conjugados e a temperatura pode variar o suficiente para ocasionar a polimerização por radicais livres em escala impactante para os sistemas posteriores. Esse processo acaba reduzindo a geração de vapor de diluição através da obstrução do vaso gerador de vapor e pode acelerar a ocorrência de corrosão. A principal causa de *fouling* por reação química na geradora de vapor é a baixa eficiência na separação de compostos da gasolina de pirólise no sistema de água de quench, mais especificamente no vaso separador. O arraste de hidrocarboneto do vaso de água de quench para o sistema de água de processo é causado principalmente pela formação de uma emulsão de hidrocarbonetos na água que é enviada para o gerador de vapor de diluição. Se houver estireno/aromáticos insaturados/polímeros na água de

entrada da Stripper de Água de Processo, pode haver polimerização devido às altas temperaturas, e, em muitos casos, os problemas de polimerização podem reduzir a produção da unidade a ponto de ser necessária a parada da planta para a limpeza do gerador.

Estes polímeros, de alto peso molecular, deveriam ser removidos na gasolina do sistema, no entanto, a ocorrência de emulsão no fundo da torre ocasionará o arraste destes compostos, seja monômero e/ou polímeros para o sistema de água de processo. Este processo de formação de polímeros geralmente é insuficiente para provocar prejuízos no próprio sistema de Água de Quench, no entanto a partir da PWS ocorre a concentração/precipitação e a aceleração deste processo (CARNEIRO, 2021).

Dessa forma, constata-se que, nos períodos em que a concentração de hidrocarbonetos está menor (abaixo de 1000 ppm), reflete em turbidez com valores menores que 600 NTU, como já era o esperado a partir da literatura.

Como foi possível constatar, houveram tentativas operacionais para melhora da qualidade da Água de Quench, porém não alcançaram os resultados pretendidos. Dessa forma, é válido ressaltar a necessidade de além de medidas operacionais a incrementação já existente dosagem de produtos específicos para tratar o problema de emulsão.

## **7. CONCLUSÃO**

Ao longo do presente trabalho, foi realizada uma análise comparativa detalhada entre a campanha anterior e a atual, com o objetivo de identificar mudanças nos procedimentos operacionais que possam ter impactado negativamente a qualidade da Água de Quench, refletida nos constantes valores de turbidez acima do especificado. O estudo concentrou-se na investigação de variáveis críticas como vazão de refluxo, tempo de residência, temperatura de fundo, pH e teor de hidrocarbonetos. Dessa forma, foi possível perceber tentativas operacionais de melhorar a qualidade da QW a partir de aumento da temperatura de fundo da QWT, decréscimo da vazão de refluxo e, por conseguinte, aumento do tempo de residência, porém que não atingiram os resultados esperados.

Esta abordagem permitiu uma compreensão mais clara dos fatores que influenciam a turbidez da água. A metodologia aplicada mostrou-se eficaz na identificação de mudanças entre as campanhas.

A comparação das variáveis mencionadas revelou que a temperatura de fundo média aumentou da campanha anterior para a campanha atual, o que deveria ter melhorado a qualidade

de separação, o que não ocorreu na prática, possivelmente por ser uma prática que não se mostrou constante ao longo do tempo, assim como o aumento do tempo de residência. Também foi possível analisar que o pH possuiu um aumento significativo, mantendo-se constante em um patamar mais elevado, entre 8,7 a 9,5. Este foi o fator identificado como possível causador do aumento da turbidez, a variação no pH pode ter alterado o equilíbrio químico da água, contribuindo para a maior turbidez observada. Os dados analisados indicam que esse parâmetro deve continuar a ser monitorado e controlado de forma mais rigorosa para evitar futuros desvios nos padrões de qualidade. Este estudo reforça a importância de uma análise contínua e detalhada das condições operacionais para a manutenção da qualidade da Água de Quench, haja vista que o pH isolado possivelmente não é o único responsável pela piora da QW.

As contribuições deste trabalho são significativas para a área de gestão da qualidade em processos industriais. As descobertas fornecem uma base para o desenvolvimento de novas estratégias e alternativas mais assertivas na investigação e otimização da qualidade da Água de Quench. Embora a pesquisa tenha sido limitada pelo uso de dados históricos, esta abordagem permitiu uma análise eficiente sem a necessidade de novas coletas de dados, maximizando o uso das informações disponíveis. Em conclusão, este trabalho não só contribui para a melhoria dos processos operacionais, mas também abre caminho para futuras pesquisas que possam aprofundar a compreensão dos fatores que afetam a qualidade da Água de Quench.

## REFERÊNCIAS

ABDI. Caracterização da Cadeia Petroquímica e da Transformação de Plásticos, 2009. Disponível em: <<https://www.simpesc.org.br/wp-content/uploads/arquivos/6ed4a37d32.pdf>>.

ABIPLAST - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (2018a). Perfil 2017. Publicação anual da ABIPLAST. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2017/>

BOTT, T. R., **Fouling of Heat Exchangers**, Elsevier, 1st edition, 1995

CHARLES E. HAMMOND AND ERIC WALKER. Ethylene quench system fouling. AICHE, p. 23–27, 2006.

DE ANDRADE, G. H. Estudo da Espectroscopia na Região do Infravermelho Médio e Próximo para Previsão das Propriedades do Petróleo e Emulsão de Petróleo do Tipo Água em Óleo. Disponível em: <<http://epqb.eq.ufrj.br/download/previsao-das-propriedades-do-petroleo.pdf>>.

DE MAGALHÃES PINHEIRO BONASSI MACHADO, P. F. Polimerização Via Radical Livre Para Polímeros Lineares E Ramificados Usando Iniciadores Mono E Difuncional. Disponível Em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/296837666.pdf>>. Acesso Em: 12 Jun. 2024.

DE OLIVEIRA MARTINS, A. Escoamento De Dispersões Óleo-Água Em Colunas Recheadas – Avaliação Da Unidade Dox. Estudo De Caso: Braskem. [S.L.] Universidade Federal Do Rio De Janeiro, 2013

DIEESE. As recentes mudanças no segmento petroquímico. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.dieese.org.br/notatecnica/2022/notaTec266MudancasSegmentoPetroquimico.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EPE. Panorama do Refino e da Petroquímica no Brasil. NOTA TÉCNICA DPG-SPT No 04/2018, 2018. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-/topico-412/NT%20Refino%20e%20Petroqu%20C3%ADmica\\_2018.11.01.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-/topico-412/NT%20Refino%20e%20Petroqu%20C3%ADmica_2018.11.01.pdf)>.

FERNANDES F; LONA L. **INTRODUÇÃO À MODELAGEM DE SISTEMAS DE POLIMERIZAÇÃO**. 1º ed. São Carlos, SP: Editora Booklink, 2004.

HUUSARI, L. *Analysis of phase separator design criteria using computational fluid dynamics. Dissertação (Mestrado)* - Curso de Engenharia Química, Lappeenranta University of Technology, Lut School of Engineering Science, 2015.

KOTZ, C. J.; Jr. THEICHEL, P. M. **Química Geral 1 e Reações Químicas** Trad. de Flávio Maron Vichi. São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2008. p. 540-544.

LEITE, L. F. **Olefinas Leves: Tecnologia, Mercado e Aspectos Econômicos**. [S.l.]: Inter-ciência, 2013.

LINCK, A. P. S. Estudo do Sistema de Água de Processo Braskem UNIB. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jul. 2012.

MAGALHÃES, S. V. (2016). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos – EPQB. Fonte: Site da EPQB: <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/area-de-compressao-do-gas-de-carga-de-uma-unidade-petroquimica-de-producao-de-eteno.pdf>

MALDONADO, M. A.; PICKETT, T. M., *Process Water Treatment In Ethylene Plants*, AIChE Paper 92d, 2013.

MATOS, D. S. Proposta de procedimento para análise de desempenho de uma coluna de destilação em uma unidade petroquímica na produção de eteno. Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFRJ, 2017.

MCLEAN, J. D.; KILPATRICK, P. K. Effects of Asphaltene Solvency on Stability of Water-in-Crude-Oil Emulsions. *Journal Of Colloid And Interface Science*, v. 189, n. 2, p. 242-253, 1997.

MOREIRA, J. P. *Kinetics and Feed Characterisation*. Lisboa: Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Técnico Lisboa, 2015

MORES, C.; RAYMANN, F. S. Análise do tempo de residência em fluidodinâmica de coluna borbulhante para diferentes perfis de alimentação. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia química, Universidade de Tecnologia do Paraná, 2014.

MOTTA, Cinthia Devillart; PORFIRIO, Livia Marques; GOMES, Vanessa Limeira Azevedo, Estudo experimental do efeito da temperatura e da velocidade de sedimentação das emulsões. *Cadernos de Graduação – ciências exatas e tecnológicas*, Maceió, maio de 2017.

PONTE, H. de A. Fundamento da corrosão. Apostila. Disciplina: Eletroquímica aplicada e Corrosão. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Paraná. 2003.

RUSSEL, J. B. **Química Geral** Trad. de Divo Leonardo Sanioto; Graciliano de Oliveira Neto, Lílian Rothschild Franco de Carvalho; et al; coordenadores Geraldo Vicentini; Lea Barbieri Zinner. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1981. p. 344-345

SPEIGHT, J. G. **Handbook of Petroleum Analysis**. 1 st ed, New York, USA: John Wiley & Sons, 2001. 474 p.

*Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 2130 turbidity in: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press.*

TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R. **Eletroquímica – Princípios e Aplicações**, EdUsp, 2ª edição, 2005.