

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

MAÍRA ESTEFÂNIA DE LARA AMARAL

**BENEFÍCIO DA ANÁLISE DO ÓLEO LUBRIFICANTE
PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA DE UMA TURBINA
A VAPOR**

BAURU
2016

MAÍRA ESTEFÂNIA DE LARA AMARAL

**BENEFÍCIO DA ANÁLISE DO ÓLEO LUBRIFICANTE
PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA DE UMA TURBINA
A VAPOR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título em Engenharia Química, sob orientação da Prof. Dr. Angelo Ricardo Fávaro Pipi

**BAURU
2016**

A485b Amaral, Maíra Estefânia de Lara.

Benefício da análise do óleo lubrificante para manutenção preditiva de uma turbina a vapor / Maíra Estefânia de Lara Amaral. -- 2016.
70f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Ricardo Fávaro Pipi.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. Petróleo. 2. Refino. 3. Lubrificantes. 4. Manutenção preditiva. 5. Turbina a vapor. I. Pipi, Angelo Ricardo Fávaro. II. Título.

MAÍRA ESTEFÂNIA DE LARA AMARAL

**BENEFÍCIO DA ANÁLISE DO ÓLEO LUBRIFICANTE PARA
MANUTENÇÃO PREDITIVA DE UMA TURBINA A VAPOR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título em Engenharia Química, sob orientação do Prof. Dr. Angelo Ricardo Fávaro Pipi.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Angelo Ricardo Fávaro Pipi
Universidade do Sagrado Coração

Profa. Esp. Raquel Teixeira Campos
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Marcelo Telascrêa
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 05 de dezembro de 2016.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por sempre estar ao meu lado, aos meus pais, Solange e Rubens, ao meu irmão Rafael, por serem a minha base de vida, sempre me deram forças para nunca desistir, me ajudaram no que puderam me deram muito amor e carinho para alcançar minhas conquistas.

Ao meu Noivo, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando, ajudando e incentivando.

Dedico a todos que de coração me acompanharam na realização deste sonho e que ficaram orgulhosos por mais esta conquista em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre presente em minha vida, pelas vitórias concedidas e por ter me dado forças para encarar todos esses anos acadêmicos.

Aos meus pais, Solange e Rubens, por todo amor, carinho e educação que tenham me presenteado durante toda minha vida, por sempre me apoiarem e por nunca deixar eu desistir deste sonho. Amo muito vocês.

Ao meu noivo Alexandre, por todo amor, carinho, companheirismo, dedicação, disposição, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, me ajudando, apoiando e incentivando. Simplesmente Te Amo.

Ao meu irmão Rafael, por ter dedicado um pouco do seu tempo a me ajudar, pelo amor e carinho por sempre cuidar de mim, por sempre me proteger, obrigada por ser este irmão maravilhoso em minha vida. Te amo.

A minha cunhada Daniele e ao meu sobrinho Guilherme, por todo amor e carinho por sempre torcerem pelo meu sucesso e pelas suas orações.

A minha avó Cacilda, por sempre orar por mim, sempre pedir a Deus proteção e forças para eu poder conquistar meus objetivos.

Aos meus sogros, Cinthya e José Eduardo, por todo carinho, apoio, compreensão e por sempre me tratarem com muito amor.

Aos meus cunhados Adriana e Márcio, pela amizade, carinho e por sempre torcerem por mim.

Aos meus avós Ivone e João (em memória), sei que ficariam muito orgulhosos por esta conquista em minha vida.

A todos meus colegas que me incentivaram e me ajudaram com palavras motivadoras.

A todos os colegas da sala, pela amizade que construímos durante a jornada acadêmica.

Ao meu orientador Angelo Ricardo Fávaro Pipi, pelas orientações e dedicação, foram essenciais para o desenvolvimento desse trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Química da USC, por terem compartilhado todo conhecimento necessário para minha formação pela dedicação, atenção e paciência durante estes cinco anos.

“Não é possível falar de crescimento humano, se antes não falarmos de reconhecimento dos nossos limites”.

“O primeiro passo é reconhecer onde precisamos melhorar”.

(Padre Fábio de Melo)

RESUMO

Diante da importância da manutenção de diversos equipamentos industriais (turbina a vapor) que empregam óleo na sua operação, surge a necessidade de se analisar óleos, a fim de prolongar a vida útil desses equipamentos, com auxílio de diversas análises (viscosidade, índice de acidez total, contagem de partículas, espectroscopia de emissão atômica e infravermelha) com o intuito de identificar sintomas que antecipem falhas inesperadas, realizando, assim, a correção dentro de situações favoráveis, inibindo a ocorrência de parada do processo sem planejamento, apoiando a manutenção industrial. A turbina a vapor trabalha em condições mais rigorosas (altas temperaturas e pressões elevadas), desta forma, acaba exigindo bastante do óleo lubrificante empregado. Quando contaminado perde algumas de suas características comprometendo o seu desempenho, podendo acarretar em ineficiência na sua lubrificação e gerar grandes prejuízos. Com análises preditivas realizadas trimestralmente, foi possível avaliar neste trabalho o desempenho do lubrificante dentro da turbina a vapor. Diante dos resultados observados, sugere-se que o óleo com seis meses de uso é recomendável à retirada do óleo para fazer uma filtração com desumidificação para retirada da água do sistema ou a troca do óleo, na última amostra analisada, com nove meses de uso, é extremamente necessária à troca do óleo, pois o lubrificante perde a sua eficiência, danificando e comprometendo o funcionamento da turbina a vapor. Tomando as devidas ações, o resultado final será o aumento da vida útil deste equipamento.

Palavras-chave: Petróleo. Refino. Lubrificantes. Manutenção Preditiva. Turbina a Vapor.

ABSTRACT

Given the Importance of the maintenance of several industrial equipment (steam turbine) that employ oil in its operation, the need arises to analyze oils, in order to prolong the useful life of these equipment, with the aid of several analyzes (viscosity, total acidity index, Particle counting, atomic and infrared emission spectroscopy) in order to identify symptoms that anticipate unexpected failures, thus performing the correction within favorable situations, inhibiting the occurrence of the process stop without planning, supporting the industrial maintenance. The steam turbine works under more rigorous conditions (high temperatures and high pressures), in this way, ends up requiring a lot of the lubricating oil used. When contaminated it loses some of its characteristics compromising its performance, being able to cause in inefficiency in its lubrication and generate great damages. With predictive analyzes performed quarterly, it was possible to evaluate in this work the performance of the lubricant inside the steam turbine. In view of the observed results, it is suggested that the oil with six months of use is recommended to remove the oil to make a filtration with dehumidification to withdraw the water from the system or the exchange of oil, in the last sample analyzed, with nine months of use, It is extremely necessary to change the oil, as the lubricant loses its efficiency, damaging and compromising the operation of the steam turbine. Taking the appropriate actions, the end result will be the increase in the useful life of this equipment.

Keywords: Petroleum. Refining. Lubricants. Predictive maintenance. Steam turbine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma classificação dos hidrocarbonetos.....	19
Figura 2 - Compostos encontrados nos óleos parafínicos.....	19
Figura 3 - Composto encontrada no óleo naftênicos.....	20
Figura 4 - Compostos orgânicos encontrados no óleo aromáticos.....	20
Figura 5 - Etapas do processamento do refino do óleo cru.....	22
Figura 6 - Processo simplificado de produção de óleos básicos	23
Figura 7- Distribuição de produtos destilados na curva TBP	24
Figura 8 - Especificações dos óleos básicos.....	27
Figura 9 - Funções da lubrificação	29
Figura 10 - Tipos de óleo base mineral.....	31
Figura 11 - Aditivos e suas especificações.....	34
Figura 12 - Gráfico que representa o ponto ótimo de disponibilidade	36
Figura 13 - Gráfico com modelo ideal no custo de Manutenção.....	38
Figura 14 - Prática da manutenção preditiva.....	38
Figura 15 - Requisitos para a manutenção preditiva.....	43
Figura 16 - Amostras para análises preditivas	45
Figura 17 - Local para a retirada do óleo.....	46
Figura 18 - Forma para coletar	47
Figura 19 - Viscosímetros Cannon para Líquidos transparentes.....	48
Figura 20 - Viscosímetro Automático	49
Figura 21 - Recipiente do Herzog.....	49
Figura 22 - Equipamento Karl Fischer	51
Figura 23 - Titulador automático	52
Figura 24 - Contador de partículas	53
Figura 25 - Equipamento de emissão atômica	54
Figura 26 - Equipamento de infravermelho	56
Figura 27 - Regiões dos parâmetros do infravermelho	57
Figura 28 - Espectros das amostras analisadas.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos químicos e seu teor em massa presentes no petróleo.....	18
Tabela 2 - Classificações dos compostos parafínicos, naftênicos e aromáticos.....	21
Tabela 3 - Valores de classificação do °API.....	22
Tabela 4 - Característica óleo de turbina 68.....	41
Tabela 5 - Valor das constantes e faixa de trabalho.....	50
Tabela 6 - Valores obtidos da viscosidade.....	58
Tabela 7 - Valores obtidos da água de Karl Fischer.....	59
Tabela 8 - Valores obtidos de IAT.....	59
Tabela 9 - Valores obtidos da Contagem de Partículas.....	60
Tabela 10 - Valores obtidos dos elementos metálicos.....	61
Tabela 11 - Valores obtidos de oxidação.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al - Alumínio

° API - Grau American Petroleum Institute

ASTM - American Society for Testing and Materials

C - Carbono

C_{1,2,3} - Constantes

Cr - Cromo

Cu - Cobre

H - Hidrogênio

Fe - Ferro

°C - Grau Célsius

IAT - Índice Total de Acidez

ISO - International Organization for Standardization

Li - Lítio

mg/Kg - Miligramas por Quilogramas

mg/ml - Miligramas por milímetros

mm²/s - Milímetros ao quadrado por segundo

Na - Sódio

Ni - Níquel

P.A - Pureza Analítica

Pb - Chumbo

Si - silício

Sn - estanho

TBP- True Boiling Point

µm - micrometro

V- Vanádio

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
4.1 O PETRÓLEO	17
4.1.1 COMPOSIÇÃO DO PETRÓLEO.	17
4.1.2 HIDROCARBONETOS	18
4.2 O REFINO	22
4.3 LUBRIFICANTES	27
4.3.1 TIPOS DE ÓLEOS LUBRIFICANTES.	30
4.3.2 PROPRIEDADES DOS LUBRIFICANTES	32
4.3.3 CARACTERÍSTICAS E ANÁLISES TÍPICAS DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES.....	32
4.4 ADITIVOS	33
4.5 LUBRIFICANTES INDUSTRIAIS	34
4.5.1 CLASSIFICAÇÃO ISO	35
4.5.2 A LUBRIFICAÇÃO COMO MANUTENÇÃO	35
4.5.3 PROCESSOS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA	39
4.6 TURBINA A VAPOR	40
4.6.1 LUBRIFICAÇÃO DAS TURBINAS A VAPOR.	40
4.6.2 CARACTERÍSTICA DO ÓLEO LUBRIFICANTE PARA TURBINA.....	41
4.6.4 SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DAS TURBINAS.....	42
4.6.5 MANUTENÇÃO PREDITIVA DAS TURBINAS	43
5.0 MATERIAS E MÉTODOS	44
5.1 MÉTODO DE COLETA DO ÓLEO EM UMA TURBINA A VAPOR	45
5.2 ESCOLHA DO PONTO DE COLETA.....	46
5.3 ANÁLISES PREDITIVAS DO ÓLEO LUBRIFICANTE	47
5.3.1 VISCOSIDADE.....	47
4.5.2 ÁGUA DE KARL FISCHER	51
4.5.3 ÍNDICE DE ACIDEZ TOTAL (IAT).....	52
4.5.4 CONTAGEM DE PARTÍCULAS.....	53

4.5.5 DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS	54
4.5.6 INFRAVERMELHO	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
REFERÊNCIA	65

1 INTRODUÇÃO

O petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos, compostos orgânicos e variáveis de não hidrocarbonetos, é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água. Sendo estas as características iniciais da matéria prima dos lubrificantes [1,2].

O refino tem a função de dividir o óleo cru em grupos demarcados pelo ponto de ebulição de seus componentes e em seguida diminuir as frações a seus diversos produtos como o óleo lubrificante [3].

Os óleos lubrificantes são misturas complexas de hidrocarbonetos saturados alcanos, cicloalcanos e aromáticos, obtidos a partir do petróleo, mediante processos de refino que tendem a diminuir compostos indesejáveis para a formulação dos lubrificantes, que é responsável por promover uma película adequada para a lubrificação [4]. O lubrificante é uma substância que fica entre duas superfícies em movimento formando uma película capaz de evitar o contato direto dessas duas superfícies, fazendo reduzir o atrito e em seguida o desgaste gerado pelo calor, protegendo a máquina da ferrugem e aumentando a vida útil das peças [5].

A manutenção é definida como um conjunto de ações que permite manter um bem a um estado operacional, efetuando operações que possibilitam a conservação potencial do equipamento, para garantir a continuidade e a qualidade da produção [6]. Manutenção Preditiva permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnica de análise de sinais, utilizando-se meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e corretiva [7].

A principal função de uma turbina a vapor é transformar energia térmica do vapor em energia cinética, devido à sua expansão através dos bocais. As turbinas por trabalharem em condições rígidas, faz com que os óleos lubrificantes também trabalhem em condições mais rigorosas, em altas temperaturas e pressões elevadas. Com estas condições, pode ocasionar algumas consequências (como contaminação por água) aos óleos empregados nas turbinas a vapor [8,9,10].

Através de algumas análises preditivas é possível verificar o momento exato da troca do lubrificante e identificar sintomas de desgaste de um componente. Isto é possível devido ao monitoramento quantitativo de partículas sólidas presentes no

fluido, aliado a análise preditiva [11], pois a deteriorização é um processo onde diminui o rendimento do lubrificante nas suas funções [12].

Os equipamentos estão sujeitos a deteriorização, que induz a manifestação de defeitos que podem atrapalhar o desempenho e qualidade do equipamento, como uma quebra não prevista traz perda de tempo na produção, gastos excessivos e reduz a produtividade, gerando grandes prejuízos. A análise preditiva do óleo lubrificante é uma ferramenta capaz de diminuir o risco de falhas prematuras dos equipamentos pelo monitoramento da contaminação do óleo durante o funcionamento da turbina a vapor. Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho busca apresentar dados da avaliação do desempenho do lubrificante (turbina 68) empregado em uma turbina a vapor, empregando diversas análises (viscosidade, índice de acidez total, contagem de partículas, espectroscopia de emissão atômica e infravermelha). Dessa forma, é possível evitar prováveis problemas no equipamento ocasionado pelo lubrificante contaminado, como também a sua vida útil. As análises do óleo lubrificante podem revelar informações importantes sobre as condições em que o mesmo se encontra no interior do equipamento, determinando sua concentração, deteriorização, bem como as características básicas dos lubrificantes, possibilitando a correção de um problema futuro no equipamento.

Este trabalho tem para o meio industrial e para o meio acadêmico a importância de mostrar o quanto a técnica de manutenção e ensaios preditivos são relevantes em um equipamento industrial.

2 OBJETIVOS

Nos próximos itens, serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos que direcionam esta pesquisa de trabalho de conclusão de curso.

2.1 OBJETIVO GERAL

Acompanhar o desempenho do óleo lubrificante de uma turbina a vapor, através da manutenção e análises preditivas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Descrever a fabricação do óleo lubrificante e sua origem;
- b) Discutir a importância da manutenção para prolongar a vida útil de uma turbina a vapor;
- c) Acompanhar as análises do óleo lubrificante empregado em uma turbina a vapor durante nove meses em uma indústria;
- d) Discutir através das análises realizadas a melhor forma de prolongar a vida útil de uma turbina a vapor em uma indústria.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos próximos itens, será apresentado o embasamento teórico para elaboração deste trabalho.

4.1 O PETRÓLEO

O petróleo é extraído das rochas denominadas de rocha reservatória, o mesmo é de uma mistura complexa de hidrocarbonetos, compostos orgânicos e variáveis de não hidrocarbonetos. Em seu estado líquido é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, podendo obter variações na sua composição química e na aparência, sendo seu aspecto viscoso, com a aparência visual do castanho-escuro passando pelo verde até chegar ao preto. Quando está no seu estado líquido também pode ser chamado de (óleo cru) para se diferenciar do óleo refinado [1,2].

Admite-se que a origem esteja ligada a decomposição de seres vivos que morreram em grande quantidade, devido os fatores erosivos provocados sobre a Terra, devido a consecutivas tempestades, alguns resíduos de seres vivos foram se decantando e depositando em meio aquático. Os poros das rochas sedimentares se encontram embaixo do lençol freático, saturados de água. Assim, o petróleo por ser menos denso que a água, migra para a superfície ao encontro de uma rocha impermeável denominada rocha capeadora, em condições de trapa, onde trapa é a condição geológica em que os arranjos especiais de rochas reservatório e selante possibilitam o acúmulo de petróleo [13].

4.1.1 Composição do Petróleo.

O petróleo é composto por diversos elementos químicos. Na Tabela 1, é possível verificar as composições percentuais aproximadas dos elementos químicos presentes no petróleo [14].

Tabela 1 - Elementos químicos e seu teor em porcentagem de massas presentes no petróleo.

Elementos Químicos	Teor em massa %
Carbono	81 a 88
Hidrogênio	10,0 a 14,0
Oxigênio	0,05 a 1,5
Nitrogênio	0,1 a 2,0
Enxofre	0,05 a 6,0
Metais (Fe, Ni, V entre outros).	< 0,3

Fonte: Modificado a partir de [15].

Os elementos químicos presentes como Fe, Ni, V entre outros, são impurezas contidas no petróleo, estes contaminantes são adquiridos na faixa de ebulição do processo de destilação, mas tendem a se concentrar nas frações mais pesadas [14].

As propriedades físicas podem se modificar de acordo com a composição presente, que se dividi em duas classes:

- Hidrocarboneto propriamente dito;
- Hidrocarbonetos: Compostos por resinas, asfaltenos e contaminantes orgânicos sulfurados, oxigenados, nitrogenados e organometálicos [15].

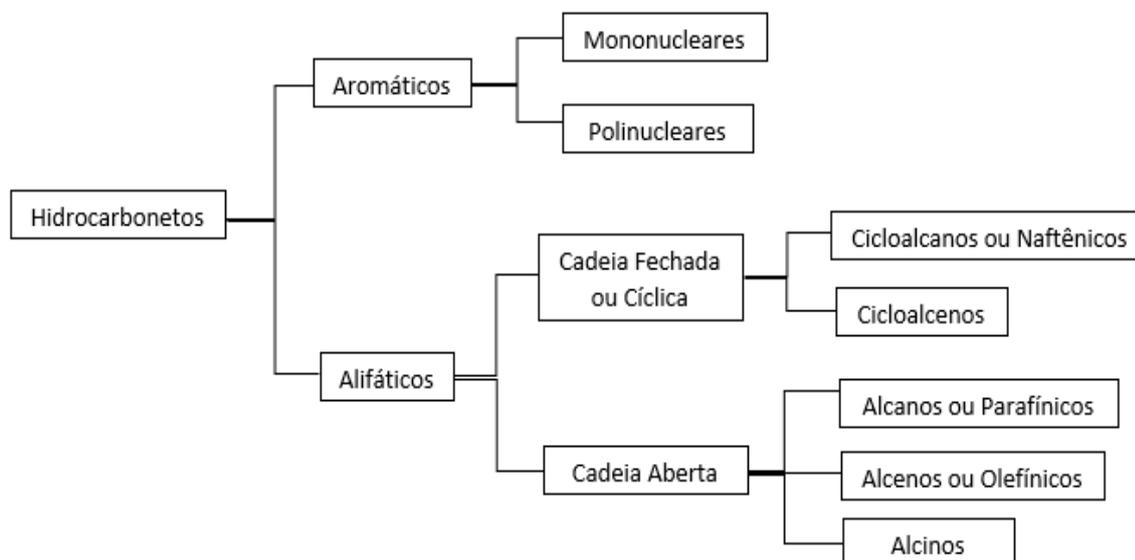
4.1.2 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos são substâncias formadas por átomos de carbono (C) e de hidrogênio (H) obtendo-se assim, diversos tipos de moléculas.

Geralmente, a composição do petróleo é descrita por hidrocarbonetos (Figura 1), podendo chegar até 1200 combinações diferentes do mesmo, indo dos saturados aos aromáticos mais complexos, também pode se encontrar nos não hidrocarbonetos [16].

Os não hidrocarbonetos são substâncias constituídas predominantemente de carbono e hidrogênio, mas que contêm heteroátomos em suas estruturas, e são distribuídas em toda a faixa de ebulição do petróleo. A ocorrência dos não hidrocarbonetos no petróleo é variável, tendem a se concentrar nas frações mais pesadas [15].

Figura 1 - Fluxograma classificação dos hidrocarbonetos

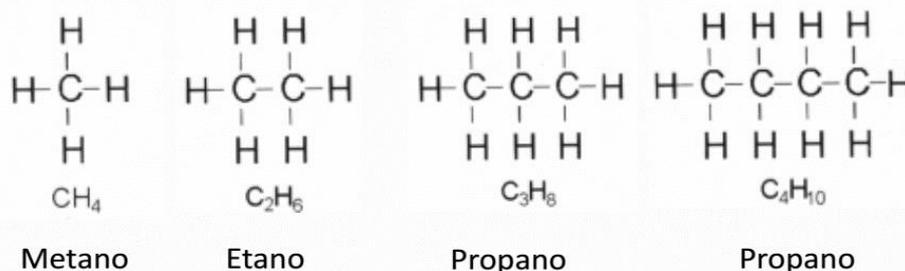


Fonte: Modificado a partir de [15].

A classificação do petróleo depende essencialmente dos atributos da rocha reservatório e do processo de formação. Classificando-o em três grupos principais como parafínicos, naftênicos, aromáticos e os olefínicos [17].

Os hidrocarbonetos saturados, são interligados por ligações simples, os alifáticos que podem ser de cadeias aberta ou fechada. Nas cadeias abertas estão inclusos os alcanos, *n*-alcanos ou parafínicos, também se inclui os olefínicos e os alcinos. Os alcanos, menores que 5 átomos de carbono são representados como gás (metano CH₄, etano C₂H₆, propano C₃H₈ e butano C₄H₁₀), nas condições normais de temperatura e pressão, conforme a Figura 2. A maior parte dos alcanos normais presentes no petróleo possui até 40 átomos de carbono [16].

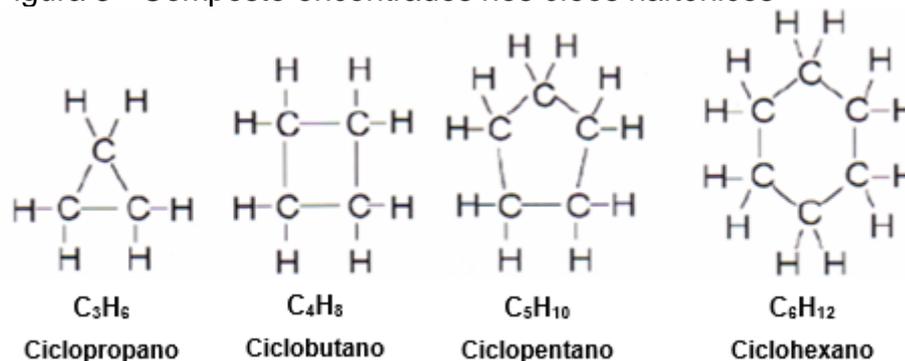
Figura 2 - Compostos encontrados nos óleos parafínicos.



Fonte: [18].

Na cadeia fechada, se encontra os cicloalcanos ou naftênicos. Cicloalcanos apresentam até 6 anéis de carbono, cada qual com 5 ou 6 átomos de carbono. Ocorrem principalmente no estado líquido. A Figura 3 ilustra alguns dos cicloalcanos encontrados nos óleos chamados de naftênicos. É a segunda maior fração do petróleo [15,17].

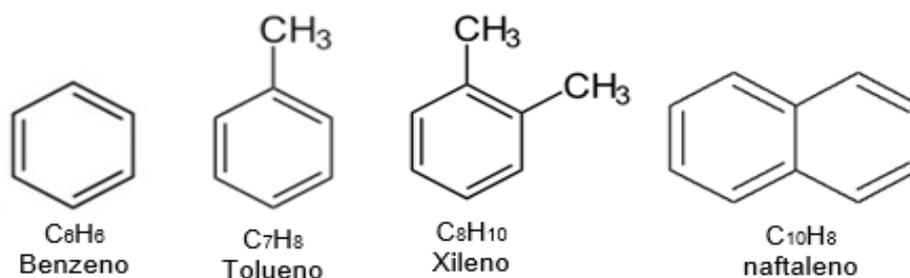
Figura 3 - Composto encontrados nos óleos naftênicos



Fonte: [18].

Os hidrocarbonetos aromáticos mononucleares ou poli nucleares são compostos que apresentam anel aromático em sua estrutura, podendo ser encontrado com mais de um anel aromático. O tolueno, com apenas um núcleo benzênico, é o composto aromático mais comum no petróleo, seguido pelo xileno e o benzeno [16]. A Figura 4 apresenta alguns destes compostos aromáticos.

Figura 4 - Compostos orgânicos encontrados no óleo aromáticos.



Fonte: [18].

Os hidrocarbonetos olefínicos possuem ligações duplas ou triplas entre átomos de carbono, presentes no petróleo apenas em teores mais baixos (traços), pois a dupla ligação lhes confere alta instabilidade. No entanto, as olefinas aparecem nos derivados durante o refino, e em alguns deles é comum se encontrar duas ligações conjugadas, quando então são designadas diolefinas ou dienos, pois eles são

insaturados com triplas ligações, chamados de alcinos. Geralmente estão ausentes ou aparecem em pequenas quantidades no petróleo, mas são abundantes em produtos de refinis como gasolina [15].

A Tabela 2 apresenta as classificações dos compostos parafínicos, naftênicos e aromáticos presentes nos hidrocarbonetos com suas respectivas fórmulas químicas e propriedades físicas.

Tabela 2 - Classificações dos compostos parafínicos, naftênicos e aromáticos.

Hidrocarboneto	Derivado presente	Fórmula	Ponto de Fusão °C	Ponto de Ebulição °C
<i>n</i> -alcanos e isoalcanos (Parafínicos)	Parafina ou Lubrificante	$C_{30}H_{62}$	66	450
Naftênicos	Lubrificantes ou parafinas	$C_{19}H_{38}$	17	353
Aromático	Lubrificantes ou parafinas	$C_{20}H_{28}$	15	379

Fonte: Elaborado pela autora.

A classificação dos óleos ocorre por causa da predominância dos hidrocarbonetos, pois a presença dos mesmos na composição fazem com que os óleos sejam classificados por bases. Pois os óleos com base parafínica contêm uma elevada concentração de hidrocarbonetos parafínicos, os óleos com naftênicos já possuem teores mais elevados de hidrocarbonetos naftênicos e aromáticos, já os asfálticos possui uma grande quantidade de aromáticos poli nucleares, com alta concentração de asfaltenos. A literatura utiliza escalas para determinar a parafinidade do petróleo, isto é, classificá-los em óleos leves, médios ou pesados, pelo grau API (American Petroleum Institute) denominado como °API [19].

Para calcular a densidade específica, usa-se como referência a água. Se o valor do °API for alto, o composto será leve. Assim, conseguimos classificar o petróleo através do grau de densidade API, quanto maior for o °API melhor é a qualidade do petróleo. O °API é definido pela seguinte equação:

$$^{\circ}\text{API} = 141,5 / \text{Densidade Específica} = - 131,5\text{g/cm}^3 \quad (1)$$

A Tabela 3 apresentada a classificação do $^{\circ}\text{API}$ para petróleo leves, médios e pesados [20].

Tabela 3 - Valores de classificação do $^{\circ}\text{API}$

Classificação	$^{\circ}\text{API}$
Petróleo Leves	Acima de 30°API ($<0,72\text{g/cm}^3$)
Petróleo Médios	Entre 21 e 30°API
Petróleo Pesados	Abaixo de 21°API ($>0,92\text{g/cm}^3$)

Fonte: Modificado a partir de [20].

4.2 O REFINO

O petróleo explorado nas costas brasileiras contém o $^{\circ}\text{API}$ baixo, isto significa que é um óleo com pouca qualidade, obtendo as características muito densa, viscosa [21]. O refino tem a função de dividir o óleo cru em grupos demarcados pelo ponto de ebulição de seus componentes, e, em seguida, diminuir as frações a seus diversos produtos como óleo lubrificante [3].

O refino é constituído por três etapas: separação, conversão e tratamento, apresentado conforme a Figura 5:

Figura 5 - Etapas do processamento do refino do óleo cru

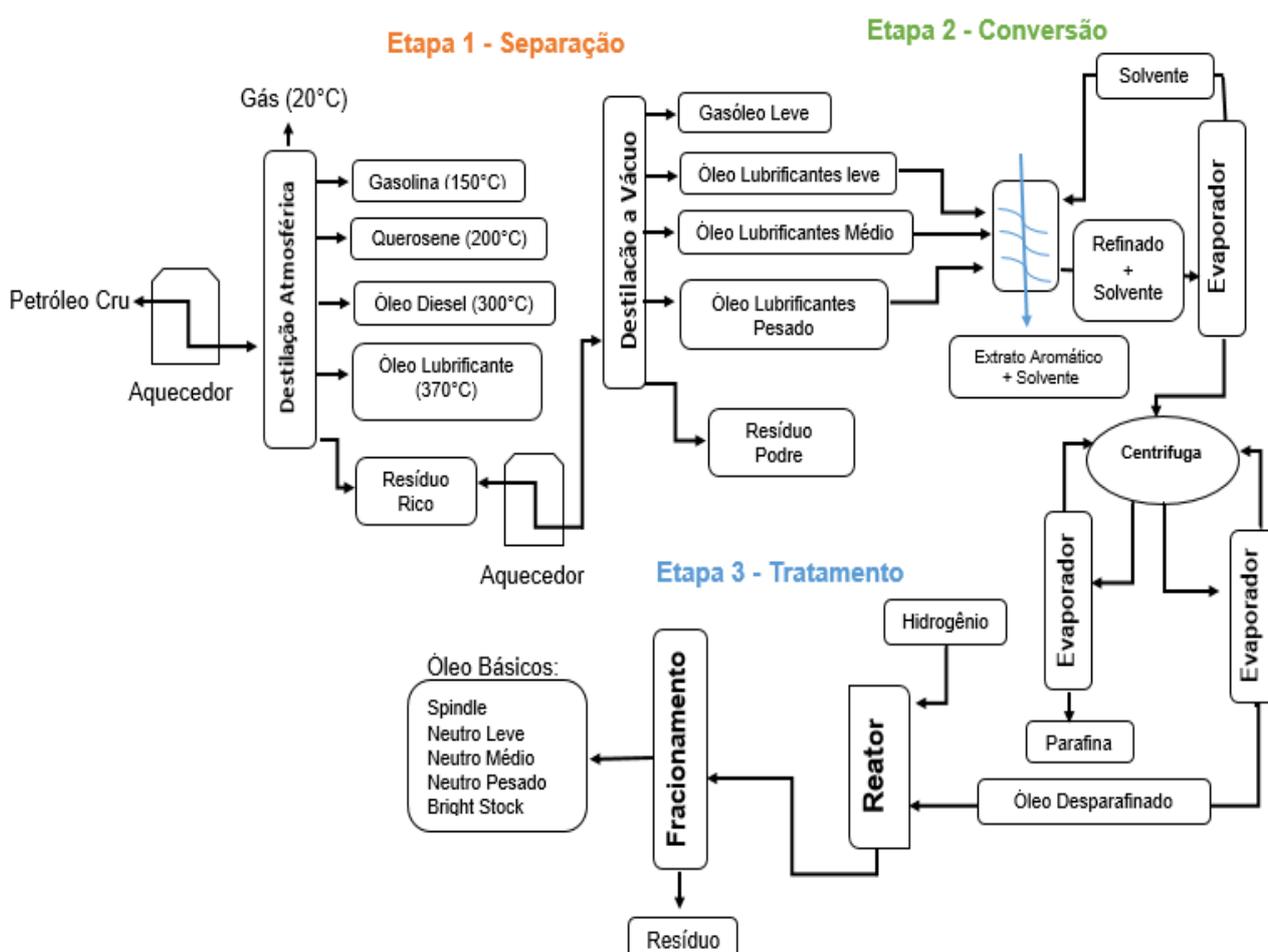
Etapa	Processo	Objetivo	Motivo
1	Separação	Quebrar as frações pesadas	Para desmembrar as frações básicas
2	Conversão	Alterar a composição química de uma fração	Para agregar na qualidade
3	Tratamento	Eliminar impurezas presentes nas frações	Para que não comprometa a qualidade do produto acabado

Fonte: Elaborado pela autora.

O processo de separação é de natureza física, pois a modificação de pressão, temperatura ou a utilização de solventes diferentes, possibilita separações específicas contida nas etapas de destilação atmosférica e a vácuo. O processo de conversão é de natureza química, consiste em modificar determinadas frações, com quebra das reações, reagrupamento ou reestruturação molecular, podendo existir nas etapas de craqueamento térmico, catalítico e hidrocrackeamento, entre outros. O processo de tratamento consiste em eliminar ou alterar as propriedades indesejáveis ligadas a diferentes contaminantes do óleo bruto, como compostos de enxofre, nitrogênio ou oxigênio nas moléculas podendo conter nos processos de hidrotreatamento, cáustico, merox dietanolamina, entre outros [22].

O processo de refino serve para a formulação de óleos lubrificantes, que é definido pelos processos apresentados de acordo com Figura 6.

Figura 6 - Processo simplificado de produção de óleos básicos



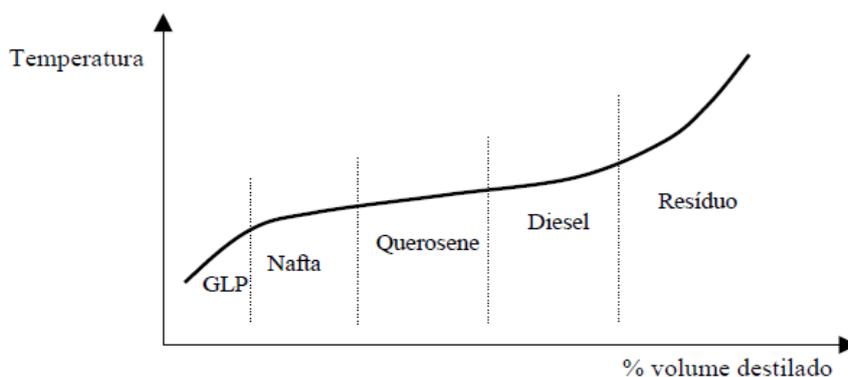
Fonte: Modificado a partir de [23].

Antes de ir para a coluna de destilação o óleo cru passa por um processo denominado dessalinização, um pré-tratamento, onde são retirados todos os compostos de sais corrosivos, metais e os sólidos em suspensão que podem danificar os equipamentos [24].

A dessalinização envolve uma mistura de óleo cru aquecido com 3-10% de água capaz de diluir os sais indesejáveis, então a água é separada do óleo cru em um funil de separação através da adição de desemulsificadores que auxiliam na quebra da constância da emulsão. O óleo é encaminhado para um aquecedor com fornos tubulares a uma temperatura em torno de 400°C, que é a temperatura ideal para que o óleo cru não entre em decomposição térmica. Nesta temperatura, o óleo cru se encontra em vaporização, este vapor é o que alimenta a coluna de destilação a pressão atmosférica [24].

A primeira etapa do processo de refino (etapa de separação) é constituída pela separação de algumas frações apresentadas de acordo com a Figura 7 [25]. Esta etapa acontece em uma torre que opera à pressão atmosférica, que obtém em seu interior pratos de fracionamento que permite a separação do óleo cru em frações variadas pela diferença dos pontos de ebulição. Conforme a temperatura for aumentando, as frações mais leves começam a evaporar. Com isso, obtêm-se as frações que não conseguem evaporar na coluna, o mesmo é extraído no fundo da coluna como óleo cru reduzido (resíduo rico), são armazenadas e enviadas para destilação a vácuo para retirar frações importantes como gasóleo leve, óleo lubrificante leve, óleo lubrificante médio e óleo lubrificante pesado que constitua o resíduo rico [26,27].

Figura 7 - Distribuição de produtos destilados na curva TBP



Fonte: [28].

Em seguida, a destilação a vácuo promove a separação do resíduo rico em várias frações de óleo lubrificante, e também gera o resíduo pobre. Neste processo o fluido é submetido a uma pressão reduzida. Reduzindo a pressão, é possível diminuir a temperatura de ebulição do fluido, impedindo assim a decomposição dos componentes. Em determinados pontos da coluna, os produtos são extraídos da torre, de acordo com as temperaturas limite de destilação das frações, através da volatilidade os produtos mais leves como gasóleo e o óleo lubrificante leve são os primeiros a se separarem e os mais pesados como frações de lubrificantes médias e pesado se separam depois [19].

Os óleos lubrificantes leve, médio e pesado vão para a desasfaltação, desaromatização, desparafinação e desoleificação com a finalidade, extrair frações de lubrificantes, por ação de um solvente, a alta pressão [19].

A desasfaltação utiliza-se o propano como solvente, é um processo parecido com a extração por solvente em torres de extração líquido-líquido. As torres são alimentadas por propano na sua base. Devido à diferença de densidade entre os dois líquidos, promovendo um escoamento contracorrente no interior da torre, que admite o acionamento do solvente com o óleo. O óleo se dissolve no propano e escorre para o topo da torre em direção ao evaporador, os asfaltenos e as resinas escorrem para a base da torre, onde são removidos misturados com propano [29].

A desaromatização é realizada com solvente furfural, este processo consiste com o acrescentamento de solventes, que são adicionados em contracorrente aferindo maior equilíbrio da viscosidade com a variação da temperatura. Através da desparafinação, causada também por solventes tem a finalidade separar os compostos parafínicos da mistura, obtendo os óleos com baixo ponto de fluidez [30].

A segunda etapa do processo de refino é a conversão, que têm como finalidade modificar determinadas frações do petróleo em outras de maior valor econômico. Estas conversões são: craqueamento térmico, viscorredução, craqueamento catalítico e reforma catalítica [31].

O craqueamento térmico tem como objetivo quebrar as moléculas utilizando calor e pressão para executar o rompimento das moléculas maiores de hidrocarbonetos em moléculas menores e mais leves. O processo de craqueamento térmico pode ser realizado em fase líquida ou mista. A viscorredução tem por objetivo reduzir a viscosidade dos óleos, é um processo térmico não catalítico que transforma resíduos atmosféricos e de vácuo em gás, nafta, entre outros [25]. O processo de

craqueamento catalítico usa catalisadores para acelerar as reações de craqueamento, sob altas pressões de hidrogênio, a presença do hidrogênio tem objetivo de diminuir a deposição de coque sobre o catalisador, assim hidrogena os compostos aromáticos poli nucleados, provocando a sua degeneração, e hidrogenar o mono e di – olefinas que são desenvolvidas durante o processo de craqueamento, aumentando, o equilíbrio químico dos produtos finais [25]. Já a reforma catalítica é um processo que tem como finalidade o rearranjo da estrutura molecular dos hidrocarbonetos obtido em algumas frações do petróleo, com objetivo de se valorizar as mesmas [24].

A terceira e última etapa do processo de refino são os tratamentos químicos, que são utilizados para retirar ou transformar os compostos indesejáveis que estão ligados por várias contaminações que o óleo bruto proporciona principalmente os compostos que contém enxofre, nitrogênio ou oxigênio em suas moléculas. Os processos de tratamento são necessários, pois os derivados de petróleo, às vezes não se encaixam nas especificações desejadas, principalmente quando se obtém enxofre. Os tratamentos envolvidos são os tratamentos convencionais e hidro tratamento [32]. Tratamento convencional é o tratamento com amina e com cáustico que são processos específicos para a remoção de composto ácidos de enxofre como H_2S do petróleo. O hidro tratamento além da redução do teor de enxofre é utilizado para a saturação de hidrocarbonetos olefínicos e aromáticos e para remoção de contaminantes com o nitrogênio, oxigênio e os metais [26].

Após o tratamento, o lubrificante é encaminhado para uma torre de fracionamento onde será separado por frações: *Spindle*, neutro leve, neutro médio, neutro pesado e *bright stock*. Na Figura 8, podem-se verificar as especificações dos óleos básicos separados na torre de fracionamento [15].

Figura 8 - Especificações dos óleos básicos.

Óleos Básicos	Processo	Tipos	Cor
<i>Spindle</i>	Destilação a vácuo	Neutro	Incolor-Amarelado
Neutro Leve	Destilação a vácuo	Neutro	Amarelo-Pálido
Neutro Médio	Destilação a vácuo	Neutro	Amarelo-Laranja
Neutro Pesado	Destilação a vácuo	Neutro	Laranja
<i>Bright Stock</i>	Desasfaltamento a propano	Básicos	Vermelho-Vinho

Fonte: Elaborada pela autora.

Depois que o petróleo passa pelo processo industrial para extração do óleo lubrificante básico, temos o controle de qualidade desse subproduto. Antes de ir para as distribuidoras, são realizados testes físico-químicos para determinar as características dos óleos básicos [26].

4.3 LUBRIFICANTES

Os óleos lubrificantes são misturas complexas de hidrocarbonetos saturados alcanos, cicloalcanos e aromáticos, obtidos a partir do petróleo, mediante processos de refino que tendem a retirada ou diminuição de compostos aromáticos, sulfurados, nitrogenados, oxigenados e parafinas lineares, indesejáveis para a formulação dos lubrificantes que é responsável por promover uma película adequada para a lubrificação [4].

O lubrificante é uma substância que fica entre duas superfícies em movimento relativo, assim forma uma película que faz evitar o contato direto entre duas superfícies, reduzindo o atrito e em seguida o desgaste fazendo gerar calor, protege a máquina da ferrugem e aumenta a vida útil das peças [33].

Três fatores principais, portanto, estão relacionados com os lubrificantes: atrito, desgaste e lubrificação.

Atrito: É a resistência ao movimento relativo de dois corpos em contato direto. Esse movimento ocasiona deformações plásticas, aquecimentos e desgastes, o que resulta em perda de eficiência e solicitação de maior potência [34].

O atrito é exibido em termos do coeficiente de atrito (μ), o qual é a razão entre a força tangencial (força de atrito, F_T) e a força (F_N);

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} \quad (2)$$

A energia do atrito é provocada pela força de atrito que vai contra o movimento durante o deslizamento. Também pode ser vista como o trabalho que deve ser realizado para manter o deslizamento entre as superfícies. A energia de atrito é interligada com a dissipação da energia, que acontece em parte com a geração de ruído e calor [33].

Desgaste: Todos os corpos ao decorrer do tempo sofrem desgaste por perda de massa ou de volume, devido ao movimento relativo de superfícies que se encontram em contato.

Qualquer tipo de equipamento, que obtém duas partes móveis está submetido ao desgaste. As condições que podem levar ao desgaste estão relacionadas ao contato direto entre as superfícies por adesão, por abrasão e erosão devido a ataques corrosivos. Também pode ocorrer desgaste por fadiga de contato. Estes fenômenos podem ocorrer separadamente ou combinados [35].

Lubrificação: Consiste em diminuir um atrito indesejável entre duas superfícies rígidas que estão em contato e em movimento [36].

A lubrificação, além de reduzir o atrito, reduz as vibrações, protege contra a corrosão, limpa, refrigera, veda e reduzi o desgaste de duas superfícies em movimento [37]. Todas as funções da lubrificação estão representadas de acordo com a Figura 9.

Figura 9 - Funções da lubrificação



Fonte: Modificado a partir de [37].

- I. Reduzir as vibrações: A lubrificação consiste em reduzir as vibrações entre duas superfícies.
- II. Proteger contra a corrosão: Os derivados resultantes da queima de combustível podem ser corrosivos especialmente a altas temperaturas. O lubrificante tem a função de neutralizar os contaminantes de caráter ácidos e assim impedir a corrosão e ferrugem.
- III. Limpar: As cinzas carbonosas, e outros materiais derivados da combustão incompleta do combustível, acumulam-se no óleo lubrificante.
- IV. Refrigerar: O lubrificante nesta função "rouba" o calor estimulado pelo contato direto entre duas superfícies em movimento relativo. Assim o calor é delongado para o óleo através de contatos com vários componentes.
- V. Vedar: O lubrificante além de refrigerar e lubrificar, o mesmo tem a função de vedação, evitando a saída de lubrificante e a entrada de qualquer substância indesejável no sistema do equipamento.
- VI. Reduzir desgaste: Reduzir ao mínimo o contato entre as superfícies, origem do desgaste. Transformar o atrito sólido em atrito fluido, evitando assim a perda de energia.

Fonte: Modificado a partir de [38].

A lubrificação pode ser realizada de várias maneiras, depende somente da geometria dos corpos em contato, da rigidez e textura das superfícies deslizantes. Os principais fatores que exercem influência na lubrificação são velocidade, temperatura e pressão [39].

4.3.1 Tipos de óleos lubrificantes.

Normalmente os lubrificantes são de forma líquida, mas também podem ser sólidos, pastosos, e gasosos, isto depende do seu estado físico [40].

Neste trabalho, será detalhado somente o lubrificante líquido por ser o lubrificante mais usado e mais comum no meio industrial, por obter um poder maior de penetração e principalmente por agir como agente redutor de calor. Aproximadamente, 95% dos lubrificantes são líquidos [26].

Uma maneira de caracterizar os lubrificantes líquidos é através de sua viscosidade, mas outras propriedades também são importantes como índice de viscosidade, ponto de fluidez, densidade, entre outros. Os lubrificantes são subdivididos de acordo com a sua base de formulação, ou seja, são definidos como: óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos, óleos aditivados e óleos sintéticos [41]. A seguir, será discutido cada um dos óleos supracitados:

Óleos Graxos: São óleos de origem animal ou vegetal. Foram os primeiros lubrificantes a serem usados, e agradavam as modestas necessidades da época. Hoje em dia não são recomendados, especialmente por não aguentarem temperaturas elevadas, por oxidarem rapidamente, tornando-se corrosivos e formando ácidos [42].

Óleos Aditivados: Os óleos aditivados são óleos sintéticos ou minerais puros, aos quais foram acrescentadas substâncias comumente chamadas de aditivos, com a finalidade de melhorar algumas características [5].

Óleos Compostos: São misturas de óleos minerais e graxos. Alguns equipamentos requerem muitas vezes o uso de óleos compostos, pois o mesmo obtém maior oleosidade e maior facilidade de emulsão na presença de vapor. Comumente são usados em equipamentos como perfuratrizes e cilindros a vapor [43].

Óleos Sintéticos: São lubrificantes fabricados em laboratório por processo de polimerização, o mesmo proporciona propriedades especiais de viscosidade e resistência a altas ou baixas temperaturas, atendendo aplicações específicas em

algumas indústrias. Esses lubrificantes obtêm alto custo, portanto, são utilizados apenas em casos específicos que não possam ser consentidos pelos lubrificantes minerais [44].

Óleos Minerais: São óleos adquiridos a partir da destilação do petróleo. Seus compostos dependem do caráter do óleo cru, suas propriedades podem se modificar, pois obtêm um grande número de hidrocarbonetos, pertencentes a três categorias: parafínicos, naftênicos e aromáticos. Os óleos minerais são os mais utilizados e importantes no requisito de lubrificação [44].

Neste trabalho, o óleo mais utilizado no equipamento de estudo (turbina a vapor) é de caráter mineral, portanto a discussão será voltada aos óleos minerais.

Óleos minerais dependem do tipo do petróleo de origem e do processo de refino, podendo ser classificados de acordo com a Figura 10.

Figura 10 - Tipos de óleo base mineral

Óleo Base	Características
Parafínico	Contém grande quantidade de Hidrocarbonetos cerosos e não contém material asfáltico. Obtém seus naftenos em longas cadeias.
Naftênicos	Contém material asfáltico e pouco ou nenhum material ceroso. Obtém seus naftenos em cadeias de menor tamanho. Possui baixa viscosidade.
Mistura de Bases (Aromático Ciclo Parafínicos, entre outros)	Contém materiais asfálticos e cerosos. Obtém seus naftenos em cadeias longas e moderadas. Possui baixo ponto de fluidez.

Fonte: Modificado a partir de [45].

Os óleos aromáticos não são apropriados para lubrificação, assim, os óleos de origem parafínica e naftênicos, os quais são empregados nas características de lubrificantes industriais [46].

4.3.2 Propriedades dos Lubrificantes

A primeira característica de um lubrificante é a competência de manter separadas superfícies em movimento, em quaisquer condições de temperatura pressão e na presença de contaminantes. A segunda propriedade é permitir que os lubrificantes “rouba” com o calor gerado por meio do contato das peças ou originárias de fontes externas [26].

Os lubrificantes devem ser estáveis, de forma a desempenhar seu trabalho durante sua vida útil estipulada.

Por fim, os lubrificantes devem proteger as superfícies, que estão em contato, da corrosão atmosférica ou de produtos corrosivos provocados dentro do equipamento [47].

4.3.3 Características e análises típicas dos óleos lubrificantes

O óleo lubrificante pode ser formulado somente com óleos básicos (óleo mineral puro) ou agregados de aditivos, que são adicionados em um reator onde ocorre a formulação do lubrificante. Inicialmente a lubrificação era feita com óleo mineral puro até a descoberta dos aditivos [2].

A qualidade de um lubrificante é comprovada somente após a aplicação e avaliação de seu desempenho em serviço. Este desempenho está ligado a composição química dos lubrificantes, resultados do petróleo bruto, do refino dos aditivos e do balanceamento a formulação. Esta combinação de fatores dá ao lubrificante certas características físicas e químicas que permitem um controle da uniformidade e nível de qualidade [2].

Os óleos lubrificantes, antes de serem colocados à venda pelo fabricante, são submetidos a ensaios físicos- químicos para garantir a qualidade do produto.

Os principais ensaios físico-químicos padronizados para os óleos lubrificantes encontram-se resumidos abaixo [48]:

- I. Faixa de viscosidade: Graus requeridos pelo mercado para formulação dos óleos acabados.
- II. Índice de viscosidade: Indica a variação da viscosidade com a temperatura e está relacionado com a aromaticidade do produto.
- III. Cor: Reflete a pureza do produto, em relação a produtos de oxidação e contaminantes pesados como asfaltenos.
- IV. Ponto de fulgor: Segurança no armazenamento e limites de volatilidade dos óleos formulados.
- V. Ponto de fluidez: Necessidade de escoamento dos óleos a baixas temperaturas.
- VI. Estabilidade à oxidação: Características mais importantes de um óleo lubrificante define a vida útil do óleo em serviço.
- VII. Índice de acidez: Indica degradação oxidativa do óleo.
- VIII. Corrosividade ao cobre: Indica presença de compostos formada por enxofre e hidrogênio
- IX. Cinza: Contaminação com material inorgânico

Fonte: Modificado a partir de [48].

4.4 ADITIVOS

Os aditivos são substâncias que, quando adicionados aos lubrificantes melhoraram certas propriedades específicas, podendo mudá-las profundamente mesmo quando usados em pequenas quantidades. O acréscimo de aditivos em certos lubrificantes veio da necessidade do aperfeiçoamento das máquinas que, por conseguinte, impôs a melhoria das qualidades naturais dos lubrificantes a fim de acompanhar esse desenvolvimento [13].

Na Figura 11 apresenta alguns aditivos utilizados para formulação dos óleos lubrificantes, indicando suas funções e composições, isso mostra a grande aplicabilidade destes compostos.

Figura 11 - Aditivos e suas especificações

Aditivo	Função	Composição
Antioxidante	Retardar a degradação oxidativa do óleo	Fenóis bloqueados, aminas aromáticas, ditiofosfato de zinco
Detergente/Dispersante	Manter em suspensão os precursores de coque	Succinimidas, sulfonatos, (de bário, magnésio, zinco, etc.
Antiferrugem	Formar filme superficial, evitando a ferrugem.	Ésteres ou ácidos, orgânicos e sulfonatos.
Antiespumante	Reduzir a tensão superficial, evitando a ferrugem.	Polímeros de silicone.
Antidesgaste, extrema pressão (EP)	Reduzir o desgaste	Ditiofosfato de Zinco, tricrsil, compostos clorados e sulfurados.
Outros Anticorrosivos	Evitar a corrosão	Ditiofosfato de zinco e bário, sulfonatos.

Fonte: Modificado a partir de [49].

4.5 LUBRIFICANTES INDUSTRIAIS

Para classificação de lubrificantes industriais, além da sua origem e estados físicos é utilizado também o sistema ISO (Organização Internacional de Normalização) que tem como objetivo elaborar uma única norma técnica de validade internacional [50].

4.5.1 Classificação ISO

Classificação ISO, para lubrificantes industriais é seguida por todas as associações de petróleo. Este sistema se baseia na viscosidade cinemática a 40°C. Os números que apontam cada grau de viscosidade ISO concebem o ponto médio de uma faixa de viscosidade envolvida entre 10% abaixo ou acima desses valores [50].

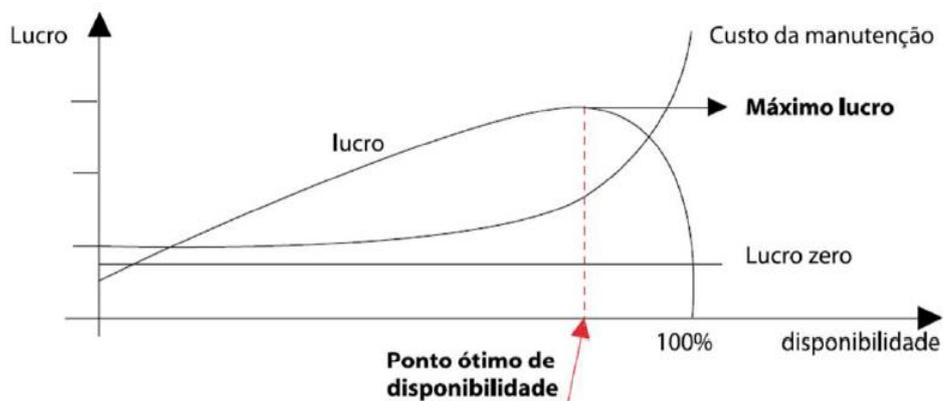
O sistema ISO é empregado exclusivamente aos lubrificantes industriais em que a viscosidade constitua um método primário de escolha, neste caso os óleos protetivos, óleos de tratamento térmico, óleos transformadores e óleos de corte, não podem ser inclusos. Sendo assim, um lubrificante designado, por exemplo, pelo grau ISO 68, tem viscosidade cinemática, a 40°C, compreendida entre 61,2 mm²/s e 74,8 mm²/s [2]. Na pesquisa em questão, O ISO 68, é o lubrificante utilizado na turbina a vapor, denominado Turbina 68.

4.5.2 A lubrificação como manutenção

Todo equipamento ou sistema mecânico está sujeito a métodos de deterioração. O mesmo induz defeitos na estrutura do equipamento que podem atrapalhar o seu desempenho e qualidade. Uma quebra no equipamento não prevista traz perda de tempo na produção e grandes prejuízos para a indústria [51].

A disponibilidade do equipamento e conseqüentemente o custo de manutenção, na busca por falha zero (100% de disponibilidade) requer elevados gastos com manutenção para garantir esta disponibilidade, reduzindo a lucratividade com o processo produtivo. Portanto o interessante é encontrar o ponto ótimo de disponibilidade para cada equipamento proporcionando um nível de disponibilidade capaz de gerar maior lucro à operação, como ilustrado na Figura 12 [52].

Figura 12 - Gráfico que representa o ponto ótimo de disponibilidade



Fonte: [53].

Para que a produtividade de uma indústria tenha resultados positivos, é necessário que todos seus equipamentos sejam mantidos nas melhores condições de funcionamento. Assim, esses deverão sofrer, ao longo da sua vida útil, reparos, inspeções programadas, rotinas preventivas programadas e adequadas, substituição de peças, mudanças de óleo, lubrificações, limpezas, pinturas, correções de defeitos resultantes. O conjunto de todas estas ações constitui em manutenção [6].

A manutenção é definida como um conjunto de ações que permitem manter um bem a um estado operacional específico, bem como efetuar as operações que possibilitem conservar o potencial do equipamento ou sistema, garantindo assim, a continuidade e a qualidade da produção [6].

Existem basicamente três tipos principais de manutenção que são: a manutenção corretiva, preventiva e preditiva.

A **Manutenção corretiva** tem a finalidade de restaurar, corrigir e recuperar a capacidade produtiva de um equipamento, que tenha reduzido a sua competência prevista. Lembrando que um equipamento parado, afeta toda a produção, pois a manutenção corretiva é um método que espera pela falha do equipamento, tornando-se um método de alto custo [54]. É a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane sendo destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Existem componentes que simplesmente não aceitam manutenções preventivas ou preditivas, pois proporcionam falhas aleatórias e que não possuem o tempo de desenvolvimento da falha, e nem apresentam sintomas, por exemplo, os componentes eletrônicos, tais como capacitores, não avisam quando a falha vai acontecer, eles simplesmente queimam e param de funcionar [54,55].

Já a **Manutenção preventiva**, tem como finalidade reduzir o baixo desempenho de aceitação do equipamento, assim minimizando grandes falhas. Esta manutenção é baseada por intervalos de tempo, geralmente são programadas pelos fabricantes dos equipamentos, de acordo com a utilização do mesmo [11]. Pois a manutenção preventiva envolve cuidados rotineiros sobre equipamentos e inclui lubrificação das máquinas e reposição de peças de desgaste intensivo. É a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinadas a reduzir a probabilidade a falha ou a degradação do funcionamento de um item [7].

A **Manutenção preditiva** é definida ainda como um conjunto de atividades de acompanhamento das variáveis que indicam o desempenho dos equipamentos, de modo sistemático [56]. É a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnica de análise de sinais, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e corretiva. Se análise destes parâmetros indicar a existência de um funcionamento não adequado, estima-se o defeito e em seguida efeito, reparo nos equipamentos para corrigir os erros [39,7]. Algumas vantagens deste método de manutenção são [57]:

- I. Redução do custo de produção devido às interrupções periódicas;
- II. Diminuir a probabilidade de montar e desmontar os equipamentos;
- III. Aumento do tempo médio entre cada revisão;
- IV. Minimiza as paradas não programadas;
- V. Reduz estoque de peças de reposição;
- VI. Aumenta a disponibilidade dos equipamentos.

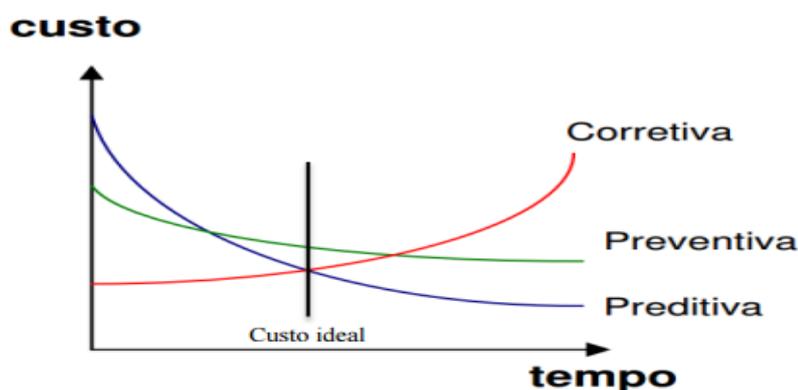
Fonte: Modificado a partir de [57].

A manutenção preditiva melhora a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global das indústrias.

Apresenta um modelo ideal para os custos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Assim sendo o modelo abordado representa o ponto ideal para adquirir o melhor custo de manutenção considerando os três modelos de aplicação de manutenção em função do tempo. Através do gráfico na Figura 13, é possível afirmar

que é preciso considerar o modelo adotado para provisionar, ou seja, fazer previsão em custo por manutenção [58].

Figura 13 - Gráfico com modelo ideal no custo de



Fonte: [54].

A manutenção preditiva no início tem um custo elevado para a sua aplicação, mas com o decorrer do tempo, ela vai se tornando mais barata e viável. Devido a estes fatores, o presente trabalho se baseia na manutenção preditiva [57].

A prática da manutenção preditiva envolve três fases: detecção do defeito, estabelecimento de um diagnóstico e análise de tendência. A Figura 14 simula um diagrama evolutivo do processo das três fases da manutenção [57].

Figura 14 - Prática da manutenção preditiva

Fase	Prática da Manutenção	Objetivo
Detecção do Defeito	Observar os valores medidos dos parâmetros de controle.	Indicar uma evolução mais acelerada da degradação do equipamento
Diagnóstico	Observar o resultado da análise.	Indicar desgaste e informações sobre o equipamento, e a gravidade de seus possíveis defeitos.
Análise de tendência	Consiste em ampliar o diagnóstico e se prevenir, na medida do possível.	Indicar quanto tempo o equipamento se dispõe antes da parada forçada

Fonte: Modificado a partir de [57].

4.5.3 Processos de Manutenção preditiva

Alguns procedimentos consistem em monitorar os diversos parâmetros que indiquem o estado de conservação dos equipamentos. As principais técnicas para monitoramento são:

- Análise de óleos lubrificantes;
- Análise de Vibrações;
- Métodos de Observação.

Entre essas técnicas as mais importantes na manutenção industrial são: análise de vibrações e análise de óleo lubrificante, os mesmos em conjunto conseguem verificar uma anormalidade de um equipamento [57].

Análise das vibrações é um dos processos que se baseia na ideia de que as estruturas das máquinas excitadas pelos esforços dinâmicos (ação de forças) dão sinais vibratórios, cuja frequência é igual à frequência dos agentes excitadores. Um desbalanceamento em um componente de máquina irá causar aumento da vibração, uma vez que provoca um desequilíbrio no sistema e conseqüente aumento da força. Desta forma, observando a evolução do nível de vibrações, é possível obter informações sobre o estado da máquina [59].

A partir da análise dos sinais vibratórios é possível tomar decisões de intervir ou não no funcionamento da máquina, fazendo com que esta esteja “disponível” o máximo possível, reduzindo custos com manutenção, tempo de parada da máquina, reduzindo o estoque e melhorando a segurança entre outras [39].

Análise de óleos lubrificantes tem dois objetivos, determinar o momento exato da troca do óleo lubrificante e identificar sintomas de desgaste de um componente. Isto é possível devido ao monitoramento quantitativo de partículas sólidas presentes no fluido, aliado a análise de suas características físico-químicas [11].

Uma ferramenta útil para determinar as tendências do desgaste que ocorre dentro de um equipamento é a análise do óleo lubrificante, um histórico rigoroso de acompanhamento desta análise permite a detecção precoce de problemas e assegura a qualidade lubrificante do óleo. Uma boa gestão da manutenção preditiva pode garantir a eficiência operacional, pois um baixo desempenho do equipamento pode acarretar em uma redução da qualidade do produto e da produtividade [60].

4.6 TURBINA A VAPOR

Neste trabalho, o equipamento escolhido para analisar a importância da manutenção preditiva foi à turbina a vapor. A principal função de uma turbina a vapor é transformar energia térmica em energia cinética, devido à sua expansão através dos bocais. Esta energia então é transformada em energia mecânica de rotação devida à força do vapor agindo nas pás rotativas, o vapor entra nas turbinas sob elevadas pressões e após percorrer seu interior é descarregado com valores menores de pressão [8].

Uma turbina a vapor é considerada uma máquina motriz que utiliza a elevada energia cinética da massa de vapor expandindo, fazendo com que as forças consideráveis, devidas a variações de velocidade, atuem sobre as palhetas fixadas a um rotor. A força aplicada nas palhetas determina um momento motor resultante, que faz girar o rotor, são usadas para o acionamento de geradores elétricos, compressores, tubo bombas entre outros [9].

4.6.1 Lubrificação das turbinas a vapor.

As turbinas por trabalharem em condições rígidas, faz com que os óleos lubrificantes também trabalhem em condições mais rigorosas, em altas temperaturas e pressões elevadas. Estas condições podem ocasionar algumas consequências para o equipamento [10].

Os óleos empregados nas turbinas a vapor, além de lubrificar, devem servir como refrigerante para manter corretamente a temperatura operacional do óleo. O calor é conduzido pelo rotor e demais partes onde há atrito. A exposição severa das turbinas ao calor, ao oxigênio presente no ar e as impurezas do sistema que agem como catalisadores, resultam na degradação do óleo que tende a oxidar. Além da contaminação com água ser bem comum deste sistema, exigindo do óleo uma boa proteção antiferrugem e uma boa demulsibilidade, com a capacidade de separar rapidamente a água do sistema [61].

4.6.2 Característica do Óleo Lubrificante para turbina

O óleo lubrificante recomendado para a lubrificação de turbinas industriais a vapor é óleo turbina 68, um lubrificante fabricado com óleos básicos minerais altamente refinados e aditivos que proporcionam elevada resistência à oxidação, demulsibilidade e características anticorrosivas, antiferrugem e antiespumante, permitindo a operação em sistemas com elevadas temperaturas [62].

Na Tabela 4 estão apresentadas as características típicas do óleo turbina 68, as análises típicas, como densidade, viscosidade cinemática a 40°C e 100°C, índice de viscosidade, ponto de fulgor, ponto de fluidez, demulsibilidade e IAT.

Tabela 4 - Característica óleo de turbina 68

GRAU ISO	ISO 68
Densidade, 20/ 4 (°C)	0,8812
Viscosidade Cinemática a 40 (°C), (mm ² /s")	68,68
Viscosidade Cinemática a 100 (°C), (mm ² /s)	8,74
Índice de Viscosidade	99
Ponto de fulgor, (°C)	248
Ponto de fluidez, (°C)	-12
Demulsibilidade a 54,4°C (ml/min)	40/40/00-5
IAT (mg/kg)	0,04

Fonte: Modificado a partir de [62].

Os óleos cujas propriedades e características se enquadram perfeitamente na lubrificação das turbinas a vapor são os da linha óleos de turbinas, geralmente provenientes de compostos parafínicos refinados por extração a solvente.

Os óleos para utilização nas turbinas além de ser de alta qualidade devem conter aditivos para combater os contaminantes existentes nas turbinas [63]. As características que os aditivos devem possuir são [62]:

- I. Grande resistência à oxidação: O uso inerentemente de um óleo de base oxidativamente promove alta resistência à degradação oxidativa. O resultado é a extensão da vida útil do óleo, minimizando a formação de agressivos ácidos corrosivos, depósitos e borras, o que conseqüentemente proporciona uma redução dos custos operacionais.
- II. Antiferrugem e Anticorrosivo: previne contra a formação de ferrugem e protege contra o início de corrosão garantindo proteção para o equipamento exposto a umidade ou água durante a operação e durante as paradas, minimizando os custos de manutenção.
- III. Rápida separação da água: uma robusta demulsibilidade permite controlar o excesso de água que espontaneamente se forma nas turbinas a vapor e que pode ser drenada facilmente do sistema de lubrificação, minimizando a corrosão e o desgaste antecipado o que reduz o risco de manutenções não previstas.
- IV. Antiespumante: O óleo é formulado com um aditivo antiespumante sem silicone, para controlar a formação de espuma. Esta propriedade somada com a rápida liberação de ar do lubrificante reduz a probabilidade de problemas como a cavitação da bomba, excessivo desgaste e oxidação antecipada do óleo, oferecendo assim um aumento da confiabilidade do sistema.

Fonte: Modificado a partir de [62].

4.6.4 Sistema de Lubrificação das Turbinas.

O sistema do óleo lubrificante é verificado por um receptor, que atua dinamicamente sobre o fluido. Além desta função primária, os lubrificantes têm a função de dissipar o calor gerado nos mancais; auxiliar na vedação contra vazamentos; ou para operar os dispositivos hidráulicos como nos reguladores de velocidade das turbinas. Para realizar estas funções, os óleos devem resistir a misturas com água (emulsificação), diluição a carbonização, além da ação de altas temperaturas e eventuais contaminantes (oxidação e acidez). Por isso, na seleção do lubrificante, estes aspectos devem ser considerados [8].

4.6.5 Manutenção preditiva das turbinas

Algumas características do óleo lubrificantes interferem diretamente na qualidade e no desempenho da lubrificação no interior de uma turbina. Podendo formar emulsão entre o óleo e a água condensada, causando ruptura da película lubrificante e escoriações nos mancais e nos dentes das engrenagens das turbinas. Podendo formar ainda espumas pela agitação do óleo em contato com o ar, ocasionando assim a ausência de lubrificação em pontos cruciais [60].

Algumas destas consequências podem ser detectadas, pelas análises de óleo lubrificante, evitando consertos imprevisíveis, reduzindo altos custos e ociosidade dos equipamentos.

Recomenda-se alguns requisitos para a manutenção preditiva das turbinas como especifica a Figura 15.

Figura 15 - Requisitos para a manutenção preditiva

Diárias	Mensal	Anual
Verificar o nível do óleo	Retirar amostra de óleo para análise	Limpar os reservatórios de óleo
Verificar temperatura dos mancais e do óleo	Manter o sistema limpo.	Verificar o desgaste

Fonte: Elaborada pela autora.

5.0 MATERIAS E MÉTODOS

A pesquisa é de caráter qualitativo e quantitativo, pois, analisará e apresentarão resultados de ensaios preditivos baseados na literatura, livros, teses, dissertações, artigos e revistas relacionados ao tema deste trabalho, utilizado as seguintes palavras chaves: petróleo, refino, lubrificantes, manutenção preditiva, turbina a vapor, com o método de pesquisa ação, onde define:

A pesquisa ação é um tipo de investigação social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo [64].

O objetivo de estudo do trabalho é uma empresa sucroalcooleira, localizada em Bocaina no interior de São Paulo, foi selecionada para o acompanhamento da eficiência do óleo lubrificante na turbina a vapor. Foi escolhida por iniciar a implementação das análises preditivas, com intuito de reduzir gastos e aumentar a vida útil dos equipamentos.

O laboratório selecionado para realizar as análises dos óleos foi escolhido por ser pioneiro em análise em óleos lubrificantes, cujo sua especialidade é em análises para manutenção preditivas, sendo seus ensaios acreditados pelo INMETRO. Atende a região de Bauru e todo o Brasil chegando a analisar três mil amostras por mês. O laboratório está localizado em uma unidade do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), localizado em Lençóis Paulista no interior de São Paulo.

O material utilizado no desenvolvimento da pesquisa foram 4 amostras de óleos lubrificantes de turbina a vapor para análise preditiva, todos com classificação ISO 68 da mesma marca (Shell Turbo T), sendo um deles um produto novo sem uso e os demais coletados em uma turbina, em vários tempos de uso:

- Amostra 01 - Óleo novo turbina 68 (padrão);
- Amostra 02 - Três meses após o uso;
- Amostra 03 - Seis meses após o uso;
- Amostra 04 - Nove meses após o uso.

A Figura 16 apresenta as quatro amostras de óleo analisadas, sendo possível observar a sua coloração quando novo (amostra 1) e após três, seis e nove meses de uso, (amostras 2, 3 e 4) respectivamente.

Figura 16 - Amostras para análises preditivas



Fonte: Arquivo particular da autora.

Cada amostra, foi analisada em triplicata para obter uma média e repetibilidade de cada ensaio. Assim conseguiremos verificar o desempenho do óleo lubrificante e através dos ensaios preditivos é possível monitorá-lo dentro do equipamento, prevenindo uma possível quebra.

5.1 Método de coleta do óleo em uma turbina a vapor

As amostras devem ser tomadas enquanto a turbina está em operação e depois que o óleo atingir a temperatura de trabalho. Isso assegurará que as concentrações de partículas atingiram uma distribuição uniforme por todo o óleo. A periodicidade de realização de coleta e envio para análise deve ser seguido criteriosamente de forma contínua, sem interrupções. Inicialmente deve ser definido junto ao fabricante ou fornecedor do equipamento, o período mais adequado a ser realizada a coleta [43].

Em turbinas a vapor, o período de coleta varia de 2 ou 3 meses, porém a chave para uma análise de óleo eficiente é a determinação de mudanças das características do óleo lubrificante com o passar do tempo. As amostras devem ser tomadas em intervalos de tempo, determinado pelo fabricante ou por um engenheiro mecânico para que o programa funcione corretamente. Períodos longos de análise podem acarretar falta de informações para tomada ágil de decisões, enquanto períodos muito curtos podem gerar um custo em excesso de manutenção preditiva, por isto a periodicidade deve ser bem planejada e principalmente cumprida corretamente [2].

5.2 Escolha do Ponto de Coleta

As partículas que interessam para a análise são aquelas geradas recentemente no equipamento. Considerando este pré-requisito, o ponto de coleta deverá ser aquele em que uma grande quantidade de partículas novas estejam presentes em região de grande agitação, pontos após filtros, após chicanas de reservatórios ou após curvas devem ser evitados, pois esses elementos retiram e precipitam as partículas do lubrificante ou causam maior turbulência no fluxo do óleo. Os pontos de amostragem instalados na parte inferior do perímetro de uma tubulação ou tanque tendem a permitir o depósito de partículas na válvula de amostragem [43].

A Figura 17 apresenta um ponto de coleta do óleo na turbina em estudo, este ponto de coleta é o tanque de óleo da turbina.

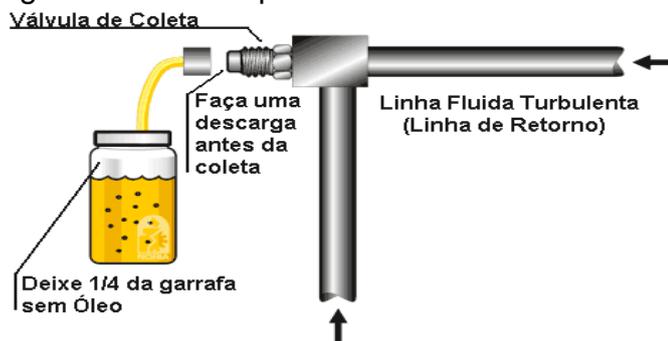
Figura 17 - Local para a retirada do óleo
(Tanque de óleo da turbina)



Fonte: Arquivo particular da autora.

Os principais métodos de coleta de lubrificantes envolvem válvulas de coleta, bombas de coleta e imersão. A Figura 18 ilustra a maneira como se deve coletar o óleo para análise. A coleta de amostras de lubrificante, no exemplo em questão, é recomendada ser feita com o auxílio de uma bomba de vácuo para não haver contato algum do meio com o óleo coletado para assim não ocorrer uma possível contaminação da amostra [65].

Figura 18 - Forma para coletar



Fonte: [65].

5.3 Análises preditivas do óleo lubrificante

Através de algumas análises físico-químicas conseguimos verificar se o óleo lubrificante, dentro da turbina, está em bom estado e se não adquiriu nenhum contaminante durante a sua trajetória, que possa interferir o seu desempenho. Pois a deterioração é um processo onde diminui o rendimento do óleo nas suas funções [12].

As análises realizadas nas amostras foram para verificar suas propriedades físico-químicas como: viscosidade cinemática a 40°C, água de Karl Fischer, Índice total de acidez, contagem de partículas, determinação de elementos metálicos presentes na composição e infravermelho para verificar a composição do óleo.

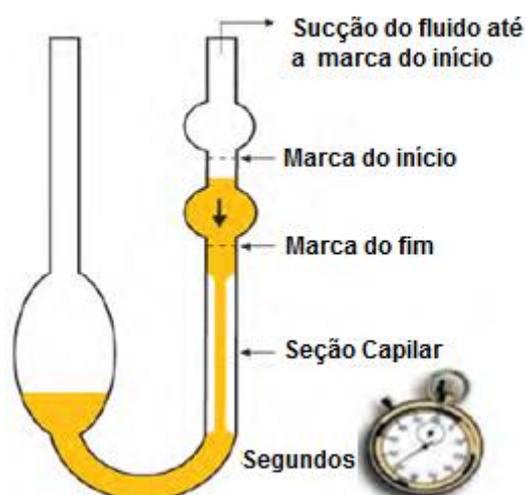
5.3.1 Viscosidade

Viscosidade é a medida da taxa de fluxo de um lubrificante a uma determinada temperatura em relação ao tempo. É a propriedade mais importante dos óleos lubrificantes, podendo ser definida como a tensão de cisalhamento em um plano do fluido por unidade de gradiente de velocidade normal ao plano. A viscosidade pode ser expressa em termos de viscosidade cinemática (mm^2/s), [47].

A viscosidade corresponde ainda ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão molecular. Ou seja, quanto maior a viscosidade, menor a velocidade em que o fluido se movimenta.

O tempo é medido para que um volume fixo de líquido escoe sob ação da gravidade através do capilar de um viscosímetro calibrado, de acordo com a Figura 19, a uma temperatura conhecida e rigorosamente controlada.

Figura 19 – Viscosímetros Cannon para líquidos transparentes



Fonte: [47].

O procedimento do ensaio foi baseado na norma ABNT NBR 10441- Produto de petróleo – Líquidos transparentes e opacos - Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica [66].

O equipamento utilizado nas análises de viscosidade está representado de acordo com a Figura 20 que mostra um viscosímetro automático da marca Herzog e modelo HVM 472-1, nele consiste um capilar semelhante à Figura 19 acima. O número de identificação do capilar é NTC5 0923 sua faixa de trabalho é entre 5 a 500 mm²/s, que está localizado ao lado esquerdo do equipamento.

Figura 20 - Viscosímetro Automático



Fonte: [67]

Em um viscosímetro automático, a amostra é homogeneizada no próprio frasco de coleta, manualmente com movimentos leves. Após a agitação da amostra, é colocada 20 ml da amostra em um recipiente apropriado, conforme ilustrado na Figura 21, e em seguida identificada para a realização do ensaio das amostras.

Figura 21 - Recipiente do Herzog



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Após preparadas, as amostras são levadas ao equipamento e colocadas em um amostrador que fica do lado esquerdo do equipamento, conforme ilustra a Figura 20.

O equipamento contém dois tubos transparentes com capilares de multi ranger, os tubos contêm silicone para manter a temperatura desejada do ensaio. O capilar NTC5 0923 contém 3 sensores para medição do tempo das constantes C_1 , C_2 e C_3 ,

estas constantes são calibradas e verificadas com padrões MRC de acordo com suas faixas de trabalho descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Valor das constantes e faixa de trabalho

	Valor das constantes (mm ² /s)	Faixa de trabalho (mm ² /s)
C ₁	0,063335	5,1 - 25
C ₂	0,28481	23 - 118
C ₃	1,3374	107 - 535

Fonte: Elaborada pela autora.

A amostra é succinoda pelo equipamento em um volume de 15 ml, onde um sistema de cronometragem é acionado para cronometrar, um tempo seguro ± 15 minutos, para garantir que a amostra, entre em equilíbrio e atinja a temperatura do ensaio (40°C). Em seguida, o mesmo volume de 15 ml de amostra foi submetido ao escoamento pelo capilar presente no banho. O tempo de escoamento é medido por sensores presentes no equipamento. Desta forma o equipamento consegue calcular a medida do tempo em segundo e centésimos com a constante do capilar (C₁), obtendo-se assim o resultado.

Calcula-se a viscosidade cinemática (V) a partir do tempo de escoamento medido (T) e a constante do instrumento (C) por meio da seguinte equação

$$V = C \times T \quad (3)$$

Onde:

V = Viscosidade cinemática expressa em milímetros quadrados por segundo (mm²/s)

T = Média do tempo gasto pelo fluxo em segundos (s) e centésimos (c).

C = Constante de calibração do tubo capilar, bulbo inferior, expressa em milímetros quadrados por.

Para limpeza do equipamento, após a análise, dois solventes são utilizados, primeiramente realizam-se vários enxagues com solvente de limpeza (querosene de aviação (Avijet)), seguindo do solvente de secagem (álcool Isopropílico), terminando com várias correntes de ar seco até que o último resíduo de solvente seja removido.

4.5.2 Água de Karl Fischer

A presença de água provoca a formação de emulsões, falha da lubrificação em condições críticas, precipitação dos aditivos, formação de borra e aumento da corrosão.

Quando a água está presente em concentrações de 2.000 mg/kg, o óleo é condensado, a menos que a concentração possa ser reduzida abaixo deste limite por centrifugação ou por outros métodos. Pois a contaminação pela água é prejudicial a qualquer tipo de lubrificante [43].

O procedimento do ensaio foi baseado na norma ABNT NBR -11348 - Produtos líquidos de petróleo – Determinação de água pelo reagente de Karl Fischer [68].

A titulação Karl Fischer é provavelmente o método analítico, mais utilizado para aferir o teor de água (humidade) em solvente e outros produtos. O método consiste na titulação de uma amostra de óleo lubrificante, diluída em 50 ml de uma solução com (250 ml de metanol e 750 ml de clorofórmio), conforme a titulação se inicia é inserido o reagente Karl Fischer (5 mg/ml iodo, dióxido de enxofre e amina). Com a presença de água, o iodo com o dióxido de enxofre é consumido rapidamente, pelo que a sua medição pode ser realizada e relacionada com o teor de água nas amostras analisadas. O ponto final da titulação pode ser detectado visualmente pela mudança de cor provocada pelo iodo.

Para estas análises de Karl Fisher foi utilizado um titulador automático da marca Titrand e modelo Titrino Plus 870, conforme representado pela Figura 22.

Figura 22 - Equipamento Karl Fischer



Fonte: [69].

4.5.3 Índice de Acidez total (IAT)

O índice de acidez total indica a quantidade total de substâncias ácidas contidas no óleo. As substâncias ácidas geradas pela oxidação do óleo podem atacar metais e produzir compostos insolúveis. Quando um lubrificante apresenta caráter ácido é importante verificar as condições dos aditivos e se há deterioração, pois, estas razões podem estar relacionadas à acidez deste óleo [70].

O procedimento é realizado conforme norma ABNT NBR 14448-Óleos lubrificantes, produtos de petróleo e biodiesel- Determinação do número de acidez pelo método de titulação potenciométrica [71].

O índice de acidez é entendido como a quantidade de hidróxido de potássio (KOH) por grama de amostra. A análise é realizada pesando-se $20\text{g} \pm 2$ de uma amostra de óleo lubrificante, em seguida adiciona-se 50 ml do solvente de titulação (50% tolueno, 49,5% isopropanol e 0,5 % água), cadastra-se a massa pesada da amostra no equipamento. Por fim, realiza-se uma titulação potenciometricamente com uma solução de hidróxido de potássio (0,1 N) alcoólico, usando eletrodo indicador de pH, até a obtenção do resultado. A padronização do eletrodo de pH é realizada com soluções padrões de pH 4,0 e pH 7,0 antes da realização do ensaio.

Para estas análises de IAT, foi utilizado um titulador automático da marca titrando do modelo titrando 905 representado de acordo com a Figura 23.

Figura 23 - Titulador automático 905



Fonte: [69].

4.5.4 Contagem de Partículas

O ensaio de contagem de partículas determina a quantidade e tamanho das partículas sólidas presentes no lubrificante, essas partículas podem ser desde poeiras que entraram no sistema até partículas de desgaste do equipamento, quando estão em altas quantidades, podem entupir filtros presentes no sistema e prejudicar a lubrificação [53]. A contagem de partículas é usada extensamente para monitorar os sistemas hidráulicos, onde as partículas de desgaste são maiores que 10 μm (além dos limites da espectrografia normal), [72].

O procedimento é realizado conforme norma ISO 4406 - *Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding level of contamination by solid particles* [73].

Para isso, amostra é homogeneizada no próprio frasco de coleta, manualmente com movimentos leves, por aproximadamente 25 segundos. Após a homogeneização, deixa-se o frasco da amostra no ultrassom por pelo menos 15 minutos, para eliminar as bolhas formadas durante a agitação. Em seguida, a amostra é acoplada ao equipamento que identifica as partículas presentes no óleo de acordo com as faixas de (4 μm , 6 μm e 14 μm), através de um laser contido dentro do equipamento, que permite fazer a leitura de micropartículas.

Para estas análises de contagem, foi utilizado um contador de partícula da marca Spectro do modelo LNF Q200 representado na Figura 24.

Figura 24- Contador de partículas



Fonte: [74].

4.5.5 Determinação de elementos metálicos

Elementos metálicos estão presentes na formulação do lubrificante através de aditivos e principalmente por desgastes metálicos do equipamento. A determinação desses elementos possibilita avaliar as condições do equipamento, detectando possíveis peças desgastadas ou em degradação [2].

O procedimento de análise é realizado conforme norma ASTM D6595 - *Determination of wear metals and contaminants in used lubricating oils or used hydraulic fluids by rotating disc electrode atomic emission spectrometry* [75].

Para a realização do ensaio, inicialmente é feita uma curva de calibração do equipamento utilizando três óleos padrões com as concentrações de 0, 100 e 900 mg/kg de 22 elementos metálicos, sendo eles, Al, Ag, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sn, Ti, V, Zn e Li. As amostras foram analisadas a seguir, com a finalidade identificar os elementos Fe, Cu, Si, Cr, Al, Pb, Sn, que fazem parte da composição das peças em contato com o sistema de lubrificação de uma turbina a vapor. Para a determinação dos elementos metálicos presentes nas amostras são utilizados a técnica de espectrometria de emissão atômica. Nessa técnica, há uma descarga elétrica, energia externa, que entra em contato com a amostra, essa energia atomiza a amostra fazendo com que os elétrons alcancem o estado excitado e quando retornam para o estado fundamental emitem radiação (intensidade específica para cada elemento) fornecendo o resultado de concentração de cada elemento [76].

Para estas análises de elementos metálicos, foi utilizado espectrômetro de emissão atômica da marca Spectro (modelo Spectroil M), ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Equipamento de emissão atômica



Fonte: [74].

4.5.6 Infravermelho

A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier é uma técnica que está sendo aceita como um método rápido que permite analisar: oxidação, nitração, fuligem, sulfatação, água, diluição por combustível, contaminação por glicol e aditivos. Neste trabalho, será analisada a oxidação nos óleos lubrificantes utilizados em uma turbina a vapor [12,77].

O óleo quando exposto ao oxigênio do ar e a temperaturas elevadas, pode oxidar-se com uma variedade de combinações, a maioria compostas de carbonilas, inclusive ácidos carboxílicos. Ácidos carboxílicos contribuem para a acidez do óleo diminuindo os elementos aditivos básicos presentes no óleo, contribuindo para a corrosão. A oxidação também pode ainda aumentar a viscosidade do óleo, formação de verniz de borras, entupimentos e uma série de outros problemas [12,77].

O procedimento é realizado conforme norma ASTM E2412- 10 - *Standard Practice for condition monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry* [78].

As amostras são homogeneizadas no próprio frasco de coleta, e colocadas no suporte no equipamento. Em seguida as amostras são cadastradas e colocadas para análise, o equipamento é automático, e a cada leitura de amostra, o equipamento utiliza Heptano P.A para a sua limpeza e secagem através de seringas acopladas ao auto sample.

Para estas análises de oxidação, foi utilizado o infravermelho automático da marca Perkin Elmer do modelo Spectrum Two representado na Figura 26.

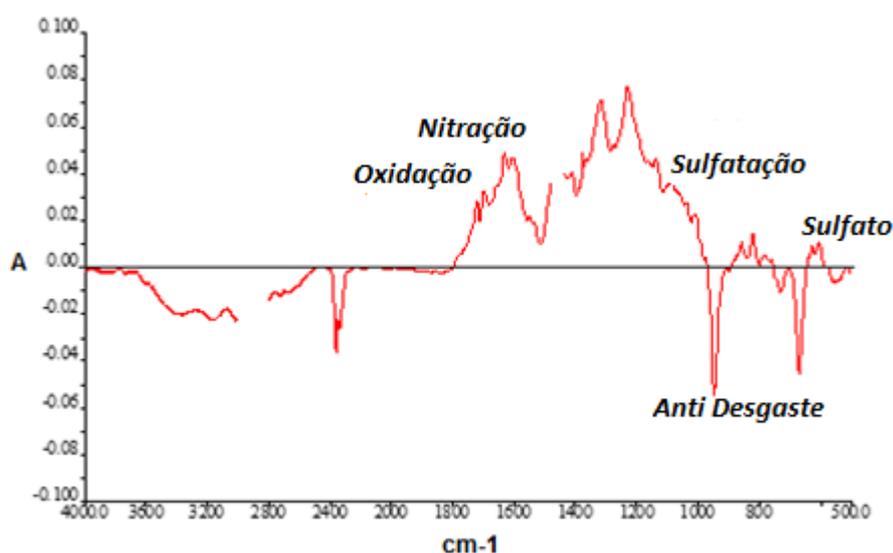
Figura 26 - Equipamento de infravermelho



Fonte: [79].

Uma amostra de óleo usado é uma mistura complexa de um número grande de combinações químicas diferentes derivadas do óleo básico original, seus elementos aditivos, produtos de degradação de óleo e contaminante. O espectro infravermelho de uma amostra de óleo usada é essencialmente a soma dos espectros de seus componentes. A Figura 27 apresenta um espectro de infravermelho do óleo onde ilustra as regiões de parâmetros de cada composto presente em um óleo lubrificante, neste trabalho será analisado somente a região de oxidação que é encontrada na região com comprimento de onda de 1100 cm^{-1} a 1200 cm^{-1} .

Figura 27 - Regiões dos parâmetros do infravermelho



Fonte: [78].

O cálculo de oxidação é realizado através do software Oilexpress, onde o mesmo faz um cálculo comparativo com um espectro de óleo novo (referência) com um espectro de óleo usado, onde através das áreas de picos correspondente a oxidação, obtém-se o valor de oxidação em porcentagem (%).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios realizados do óleo novo (padrão) e do acompanhamento trimestral do mesmo, fazendo o comparativo entre os valores. Assim, consegue-se verificar e acompanhar o desempenho do óleo lubrificante dentro da turbina a vapor através de análises precisas realizadas em triplicatas para obtenção da média garantindo, a qualidade e a eficiência da análise.

A Tabela 6 apresenta os resultados referentes ao monitoramento da Viscosidade (mm^2/s), realizado a 40°C .

Tabela 6 - Valores obtidos da viscosidade.

	Amostra 01 (Padrão)	Amostra 02 3 meses	Amostra 03 6 meses	Amostra 04 9 meses
Viscosidade " mm^2/s "	$68,68 \pm 0,01$	$68,03 \pm 0,02$	$66,75 \pm 0,02$	$61,04 \pm 0,04$

De acordo com a Tabela 6, observa-se que a viscosidade das amostras 02, 03 e 04, correspondentes a três, seis e nove meses de uso em relação à amostra 01 (padrão), saiu fora dos parâmetros permitidos pela norma do ensaio 0,26% [66]. Isso pode inferir que com o tempo de uso, ocorreu à redução da viscosidade, que pode estar relacionado com a degradação do óleo que irá ocasionar o desgaste excessivo do equipamento. As principais causas da degradação é a perda de uma das funções do lubrificante que é proteção contra corrosão, fazendo aumentar o atrito mecânico causando um consumo excessivo de energia, vazamentos internos e externos e desgaste das engrenagens, mas somente com esta análise não conseguimos condenar o óleo e nem distinguir o motivo da real perda da sua eficiência dentro do sistema de lubrificação da turbina a vapor [2,77]. Portanto, outras análises foram realizadas a fim de chegar a uma conclusão mais precisa do que está acontecendo com este óleo após seu uso na turbina a vapor.

A Tabela 7 está apresentado os resultados referente ao monitoramento da Água (mg/Kg) e em (%), realizado no equipamento de Karl Fischer.

Tabela 7 - Valores obtidos da água de Karl Fischer.

	Amostra 01 (Padrão)	Amostra 02 3 meses	Amostra 03 6 meses	Amostra 04 9 meses
Água de K.F "mg/kg"	208 ±0,42	389 ±0,47	1750 ±0,47	5148 ±0,78
Água de K.F "%"	0,0%	0,0%	0,2%	0,5%

De acordo com a Tabela 7, é possível observar que as amostra 03 e 04 apresentam água os valores de 0,2% e 0,5%, respectivamente. Isso indica irregularidades mecânicas no equipamento ou desempenho insatisfatório do sistema de purificação. O limite máximo, para efeito de troca de carga de óleo é 0,2% de acordo com a repetibilidade permitido pela norma do ensaio, [68]. A contaminação por água é indesejável na maioria dos sistemas de lubrificação, porque sua presença pode resultar em formação de emulsões, falha ou ineficiência de lubrificação em pontos críticos, precipitação dos aditivos por hidrólise, formação de borras, que pode entupir filtros ou tubulações e contribuição para a corrosão das superfícies metálicas em certos casos [2,77]. Desta forma o recomendável é a retirada do óleo lubrificante referente às amostras 03 e 04, correspondentes a seis e nove meses de uso, pois o sistema de lubrificação está perdendo sua eficiência devido ao percentual de água encontrado no sistema. Observa-se que a partir da análise de Karl Fischer, já consegue obter um diagnóstico melhor da amostra, pois a contaminação por água modifica o estado físico-químico do óleo.

A Tabela 8 apresenta os resultados referentes ao monitoramento da IAT (mgKOH/g).

Tabela 8 - Valores obtidos de IAT.

	Amostra 01 (Padrão)	Amostra 02 3 meses	Amostra 03 6 meses	Amostra 04 9 meses
IAT "mgKOH/g"	0,0905 ±0,00	0,1258 ±0,00	0,2478 ±0,01	0,3746 ±0,01

De acordo com a Tabela 8, é possível observar que o aumento da contaminação de água eleva também o índice de acidez devido à água ter o poder de

oxidação. Quando há oxidação contínua do óleo pode ocorrer à formação de ácidos a partir da degradação do produto [2,77].



As amostras 03 e 04 apresentam valores de 0,2478 e 0,3746 mgKOH/g, respectivamente e apresentam seus resultados acima do limite permitido pela repetibilidade permitida pela norma do ensaio 0,117% [71]. Desta forma o ensaio condena as amostras 03 e 04, correspondentes a seis e nove meses de uso. Porém a amostra 03 se for filtrada, poderá melhorar o seu desempenho, mas amostra 04 deverá ser substituída por um óleo novo.

Com as análises deste ensaio e dos citados acima é possível observar que o lubrificante já está perdendo a sua eficiência, se degradando devido à contaminação por água na amostra 03, e condenada na amostra 04, porém outras análises do óleo são realizadas a fim de compreender ainda mais os malefícios da não troca do óleo após um determinado tempo de uso.

A Tabela 9 apresenta os resultados referentes ao monitoramento da Contagem de Partículas.

Tabela 9 - Valores obtidos da Contagem de Partículas

	Amostra 01 (Padrão)	Amostra 02 3 meses	Amostra 03 6 meses	Amostra 04 9 meses
Partículas “4µm”	405,3 ±0,11	1.015,3 ±0,11	32.613,2 ±1,58	***
Partículas “6µm”	65,5 ±0,11	179,5 ±0,11	16.743,2 ±1,46	***
Partículas “14µm”	14,9 ±0,12	24,9 ±0,12	5.815,4 ±1,33	***

De acordo com a Tabela 9, é possível observar que as partículas encontradas nas faixas (4µm, 6µm e 14 µm), vão aumentando em função dos meses de uso do óleo devido às condições de trabalho do equipamento. Quando há um aumento da contaminação de água também é observado um maior número de partículas encontrado nas amostras e propriedades que elevam o desgaste do equipamento. Os resultados da amostra 03 correspondente a seis meses de uso mostra essa relação e ultrapassam os limites estabelecidos pela repetibilidade permitida pela norma do

ensaio nas seguintes faixas de trabalho, 4 μ m (668 μ m), 6 μ m (324 μ m) e 14 μ m (166 μ m), [73]. Não foi possível analisar a amostra 04, devido à contaminação por água, que dificulta a contagem das partículas. Diante desta situação, pode-se considerar que a amostra 04 correspondente a nove meses de uso, está, mais uma vez, condenada, necessitando da troca do óleo no sistema de lubrificação.

A Tabela 10 apresenta os valores referente ao monitoramento dos elementos metálicos em mg/Kg.

Tabela 10 - Valores obtidos dos elementos metálicos

	Amostra 01 (Padrão)	Amostra 02 3 meses	Amostra 03 6 meses	Amostra 04 9 meses
Ferro “mg/kg”	1 \pm 0,02	2 \pm 0,01	3 \pm 0,04	5 \pm 0,04
Cobre “mg/kg”	0 \pm 0,05	1 \pm 0,05	2 \pm 0,05	5 \pm 0,04
Silício “mg/kg”	1 \pm 0,02	2 \pm 0,01	3 \pm 0,04	3 \pm 0,05
Cromo “mg/kg”	1 \pm 0,02	3 \pm 0,05	2 \pm 0,05	4 \pm 0,05
Alumínio “mg/kg”	0 \pm 0,05	1 \pm 0,05	3 \pm 0,04	5 \pm 0,04
Chumbo “mg/kg”	1 \pm 0,02	1 \pm 0,05	2 \pm 0,05	4 \pm 0,05
Estanho “mg/kg”	1 \pm 0,02	2 \pm 0,01	3 \pm 0,04	3 \pm 0,05

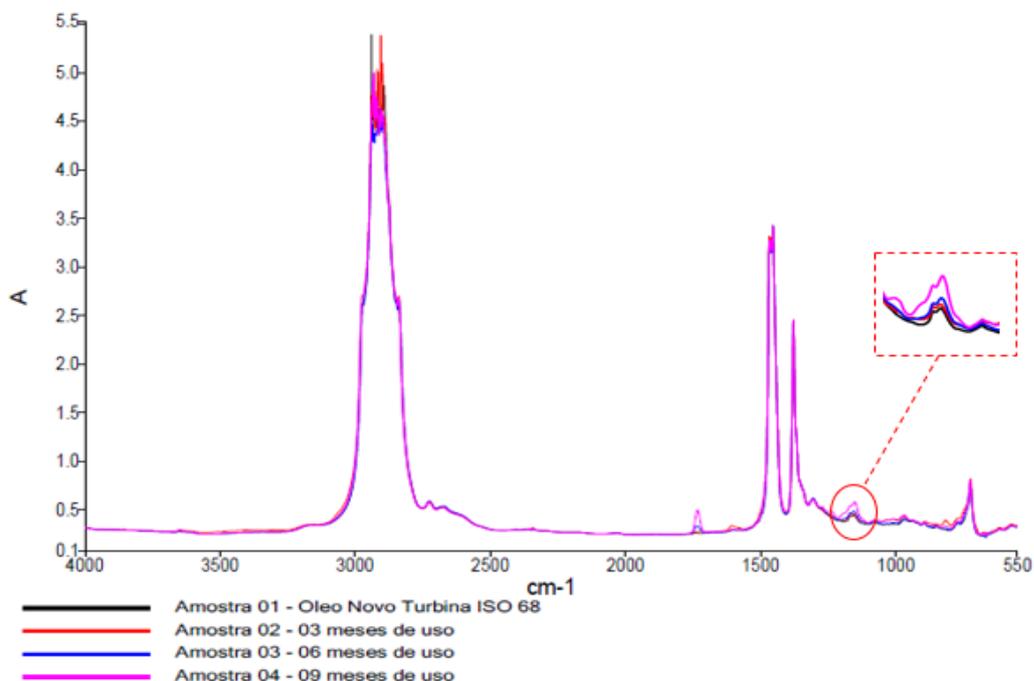
Foram analisados os elementos metálicos que estão presentes na composição de peças que compõe o sistema mecânico que quando detectados no lubrificante fornece indícios de desgaste dessas peças, uma das causas pode ser ineficiência na lubrificação [2,77].

De acordo com a Tabela 10, nota-se que nenhum elemento tem sua concentração superior a repetibilidade permitida pela norma do ensaio 1,8% [75], mas seu aumento ocorre proporcionalmente com a contaminação da água, onde para as amostras 03 e 04, correspondentes a seis e nove meses de uso, há um número maior de todos os elementos metálicos analisados, indicando assim que pode estar ocorrendo um maior desgaste das peças da turbina a vapor.

A Figura 28 apresenta um espectro de infravermelho referente às amostras estudadas para ilustrar melhor o pico em que as análises foram realizadas, referente ao pico de oxidação que é encontrada na região com comprimento de onda em aproximadamente 1200 cm^{-1} . É possível observar um aumento do pico de oxidação

crescente em relação às amostras 01, 02, 03 e 04. Isso confirma um aumento da oxidação, pois esse aumento está relacionado à área do pico analisada.

Figura 28 – Espectros das amostras analisadas



Fonte: Elaborada pela autora.

Na Tabela 11 serão apresentados os resultados referentes ao monitoramento da oxidação (%), realizado no equipamento de infravermelho a través do espectro ha presentado ácima.

Tabela 11 - Valores obtidos de oxidação

	Amostra 01 (Padrão)	Amostra 02 3 meses	Amostra 03 6 meses	Amostra 04 9 meses
Oxidação “%”	0,02±0,01	0,34±0,01	0,85±0,03	1,98±0,04

De acordo com a Tabela 11 e a Figura 29, é possível observar que a oxidação teve uma maior variação na amostra 03 e um aumento ainda mais significativo para a amostra 04, permitido pela repetibilidade permitida pela norma do ensaio 0,36% [78], onde sua principal causa pode indicar uma máquina que aquece demais ou uma

depreciação do aditivo antioxidante devido a contaminação por água, desta forma condensa o óleo lubrificante. Pois o óleo na presença de calor, água, ar e impurezas diversas, há tendência de o mesmo é oxidar e com o tempo a corroer as peças da turbina [2,77]. Mais uma vez, com essa análise há um indicativo de troca de óleo para as amostras 03 e 04 correspondentes a seis e nove meses de uso do óleo na turbina a vapor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a manutenção preditiva da turbina a vapor realizada, pode-se concluir que um óleo lubrificante tem que obter características que possam atender as necessidades do equipamento e que com a integração da manutenção e análise preditiva há uma melhora do rendimento e a vida útil do equipamento, diminuindo os gastos com manutenções não planejadas.

Quatro amostras provenientes de óleos de uma turbina a vapor foram submetidas a ensaios físico-químicos. Os resultados foram comparados com amostra padrão iniciais (óleo novo) e com parâmetros de repetibilidade de cada ensaio, no qual se observou que com o passar dos meses a amostra foi se contaminando e sofrendo variações em sua composição.

Dentro dos resultados observados, sugere-se que na amostra 03 (seis meses a pós o uso), há a necessidade da manutenção preditiva do equipamento, assim verificando a vedação do equipamento, filtro para verificar da onde está vindo a contaminação por água dentro do sistema da turbina, e é recomendável a retirada do óleo para fazer uma filtragem com desumidificação para retirada da água no sistema ou até mesmo a troca do lubrificante.

Na amostra 04 (nove meses a pós o uso), é extremamente necessária a troca do óleo lubrificante, pois a partir destas análises, o lubrificante foi condenado, isto significa que o lubrificante presente no equipamento não está mais conseguindo realizar suas funções adequadamente, danificando e comprometendo o funcionamento da turbina a vapor.

Com as análises preditivas, conseguimos avaliar o desempenho do lubrificante dentro da turbina a vapor. É importante enfatizar ainda que um ensaio depende do outro, se não realizados todos os ensaios citados e executados neste trabalho, não é possível dar um diagnóstico preciso para o óleo analisado. Se não realizadas estas recomendações, o equipamento pode ocasionar uma manutenção não planejada, prejudicando o rendimento da indústria.

Desta forma, as análises auxiliam na manutenção preditiva, que beneficia a indústria reduzindo estoque, custos com manutenções não planejadas e consequentemente aumentando a vida útil do equipamento.

REFERÊNCIA

1. THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Interciência, 2001.
2. CARRETEIRO, Ronald P.; BELMIRO, Pedro Nelson A. **Lubrificantes e lubrificação industrial**. Interciência: IBP, Rio de Janeiro, 2006.
3. PEREIRA JUNIOR, O. A.; LOUVISSE, A.M.T. **Metodologia experimental de amostragem cinética para efluentes**, 2000. Boletim Técnico PETROBRÁS, 43, 62-68, 2000.
4. DE FREITAS, Renné Vieira et al. **Remoção de metais em óleos lubrificantes usados utilizando argila ativada**, 2003. 2º congresso de P&D em Pétroleo & Gás, 2003.
5. CUNHA, Rodrigo Carvalho. **Redutor de velocidade através da técnica de partículas de desgaste no óleo lubrificante auxiliada pela análise de vibrações**, 2005. (Tese de Doutorado). Universidade estadual paulista, UNESP. Ilha Solteira, 2005.
6. SOUZA, G.F.M; MOLINARI, R. PMR-5235. **Fundamento da manutenção de sistemas mecânicos**. São Paulo: Epusp, 2008. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia Mecatrônica, 60p 2008.
7. NBR, ABNT. 5462-TB116: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.
8. NASCIMENTO, Marco Antonio Rosa do. (Coord.).. **Geração termelétrica; planejamento, projeto e operação V1**. Rio de Janeiro, Interciência, 631 p. 2004..
9. MACINTYRE, Archibald Joseph. **Equipamentos industriais e de processo** 1.ed. São Paulo:LTC, 278 p. 1997...
10. MÁLAGA, A.; CIRIA, J. I T, **Seguimiento de la formación de partículas insolubles em aceites de turbina de vapor**. Espanha: [s.n.], 2008. 14p. (Boletín: Lubricación y Mantenimiento). Disponível em: <<http://www.wearcheckiberica.es/Documentacion/DocTecnica/Boletin13.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2016.
11. VIANA, HERBERT RICARDO GARCIA. **PCM-Planejamento e Controle da Manutenção**. Qualitymark Editora Ltda, 10 p. 2013
12. BERTINATTO, Rovian. **Análise da contaminação e degradação do óleo lubrificante e desgaste de um motor otolizado alimentado por biogás**, 2014. Dissertação (Mestre em energia na agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

13. ALEGRE, Guilherme Henrique Mayer et al. **Avaliação do uso de mancais ativos em motores de combustão interna**. (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas . Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2009.
14. AECIPE. Asociación Española de Ciudades de la Pesca - **Guia de Referência y Selección de Tecnologias de Biorremediación em Ambientes Marinos**, 2002. Universidade de Cádiz, España. p.85. 2002.
15. Brasil, Nilo Indio (Org.).. **Processamento de petróleo e gás** . 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.. 273 p.
16. SACCHETTA, V. Petróleo: **A ciência de extrair energia da terra. Brasil**. ED. Duetto, n.03, p 8-11. 2003.
17. SPEIGHT, James G. **The chemistry and technology of petroleum**. CRC press, 2014.
18. SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Engenharia de automação. **Sistema de produção, Refino e transporte de petróleo** 2012, aula 2, Rio de Janeiro, 2012.
19. MAIA, Júlio. **Desenvolvimento de processos químicos - simulação e análise da coluna de destilação a vácuo da unidade de destilação de processos de refino de petróleo** 2007 (Disseração de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química UNICAMP, Campinas 2007.
20. DA SILVA, Ricardo José, **Avaliação das características físico-químicas do óleo lubrificante automotivo usado**. 2014. Pós-graduação (Mestrado profissional em engenharia do petróleo e gás natural) - Universidade potiguar UNP, Natal/RN 2014.
21. CARDOSO, Luiz Cláudio. **Petróleo do poço ao posto**. Qualitymark Editora Ltda, 2005.
22. YAMANISHI, Erika et al. **Simulação, análise e otimização das colunas atmosferica e debutanizadora da unidade de destilação do refino de petróleo**. 2007.(Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química UNICAMP, Campinas 2007
23. LUBES. **Processo simplificado de produção de óleos básicos**, 2012. Disponível em: <<http://www.lubes.com.br/revista/ed05n03.html>> .Acesso em 9 jul 2016.
24. MARIANO, Jacqueline Barboza. **Impactos ambientais do refino de petróleo**, 2001. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro 2001.
25. HERNANDEZ, Monica Rocio Ramirez et al. **Estudo do processo de craqueamento térmico de frações residuais do petróleo**, 2009.(Dissertação de

estrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química UNICAMP, Campinas 2009.

26. GÂNDARA, Gustavo Morini Ferreira. **Óleos lubrificantes minerais: uma análise das potencialidades da reutilização**, 2000. (Pós-graduação) em engenharia de produção. Programa de pós-graduação em engenharia de produção Santa Bárbara do Oeste 2000.

27. ROITMAN, Valter, **Curso de formação de operadores de refinaria operações unitárias**. Curitiba: PETROBRÁS: Unicesp, 2002

28. FALLA SOTELO, Francisco. **Aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo na caracterização de petróleo: simulação de uma unidade de destilação atmosférica**, 2006. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo 2006.

29. AYALA, Ayda Karina León et al. **Desenvolvimento de uma unidade virtual para desasfaltação de resíduos pesados de petróleo para maximização de óleo desasfaltado e daí óleo lubrificante**. 2011. (Dissertação de mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UNIAMP, Campinas 2011.

30. GUIMARÃES, Maria José Oliveira C. **Projeto de Final de Curso**, 2006.

31. ABADIE, E. **“Processos de Refinação”**, Petrobras, Rio de Janeiro, 2002

32. SAWARKAR, Ashish N. et al. **Petroleum residue upgrading via delayed coking: A review. The canadian journal of chemical engineering**, v. 85, n. 1, p. 1-24, 2007.

33. TRINDADE, Eduardo Dominguez. **Efeito do tipo de óleo básico no desempenho tribológico de dialquilditiocarbamato de molibdênio como aditivo para lubrificantes automotivos**, 2014. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo USP. São Paulo, 2014.

34. STOLARSKI, A. T. **Tribology in machine design**. Oxford: Industrial Press, 1990.

35. RIZVI, Syed QA. **Lubricant Chemistry, Technology, Selection, and Design**. ASTM International, Conshohocken, 2009.

36. WEIDLICH, Felipe. **Avaliação da lubrificação de rolamentos de motores elétricos por ultrassom**. 2009. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009

37. SILVEIRA, Eva Lúcia Cardoso et al. **Determinação de metais em óleos lubrificantes, provenientes de motores de ônibus urbano, utilizando a FAAS**. Quim. Nova, v. 33, n. 9, p. 1863-1867, 2010.

38. CAMARA, M.A.; PERES, B.R.; CHRISTIANINI, R.Z. **Manutenção e lubrificação de equipamentos** 2010 (Dissertação). Universidade Estadual Paulista, UNESP, 2010
39. LAGO, Daniel Fabiano. **Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante**, 2007 (Dissertação). Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UNESP. Ilha Solteira 2007.
40. CPM. Programa, de Certificação de Pessoal de. Manutenção-. **Mecânica de Lubrificação**, 22-23 p, 1997.
41. SA, PETROBRÁS DISTRIBUIDORA. **Lubrificantes**, Fundamentos e Aplicações. Volume I, 1999.
42. PIRRO, D.M; WESSOL, A.A. **Lubrication Fundamental**, 2nd Edition, New York, U.S.A, Published by Marcel Dekker Incorporation, 2001.
43. BENEDUZZI, Anderson Henrique. **Procedimentos de coletas de óleo para análise preditiva de turbinas a gás**. 2012.
44. MANG, Theo; DRESEL, Wilfried (Ed.). **Lubricants and lubrication**. John Wiley & Sons, 63 p, 2007
45. NEALE, Michael John. **Lubrication and reliability handbook**. Newnes, 2001.
46. PASCOAL, José Eli. **Proposta de modelo para controle e manutenção de ativos físicos da produção, em uma planta industrial**, 2012 (Monografia), Programa de Pós-Graduação em Gerência de Manutenção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2012.
47. CST Arcelor Brasil. 2006. **"Mecânico Lubrificador"**. 2006. Disponível em < <http://www.abraman.org.br/Arquivos/77/77.pdf> > Acesso em 21 jun 2016.
48. FARAH, M.A. **Petróleo e seus derivados**. Rio de Janeiro 231-232 p, 2012.
49. DE MATOS, Paulo Roberto Rodrigues. **Utilização de Óleos Vegetais como Bases Lubrificantes**, 2011. (Tese de Doutorado). Universidade de Brasília 2011.
50. SANT'ANNA, Davi Vieira. **Análise de óleos lubrificantes para programa de manutenção**, 2006. Trabalho de Conclusão de Curso, (Bacharel em Química). Universidade do Sagrado Coração, Bauru 2006.
51. COMINO Cesar Aguilera. **Utilização de análise de vibração em apoio a manutenção industrial**,. Unimar universidade de Marília. 2013
52. MARCORIN, Wilson Roberto; LIMA, Carlos Roberto Camello. **Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos**. Revista de Ciência & Tecnologia, v. 11, n. 22, 35-42 p, 2003.

53. MURTY, A. S. R.; NAIKAN, V. N. A. **Availability and maintenance cost optimization of a production plant**. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 12, n. 2, 28-35 p, 1995.
54. NASCIF, Júlio; KARDEK, Alan. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.
55. NASCIF, Júlio; DORIGO, Luiz Carlos. **The importance of maintenance management** or. 2013.
56. OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. **A proposta de desenvolvendo de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial, v. 4, n. 02, p. 01-16, 2008.
57. ARATO Junior, Adyles. **Manutenção preditiva usando análise de vibrações** . Barueri, SP: Manole, 2004.190 p.
58. CAVALCANTE, Cristiano Alexandre Virgínio; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza**. Pesquisa Operacional, v 25, n 2, 279-296 p, 2005.
59. BENEDETTI, Julinho Alberto. **Manutenção centrada em confiabilidade e análise de vibração**, 2002.
60. ALVES, Gilmar Ferreira. **Análise de confiabilidade aplicada aos ensaios de óleos lubrificantes para motores de tratores**, 2007. tese de doutorado. Universidade estadual paulista. Júlio de mesquita filho 2007.
61. PETROBRAS, gerencia industrial. **Lubrificantes fundamento e aplicação**, 2005, gerencia industrial janeiro, 60 p , 2005.
62. SHELL TURBO T , **Lubrificante de Alta Qualidade para Turbina a Vapor Industrial e a Gás** 2012.
63. TERRADILLOS, J. **Entender el mecanismo de formación de barnices como parte de técnicas analíticas de programas de monitoreo de aceite de turbina de gás**. Mantenimiento: ingeniería industrial y de edificios, n. 220, p. 6-16, 2008.
64. THIOLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez & Autores Associados,1988.
65. FITCH, J.C., **Oil Analysis and Proactive Maintenance Seminar Workbook, Diagnostics**, Inc., Tulsa, 1996.
66. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR 10441**. Produto de petróleo – Líquidos transparentes e opacos - Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica. 2014.

67. PENSALAB. **HVM 472 Multi Viscosímetro Cinemático Automático**, 2016 Disponível em: <<http://pensalab.com.br/produtos/hvm-472-multi-viscosimetro-cinematico-automatgico-2>> .Acesso em: 30 ago 2016.
68. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR-11348**. Produtos líquidos de petróleo – Determinação de água pelo reagente de Karl Fischer. 2014.
69. TITULAÇÃO. **Metrohm** 2016 Disponível em: <<http://www.metrohm.com/pt-br/produtos-geral/titulacao-karl-fischer>> e disponível em: <<http://www.metrohm.com/pt-br/produtos-geral/titulacao/titrino-plus>>. Acesso 30 ago 2016.
70. MALPICA, Luis Gustavo Torquatro. **Manutenção preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da técnica de análise de lubrificantes**, 2007 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.UNESP.Ilha Solteira 2007
71. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR 14448**. Óleos lubrificantes, produtos de petróleo e biodiesel- Determinação do número de acidez pelo método de titulação potencio métrica.. 2013a.
72. KIMURA, Rogério Katsuharu. **Uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel estacionários, utilizando-se misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação do lubrificante**,2010. (Dissertação) Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.UNESP Ilha Solteira 2010..
73. ISO. International organization for standardization **ISO 4406**. Hydraulic fluid power - Fluids - Method for coding level of contamination by solid particles. 1999.
74. Mencoil Diagnosi Macchiniche. **Spectro Scientific instruments**, 2016. Disponível em: < <http://www.spectrosci.com/product/spectroil-mc-w>> e disponível em: < <http://www.spectrosci.com/product/Inf-q200>>. Acesso em: 5 set 2016.
75. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ASTM D6595**. Determination of wear metals and contaminants in used lubricating oils or used hydraulic fluids by rotating disc electrode atomic emission spectrometry.2011.
76. SKOOG, A. D., WEST, D. N., HOLLER, J. F, CROUCH, R. S., **Fundamentos da Química Analítica, Thonson Learning**, 2006. Tradução da 8a ed. Norte americana, 999 p , 2006.
77. RUNGE, Peter RF; DUARTE, Gilson N. **Lubrificantes nas indústrias– Produção, manutenção e controle**. Cotia, SP, Brasil, Triboconcept Edições Técnicas, 71-171,323 p. 1990.
78. .INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ASTM E2412-10**. Standard Practice for condition monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry, 2011.

79. OILEXPRESS. **Perkielmer**, 2016. Disponível em
<<http://www.perkinelmer.com.br/brochuras/OilExpress%20Family.pdf>>
Acesso em: 5 set 2016.