

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS
E BIOQUÍMICOS

CAMILA ROCHA LOUZEIRO

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE QUEROSENE DE AVIAÇÃO DE ALTO PONTO DE
FULGOR, ESPECIAL PARA A MARINHA DO BRASIL (QAV-5), EM ÓLEO
DIESEL MARÍTIMO (ODM)

RIO DE JANEIRO

2023

CAMILA ROCHA LOUZEIRO

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE QUEROSENE DE AVIAÇÃO DE ALTO PONTO DE
FULGOR, ESPECIAL PARA A MARINHA DO BRASIL (QAV-5), EM ÓLEO
DIESEL MARÍTIMO (ODM)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial necessário à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientadores: Luiz Antonio d'Avila, D.Sc.

Débora França de Andrade, D.Sc.

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

L895i Louzeiro, Camila Rocha
Influência da adição de querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil (QAV-5), em óleo diesel marítimo (ODM) / Camila Rocha Louzeiro. -- Rio de Janeiro, 2023.
150 f.

Orientador: Luiz Antonio d'Avila.
Coorientador: Débora França de Andrade.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2023.

1. Querosene de aviação. 2. Óleo diesel marítimo.
3. Degradação. I. d'Avila, Luiz Antonio, orient. II. Andrade, Débora França de, coorient. III. Título.

CAMILA ROCHA LOUZEIRO

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE QUEROSENE DE AVIAÇÃO DE ALTO PONTO DE
FULGOR, ESPECIAL PARA A MARINHA DO BRASIL (QAV-5), EM ÓLEO
DIESEL MARÍTIMO (ODM)

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia de
Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola
de Química da Universidade Federal do Rio de
Janeiro, como requisito parcial necessário à
obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientada por:

Luiz Antonio d'Avila, D.Sc.

(EQ/UFRJ)

Débora França de Andrade, D.Sc.

(IQ/UFRJ)

Aprovada em 27/09/2023 por:

Luiz Antonio d'Avila, D.Sc.

(EQ/UFRJ)

Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimaraes, D.Sc.

(EQ/UFRJ)

Luciana Spinelli Ferreira, D.Sc.

(IMA/UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me guiar nesta trajetória, sempre iluminando meu caminho.

Agradeço à minha família, que é a maior incentivadora na minha busca pelo aperfeiçoamento e me fornece a base para que eu me desenvolva como pessoa e como profissional.

Agradeço à Marinha do Brasil pela oportunidade de aprofundar meus conhecimentos num tema que tanto me interessa. Em especial, agradeço à DEN, onde tive meus primeiros aprendizados sobre combustíveis marítimos; ao DepCMRJ, pelo fornecimento dos combustíveis para a pesquisa e pela condução de análises laboratoriais; e ao AMRJ, pelo apoio na pesquisa de material de cuproníquel.

Agradeço aos meus orientadores por todo o incentivo, pelo esforço na aquisição de equipamentos e contratação de ensaios necessários ao projeto, pela compreensão e pela contribuição à minha pesquisa. Agradeço não apenas pelo apoio direto, como também por terem me apresentado outras equipes que em muito me auxiliaram.

Agradeço a Cristiane por acompanhar de perto o desenvolvimento do meu trabalho e contribuir com orientações e opiniões técnicas. Seu apoio foi de grande valia para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço ao professor Riehl, do Instituto de Química, por ceder a estufa utilizada em etapa crucial neste estudo.

Agradeço à equipe do LABCOM pela execução de ensaios laboratoriais essenciais à pesquisa e pelo trato sempre amigável. Agradeço também aos alunos do LABCOM pelo auxílio em pesquisas técnicas, no transporte de equipamentos e materiais e na transferência de combustíveis, bem como pelos momentos de descontração no laboratório.

Agradeço ao COPPECOMB, que contribuiu com sugestões no início do projeto e em seguida forneceu apoio laboratorial na análise dos combustíveis.

Agradeço ao CEPTEL por todo o apoio relativo ao estudo da corrosão, desde o corte das placas de cuproníquel até as análises da liga metálica e dos traços de contaminantes no

querosene. A presteza e a agilidade desta equipe foram singulares e possibilitaram adicionar um elemento relevante à pesquisa.

Agradeço ao LABCP, na pessoa do professor Ladimir, pela solicitude nas orientações relativas à análise gravimétrica.

Agradeço ao LabPol por disponibilizar equipamentos para a realização das análises de lubricidade.

Agradeço à FUJB pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

Agradeço a Beatriz pelas diversas vezes que me ajudou ao longo deste projeto, lembrando-me que o ato de contribuir faz bem também a quem oferece o apoio.

RESUMO

O querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil (QAV-5) é o combustível armazenado a bordo de navios militares brasileiros para abastecimento de aeronaves. Após longos períodos de armazenamento, principalmente quando em contato com liga de cuproníquel das tubulações dos navios, este combustível pode degradar e sair de especificação, tornando-se impróprio para uso em aeronaves. Este trabalho investiga a possibilidade de reaproveitar QAV-5 degradado em misturas com óleo diesel marítimo (ODM), para uso em motores diesel propulsores de navios. O estudo consiste na oxidação acelerada de QAV-5 em contato com liga de cuproníquel, em estufa a 50 °C por 16 semanas, seguido de preparação de misturas com ODM a 25%, 50% e 75% em volume, e análise dos combustíveis e suas misturas segundo a especificação do ODM. A avaliação mensal do estado de degradação do QAV-5, realizada por meio do *Jet Fuel Thermal Oxidation Test* (JFTOT) e do teste de goma atual, indica que o QAV-5 degradou e saiu de especificação após 16 semanas de oxidação acelerada. A avaliação do QAV-5 e das suas misturas com ODM indica que a adição de QAV-5 ao *blend* promove redução nos valores de cor ASTM, índice de cetano, teor de enxofre, viscosidade, ponto de fluidez, massa específica e lubricidade das misturas. Cor ASTM e viscosidade das misturas tendem a aumentar conforme o QAV-5 é envelhecido. Estabilidade à oxidação tende a deteriorar quanto mais degradado for o QAV-5 utilizado na mistura. Os resultados apresentados indicam que QAV-5 armazenado por até 32 meses à temperatura ambiente (20 °C) pode ser utilizado em misturas com ODM num teor de até 85% em volume, uma vez que tais misturas permanecem dentro dos limites de especificação do ODM. Entretanto, a fim de garantir o teor máximo do querosene de aviação que pode ser adicionado ao óleo diesel marítimo sem comprometer a lubricidade da mistura, recomenda-se medir a lubricidade das misturas pelo método mecânico *High-Frequency Reciprocating Rig* (HFRR).

Palavras-chave: querosene de aviação; QAV-5; óleo diesel marítimo; ODM; oxidação acelerada; degradação; *Jet Fuel Thermal Oxidation Test*; goma atual.

ABSTRACT

High flash point, special jet fuel for Brazilian Navy (QAV-5) is the fuel stored aboard Brazilian military ships to replenish aircrafts. After long storage periods, especially when in contact with cupronickel alloy in the ships' pipes, this fuel can degrade and fail to meet specification, so that it is rendered unsuitable for aircraft refueling. This work investigates the feasibility of reusing degraded QAV-5 by blending it with Brazilian marine gasoil (ODM), for utilization in diesel engines for ship propulsion. The study consists of accelerated oxidation of QAV-5 in contact with cupronickel alloy, in an oven at 50 °C for 16 weeks, followed by preparation of blends with ODM at 25%, 50% and 75% by volume, and analysis of the fuels and their blends according to ODM specification. Monthly assessments of QAV-5 degradation state, carried out by Jet Fuel Thermal Oxidation Test (JFTOT) and existent gum test, indicate that QAV-5 degraded and failed to comply with the jet fuel specification after 16 weeks of accelerated oxidation. Evaluations of QAV-5 and its blends with ODM indicate that adding QAV-5 to the blend leads to reduction in ASTM color, cetane index, sulfur content, viscosity, pour point, specific gravity and lubricity values of the blends. ASTM color and viscosity of blends tend to increase as the aging of QAV-5 progresses. Oxidation stability tends to deteriorate the more degraded the QAV-5 added to the blend is. The results herein presented indicate that QAV-5 stored for up to 32 months at room temperature (20 °C) can be used in blends with ODM at a content of up to 85% by volume, since such blends meet ODM specification limits. Nevertheless, in order to guarantee the maximum content of jet fuel that can be added to marine gasoil without compromising the mixture's lubricity, it is recommended to conduct lubricity measurements using the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR) mechanical method.

Keywords: jet fuel; QAV-5; marine gasoil; ODM; accelerated oxidation; degradation; Jet Fuel Thermal Oxidation Test; existent gum.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

COPPECOMB - Centro de Pesquisas e Caracterização de Petróleo e Combustíveis

CP – Corpo de prova

CuNi – Cuproníquel

DepCMRJ - Depósito de Combustíveis da Marinha no Rio de Janeiro

DFM - *Diesel Fuel Marine*

DM – Diferença de massa

DMA - Óleo Diesel Marítimo A

EAS - *Electrophilic aromatic substitutions*

FLHT - *Fuel Lubricity Haze Test*

FRX - Fluorescência de raios X

HFRR - *High-Frequency Reciprocating Rig*

ICP-AES - *Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy*

ISO - *International Organization for Standardization*

JFTOT – *Jet Fuel Thermal Oxidation Test*

LABCOM - Laboratório de Combustíveis e Derivados de Petróleo da Escola de Química da UFRJ

LCS - *Littoral combat ship*

LII - Límpido e isento de impurezas

MDA - *Metal deactivator additive*

MEV - Microscopia eletrônica de varredura

MGO – *Marine Gasoil*

MSEP - *Micro-Separometer*

NSFO - *Navy Special Fuel Oil*

OCMT - Óleo Combustível Marítimo para Turbinas

ODM – Óleo diesel marítimo

OTAN - Organização do Tratado do Atlântico Norte

QAV – Querosene de aviação

QAV-5 – Querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil

QCM - *Quartz Crystal Microbalance*

RSSOT - *Rapid Small Scale Oxidation Test*

SMORS - *Soluble Macromolecular Oxidatively Reactive Species*

SPK - *Synthetic Paraffinic Kerosene*

STANAG - *Standardization Agreement*

WSIM - *Water Separometer Index Modified*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites permissíveis ao ODM em serviço (adaptado de DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021)	25
Tabela 2 – Limites permissíveis ao QAV-5 em serviço (adaptado de DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021)	28
Tabela 3 – Periodicidade dos ensaios de acompanhamento da qualidade do QAV-5 em serviço (adaptado de DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021)	30
Tabela 4 – Características da batelada de QAV-5 armazenada no DepCMRJ, previamente à coleta de amostra.	58
Tabela 5 – Teores de ODM ⁽¹⁾ e QAV-5 ⁽²⁾ em cada uma das amostras.....	64
Tabela 6 – Composição elementar de corpos de prova (CP) de CuNi 90/10.....	70
Tabela 7 – Resultados da análise gravimétrica dos corpos de prova de CuNi nos diferentes momentos de coleta de amostra, com taxas de corrosão calculadas para cada CP .	73
Tabela 8 – Resultados da análise elementar, por ICP-AES, das amostras de QAV-5 original e dos frascos 1 (F1), 6 (F6), 19 (F19) e 22 (F22).	75
Tabela 9 – Resultados dos ensaios de JFTOT e goma atual para as amostras QAV-5 em t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄	80
Tabela 10 – Resultados das análises das amostras P1, P2, P3, P4 e P5, em t ₀ , quanto às características requeridas para o ODM.	82
Tabela 11 – Resultados das análises das amostras P2, P3, P4 e P5, em t ₁ , quanto às características requeridas para o ODM.	83
Tabela 12 – Resultados das análises das amostras P2, P3, P4 e P5, em t ₂ , quanto às características requeridas para o ODM.	83
Tabela 13 – Resultados das análises das amostras P2, P3, P4 e P5, em t ₃ , quanto às características requeridas para o ODM.	84
Tabela 14 – Resultados das análises das amostras P2, P3, P4 e P5, em t ₄ , quanto às características requeridas para o ODM.	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mecanismo de reação proposto para a formação de SMORS (BEAVER et al., 2005).....	44
Figura 2 – Composto tetradentado de cobre quelado por N, N' disalicilideno-1,2 propanodiamina (adaptado de MORRIS et al., 1998).....	55
Figura 3 – Fluxograma das atividades desenvolvidas para avaliar a influência da adição de QAV-5, em diversos estados de degradação, em ODM.....	57
Figura 4 – Segmento de tubo de CuNi 90/10.	59
Figura 5 – Aspecto dos corpos de prova de CuNi antes (A) e após (B) tratamento de superfície.	59
Figura 6 – Arranjo dos frascos de QAV-5 com corpos de prova de CuNi e mecanismo antiexplosivo para escapamento de gás.....	60
Figura 7 – Arranjo dos 35 frascos de QAV-5 na estufa.	61
Figura 8 – Aspecto das amostras em t ₁ , armazenadas na estufa, com detalhe à direita para o frasco 8 (F8).	66
Figura 9 – Aspecto das amostras em t ₂ , armazenadas na estufa, (prateleiras superior, do meio e inferior, nesta ordem).	67
Figura 10 – Aspecto das amostras em t ₃ , armazenadas na estufa, (prateleiras do meio e inferior).....	68
Figura 11 – Amostras dos frascos 16 (F16) ao 22 (F22) utilizadas para o preparo do QAV-5 t ₃	68
Figura 12 – Aspecto das amostras, armazenadas na estufa, em t ₄ (prateleiras do meio e inferior).....	69
Figura 13 – Amostras dos frascos 25 (F25), 27 (F27), 28 (F28) e dos frascos 30 (F30) a 34 (F34) utilizadas para o preparo do QAV-5 t ₄	69
Figura 14 – Curva de decapagem do corpo de prova 1 (CP 1), em t ₁	71
Figura 15 – Curva de decapagem do corpo de prova 15 (CP 15), em t ₂	71
Figura 16 – Curva de decapagem do corpo de prova 39 (CP 39), em t ₃	72
Figura 17 – Curva de decapagem do corpo de prova 49 (CP 49), em t ₄	72
Figura 18 – Taxa de corrosão para cada corpo de prova (CP) de CuNi, nos diferentes momentos de coleta de amostra (t ₁ - 4 semanas, t ₂ - 8 semanas, t ₃ - 12 semanas e t ₄ -16 semanas).	74

Figura 19 – Imagens de MEV para o CP 2 (à esquerda) e CP 12 (à direita), com lentes de aumento de 4 (A), 8 (B) e 20 (C) vezes.....	77
Figura 20 – Imagens de MEV para o CP 38 (à esquerda) e CP 44 (à direita), com lentes de aumento de 4 (A), 8 (B) e 20 (C) vezes.....	78
Figura 21 – Amostras P2 t ₁ , P3 t ₁ , P4 t ₁ e P5 t ₁ , da esquerda para a direita, com visível gradiente de cor entre a mistura com maior teor de ODM (P2) e o QAV-5 puro (P5).....	86
Figura 22 – Cor ASTM de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa.	86
Figura 23 – Índice de cetano de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa.....	87
Figura 24 – Teor de enxofre de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa.....	88
Figura 25 – Lubricidade de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa.	89
Figura 26 – Ponto de fluidez de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa.....	90
Figura 27 – Viscosidade de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa.	91
Figura 28 – Massa específica de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa.....	92
Figura 29 – Estabilidade à oxidação de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa.....	93
Figura 30 - Estabilidade à oxidação de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t ₀ , t ₁ , t ₂ , t ₃ e t ₄) de retirada de amostras da estufa, com remoção dos pontos P3 t ₀ e P4 t ₁	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	AS ESPECIFICAÇÕES DE ÓLEO DIESEL COM APLICAÇÕES MILITARES.....	21
3.1.1	O Óleo Diesel Marítimo (ODM) e o <i>Marine Gasoil</i> (MGO)	21
3.1.2	O NATO F-76.....	21
3.2	AS ESPECIFICAÇÕES DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO COM APLICAÇÕES MILITARES.....	22
3.2.1	O QAV-5 e o JP-5.....	22
3.2.2	O JP-8	24
3.3	O ACOMPANHAMENTO DA QUALIDADE DO ODM E DO QAV-5 NA MARINHA DO BRASIL	24
3.3.1	O acompanhamento da qualidade do ODM.....	25
3.3.1.1	A lubricidade.....	26
3.3.2	O acompanhamento da qualidade do QAV-5.....	28
3.3.3	Ensaio crítico para o QAV-5: O <i>Jet Fuel Thermal Oxidation Test</i> (JFTOT) e o teste de goma atual	30
3.4	AS PRINCIPAIS DIFERENÇAS TÉCNICAS ENTRE O JP-5 E O NATO F-76.....	32
3.5	O USO DE QUEROSENE DE AVIAÇÃO EM MOTORES A DIESEL.....	35
3.5.1	Os usos emergenciais do JP-5.....	35
3.5.2	As aeronaves e veículos e equipamentos em terra: <i>Single Fuel Policy</i> (Política de Combustível Único).....	36

3.5.3	As aplicações marítimas	37
3.5.4	Os estudos, as normas e as recomendações de fabricantes.....	38
3.6	A DEGRADAÇÃO DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO.....	40
3.6.1	O mecanismo	41
3.6.1.1	A auto-oxidação.....	41
3.6.1.2	A formação de precursores de depósitos	43
3.6.1.3	A formação de depósitos.....	45
3.6.1.3.1	A presença de compostos heteroatômicos	45
3.6.2	A oxidação forçada	46
3.6.2.1	Os métodos	46
3.6.2.1.1	O teste rápido de oxidação em pequena escala (RSSOT).....	47
3.6.2.1.2	O método de avaliação da estabilidade ao armazenamento por sobreprensão de oxigênio	47
3.6.2.1.3	O método do resíduo potencial	48
3.6.2.1.4	O teste para estabilidade de armazenamento de destilado médio a 43°C.....	49
3.6.2.1.5	O teste de estabilidade oxidativa de destilados médios (método acelerado).....	49
3.6.2.1.6	O teste de estabilidade oxidativa térmica de combustíveis de turbina de aviação.....	50
3.6.2.1.7	A microbalança de cristal de quartzo (QCM).....	51
3.6.2.2	A correlação entre envelhecimento acelerado e em condições ambiente.....	51
3.6.3	A influência do cobre.....	52
4	MATERIAIS E MÉTODOS	56
4.1	A DEGRADAÇÃO DO QAV-5.....	57
4.1.1	O QAV-5.....	57
4.1.2	Os corpos de prova de cuproníquel (CuNi)	59

4.1.3	O armazenamento de QAV-5 em estufa.....	60
4.2	A AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DOS CORPOS DE PROVA DE CUPRONÍQUEL	61
4.2.1	A análise gravimétrica	62
4.2.2	A espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES).....	63
4.2.3	A microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	63
4.3	A AVALIAÇÃO DO ESTADO DE DEGRADAÇÃO DO QAV-5.....	63
4.4	A AVALIAÇÃO DO QAV-5, DO ODM E DE SUAS MISTURAS	64
4.4.1	<i>Fuel Lubricity Haze Test</i> (FLHT).....	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
5.1	O ASPECTO DO QAV-5 EM CADA COLETA DE AMOSTRAS.....	66
5.2	A CORROSÃO DOS CORPOS DE PROVA	70
5.2.1	Análise gravimétrica	71
5.2.2	Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES).....	75
5.2.3	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	77
5.3	O ESTADO DE DEGRADAÇÃO DO QAV-5	80
5.4	A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE QAV-5 NO ODM.....	81
6	CONCLUSÕES	95
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	97
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
	ANEXO A – CERTIFICADOS DE ENSAIO DA CHRONION ANÁLISES QUÍMICAS E COMÉRCIO LTDA.....	106
	ANEXO B – CERTIFICADOS DE ENSAIO DO DEPCMRJ	111
	ANEXO C - CERTIFICADOS DE ENSAIO DO COPPECOMB	130

1 INTRODUÇÃO

O querosene de aviação e o óleo diesel são combustíveis destilados médios de petróleo que se destacam como frações de grande relevância comercial, utilizados em aplicações diversas. O óleo diesel, combustível mais comercializado no Brasil, é principalmente utilizado em aplicações de altas cargas, em caminhões e máquinas agrícolas, bem como em aplicações não rodoviárias - marítimas, industriais, ferroviárias, dentre outras (ANP, 2020a, 2022c). O querosene de aviação (QAV), por sua vez, possui cadeia carbônica menor e constitui uma fração de menor volume obtida da destilação de petróleo em relação ao óleo diesel, porém com alto valor de mercado, e é utilizada na propulsão de aviões e helicópteros movidos por motores a turbina (ANP, 2020b, 2022d).

Ambos os combustíveis citados são largamente utilizados na propulsão de navios, veículos e aeronaves militares, desde que atendam a requisitos específicos de cada aplicação. No caso dos combustíveis utilizados pela Marinha do Brasil em aplicações marítimas, um requisito de elevada significância é o ponto de fulgor, parâmetro que se traduz como a mais baixa temperatura na qual uma amostra de combustível, ao ser aquecida, desprende vapores de forma a criar uma mistura inflamável com o ar e provocar um “flash”, quando uma fonte de ignição se aproxima de sua superfície, sob condições específicas de ensaio laboratorial (ASTM, 2020a). O significado prático desse parâmetro é que, se o combustível estiver acondicionado em temperatura superior ao ponto de fulgor, a atmosfera exposta ao combustível é considerada inflamável e poderá ocorrer a ignição da mistura de combustível e ar, caso exista uma fonte de ignição (centelha ou chama). Por questão de segurança em ambientes confinados, é internacionalmente convencionado que o ponto de fulgor de combustíveis armazenados a bordo de navios deve ser de, no mínimo, 60 °C (IMO, 1974).

A Marinha do Brasil utiliza o Óleo Diesel Marítimo (ODM), produzido pela Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) e regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em diversos de seus navios, tanto na propulsão como em motores auxiliares, para geração de energia a bordo. Este combustível não é exclusivo para uso militar e é amplamente comercializado para uso aquaviário. Há duas principais diferenças entre o diesel marítimo e o diesel automotivo: a) o requisito de número de cetano é menor para o diesel marítimo, uma vez que sua aplicação em motores maiores e mais lentos leva a uma menor exigência na qualidade de combustão, e b) o requisito de ponto de fulgor é mais rigoroso para o diesel marítimo, o qual deve ser no mínimo 60 °C, em atendimento à convenção internacional,

ao passo que o ponto de fulgor mínimo para o diesel rodoviário é de 38 °C (ANP, 2013, 2022a; PETRÓLEO BRASILEIRO S.A., 2021).

Para a propulsão de aeronaves, o principal combustível utilizado pela Marinha do Brasil é o querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil (QAV-5). O QAV-5 é regulamentado pela Resolução nº 895/2022 da ANP (ANP, 2022b) e produzido pela Petrobras exclusivamente para a Marinha. A especificação do QAV-5 requer ponto de fulgor mínimo de 60 °C, ao passo que os querosenes de aviação usados na aviação civil (Jet A e Jet A-1) requerem ponto de fulgor mínimo de 38 °C (ANP, 2021, 2022b). O alto ponto de fulgor do QAV-5 permite que este combustível seja armazenado nos navios da Marinha, para abastecimento, no mar, de aeronaves em missões e demais atividades operativas. Vale ressaltar que a Marinha também opera com Jet A-1, porém este combustível é apenas armazenado em terra e utilizado para abastecimento direto das aeronaves.

Entretanto, caso o QAV-5 permaneça armazenado nos navios por um período prolongado, o processo de oxidação do combustível pode causar alterações em alguns de seus parâmetros e levá-lo a sair de especificação. Quando a propriedade alterada não é recuperável, isto é, não pode voltar aos limites de especificação por meio de procedimentos de filtragem, drenagem etc., o QAV-5 é declarado inservível para uso em aeronaves. Exemplos de parâmetros que não são recuperáveis e podem acarretar a inadequação do QAV-5 para uso em aeronaves são: o teste de goma atual, que avalia a quantidade de resíduos de evaporação (goma) de um combustível de aviação; e o *Jet Fuel Thermal Oxidation Test* (JFTOT), o qual mede a tendência de um combustível de aviação a gerar depósitos de decomposição e, portanto, é um indicativo da estabilidade térmica do combustível (ASTM, 2020b, 2022a).

Uma alternativa vislumbrada para o aproveitamento do QAV-5 que não pode mais ser utilizado em aeronaves é misturá-lo com o ODM, para posterior queima nos motores dos navios da Marinha. Entretanto, uma vez que o QAV-5 se encontra em estado degradado e possui características distintas do ODM, tal mistura deve ser analisada de forma a se identificar se de fato é adequada para uso nos motores marítimos, bem como os teores de QAV-5 que podem ser adicionados ao ODM de forma a manter a mistura dentro da especificação do diesel marítimo. Ressalta-se a ausência, na literatura, de estudos prévios acerca do uso de querosene de aviação degradado em motores a diesel marítimos, de forma que se trata de estudo inédito neste aspecto.

Nas próximas seções são apresentados os seguintes tópicos:

- Capítulo 2: o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho;
- Capítulo 3: a revisão bibliográfica, a qual aborda histórico e estudos de misturas de querosene de aviação em óleo diesel, bem como do processo de degradação do querosene;
- Capítulo 4: a metodologia utilizada para o presente estudo;
- Capítulo 5: os resultados obtidos com os experimentos deste trabalho e respectivas discussões;
- Capítulo 6: as conclusões obtidas com o estudo;
- Capítulo 7: as sugestões para estudos futuros; e
- Capítulo 8: as referências bibliográficas usadas no presente estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a possibilidade de utilizar o querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil (QAV-5) inservível para aeronaves em misturas com óleo diesel marítimo (ODM), para queima em motores a diesel dos navios da Marinha do Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos deste trabalho, tem-se:

- Avaliar possíveis impactos da inserção do querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil (QAV-5), em óleo diesel marítimo (ODM), tendo em vista as diferenças entre as propriedades do querosene e do diesel marítimo;

- Acompanhar o processo de degradação do QAV-5, mediante processo de oxidação acelerada; e

- Identificar o teor máximo de QAV-5 degradado que pode ser adicionado ao ODM, para cada estado de degradação do querosene, de forma a manter a mistura dentro da especificação estabelecida para o óleo diesel marítimo.

Para tanto, será realizado um estudo em quatro etapas: a) acompanhamento da degradação acelerada do QAV-5 em laboratório, de forma a simular o processo de oxidação que ocorre durante o armazenamento do querosene nos navios; b) avaliação da corrosão de corpos de prova de cuproníquel (CuNi) em contato com o QAV-5 ao longo da sua degradação acelerada; c) avaliação do estado de degradação do QAV-5; e d) adição de QAV-5 em diversos estados de degradação ao ODM, em proporções diversas, com realização de ensaios de caracterização do ODM nos combustíveis e suas misturas e análise dos resultados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AS ESPECIFICAÇÕES DE ÓLEO DIESEL COM APLICAÇÕES MILITARES

Há diversas especificações de óleo diesel para uso militar, cujos requisitos diferem entre si de acordo com a exigência e sensibilidade do equipamento que operará com o combustível. Dentre elas, serão apresentadas a seguir as mais relevantes a este trabalho.

3.1.1 O Óleo Diesel Marítimo (ODM) e o *Marine Gasoil* (MGO)

O ODM, apesar de não ter aplicação exclusivamente militar, é um dos combustíveis mais utilizados pela Marinha do Brasil para a propulsão de seus navios. Este combustível deve atender aos requisitos do Óleo Diesel Marítimo A (DMA) constantes da Tabela I do Anexo à Resolução nº 903/2022 da ANP (ANP, 2022a). Tal regulamentação constitui uma implementação, no Brasil, da especificação ISO-F-DMA contida na norma internacional ISO 8217:2017 da *International Organization for Standardization* (ISO), tendo em vista a conveniência de se manter a uniformidade dos padrões de qualidade dos combustíveis nacionais em relação aos utilizados internacionalmente (ANP, 2022a; ISO, 2017).

O *Marine Gasoil* (MGO) é o óleo diesel marítimo comercial disponibilizado ao redor do mundo. Apesar de se tratar de denominação genérica de diesel marítimo, é amplamente utilizada para designar o combustível que atende à especificação ISO-F-DMA (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021; PETRÓLEO BRASILEIRO S.A., 2021). Desta forma, ODM e MGO são denominações de combustíveis similares, que seguem a especificação ISO-F-DMA da ISO 8217. A distinção fundamental entre eles é que o ODM é o diesel marítimo disponibilizado no Brasil e o MGO é o seu correspondente comercializado internacionalmente.

3.1.2 O NATO F-76

O NATO F-76 é o combustível destilado de especificação internacional destinado ao uso em caldeiras, turbinas a gás e motores a diesel a bordo de navios. Este combustível é regulamentado pelo *Standardization Agreement* (STANAG) 1385, documento de padronização fruto do acordo entre países membros da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) para implementar padrões para os combustíveis F-75 e F-76, no intuito de atender a um requisito de interoperabilidade (NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION, 2020).

O STANAG 1385 apresenta os requisitos mínimos de qualidade para os combustíveis mencionados e é implementado nos países-membros por meio de normas internas. Nos Estados

Unidos, a especificação do NATO F-76 foi internalizada pela norma MIL-DTL-16884 (UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2014), a qual será utilizada neste trabalho como referência para a avaliação das características do NATO F-76.

O NATO F-76 é similar ao MGO, porém tem especificação mais rigorosa que este. Alguns parâmetros são requeridos com limites mais rígidos para o NATO F-76 do que para o MGO, como índice de cetano, lubricidade e número de acidez. Outros parâmetros são exigidos para o NATO F-76, porém não o são para o MGO, tais como demulsibilidade e teores de metais sódio + potássio, vanádio e chumbo. Tais características fazem com que o NATO F-76 seja um combustível superior ao MGO, uma vez que tende a gerar queima de melhor qualidade e ocasionar menos corrosão e desgaste no sistema e menor formação de lama nos tanques. Assim, o NATO F-76 é adequado, não apenas para o uso em motores a diesel, mas também em equipamentos com componentes mais sensíveis, como turbinas a gás. Em virtude de sua especificação mais rigorosa e de sua maior estabilidade comparado ao MGO, o NATO F-76 é o principal combustível utilizado na propulsão de navios militares nos Estados Unidos; o MGO é utilizado como substituto em caso de indisponibilidade do NATO F-76 (JIMENEZ; WALTERS; LESSNER, 2020; SERMARINI, 2000; UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2014).

3.2 AS ESPECIFICAÇÕES DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO COM APLICAÇÕES MILITARES

Da mesma forma que com os combustíveis utilizados na propulsão naval, há diversos tipos de querosene de aviação com características específicas para cada aplicação. Dentre eles, serão mencionados os pertinentes a este trabalho.

3.2.1 O QAV-5 e o JP-5

O querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil (QAV-5) é o derivado de petróleo produzido exclusivamente para a Marinha, para ser armazenado nos seus navios e utilizado para abastecimento de suas aeronaves. Sua principal diferença em relação ao querosene de aviação comercial é seu alto ponto de fulgor (mínimo de 60 °C), requisito para que possa ser armazenado em navios com segurança. Este combustível atende à Resolução nº 895 de 18 de novembro de 2022, da ANP, cuja especificação teve por base a norma internacional MIL-T-5624L. A Petrobras figura como único produtor de QAV-5

e fabrica aproximadamente uma batelada por ano deste combustível para venda à Marinha do Brasil.

O JP-5 é a denominação do querosene de aviação de alto ponto de fulgor utilizado internacionalmente, que atende aos requisitos mínimos de qualidade do combustível NATO F-44, previstos no acordo de padronização STANAG 3747 (NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION, 2017). Nos Estados Unidos, a especificação do NATO F-44 foi implementada pela norma MIL-DTL-5624, cuja versão atual é a W (UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2016). Assim, os combustíveis QAV-5 e JP-5 são similares, pois o QAV-5 possui especificação baseada numa versão mais antiga da mesma norma que atualmente rege o JP-5. Como principais diferenças entre eles, podem ser citadas:

- Aditivação: via de regra, o JP-5 é aditivado com antioxidante, inibidor de corrosão/melhorador de lubricidade e anticongelante, e não deve ser aditivado com desativador de metais ou dissipador de carga estática. O QAV-5, por sua vez, é aditivado com antioxidantes e desativador de metais e, salvo exceções, não contém os demais aditivos;

- Possibilidade de inclusão de produtos de novas tecnologias na formulação do JP-5, em virtude da atualização da MIL-DTL-5624, não acompanhada pelo regulamento técnico nacional que rege o QAV-5: querosene parafínico sintetizado (SPK) e iso-parafinas sintetizadas derivadas de açúcares fermentados hidroprocessados podem fazer parte da formulação do JP-5 em até 50% e 10% em volume, respectivamente; e

- Pequenas diferenças nos métodos de ensaios e nos limites de alguns parâmetros, como por exemplo: a especificação do JP-5 limita viscosidade e teores de enxofre mercaptídico e de enxofre total a valores levemente menores em relação ao QAV-5; o ensaio de produto ponto de anilina x densidade API, exigido para o QAV-5, é substituído pelo calor líquido de combustão para o JP-5; os ensaios de índice de cetano calculado e teor de hidrogênio exigidos para o JP-5 não o são para o QAV-5; já o ensaio de teor de cobre exigido para o QAV-5 não o é para o JP-5 (ANP, 2022b; UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2016).

No entanto, embora QAV-5 e JP-5 não tenham requisitos idênticos, a maior parte das exigências de especificação são iguais para ambos e eles possuem a mesma aplicação. Desta forma, QAV-5 é o combustível nacional correspondente ao JP-5 comercializado internacionalmente (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

Na revisão da literatura, serão apresentados histórico, pareceres e relatórios técnicos acerca do JP-5, pois seu amplo emprego internacional em aeronaves possibilita maior produção de conteúdo de pesquisa acerca deste combustível. Em função da similaridade entre o JP-5 e o QAV-5, entretanto, pode-se considerar que as conclusões e considerações de tais estudos são também aplicáveis ao QAV-5.

3.2.2 O JP-8

Assim como o JP-5, o JP-8 é um querosene de aviação regulamentado pelo STANAG 3747, porém sob código NATO F-34. Apesar de ser um combustível de uso militar, o JP-8 tem as mesmas características do Jet A-1, querosene de aviação comercial mais comumente utilizado ao redor do mundo, diferindo apenas nos aditivos incluídos: o JP-8 contém aditivo dissipador de estática, inibidor de corrosão/melhorador de lubricidade e anticongelante (JIMENEZ; WALTERS; LESSNER, 2020; SERMARINI, 2000; UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2015).

Sua principal diferença em relação ao JP-5 é o ponto de fulgor: ao passo que o JP-5 requer ponto de fulgor mínimo de 60 °C, o JP-8 requer ponto de fulgor mínimo de 38 °C. Desta forma, o JP-8 não é armazenado a bordo de navios, por não satisfazer os requisitos de segurança contra incêndios. Entretanto, o JP-8 é amplamente utilizado para abastecimento de aeronaves militares através de tanques localizados em terra (SERMARINI, 2000; UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2015, 2016). Além disso, apesar de ser um querosene de aviação, o JP-8 é também utilizado atualmente como combustível para motores a diesel de veículos e equipamentos terrestres militares de nações da OTAN, no intuito de se reduzir a diversificação dos combustíveis militares usados no campo de batalha (JIMENEZ; WALTERS; LESSNER, 2020; SERMARINI, 2000).

3.3 O ACOMPANHAMENTO DA QUALIDADE DO ODM E DO QAV-5 NA MARINHA DO BRASIL

O ODM e o QAV-5 são essenciais ao funcionamento da esquadra e das aeronaves da Marinha, porém, como derivados de petróleo, estão suscetíveis a processos de oxidação que os degradam, bem como a contaminações ao longo de seu armazenamento. Desta forma, os combustíveis em serviço devem ser analisados com frequência, a fim de atestar se suas características se mantêm adequadas às aplicações destinadas. Os ensaios realizados para acompanhamento da qualidade destes combustíveis, bem como a frequência de cada um deles,

são estabelecidos em norma interna da Marinha denominada ENGENALMARINST n° 05-10 (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

3.3.1 O acompanhamento da qualidade do ODM

O acompanhamento da qualidade do ODM deve ser realizado a cada três meses, segundo os ensaios e limites constantes na Tabela 1.

Tabela 1 – Limites permissíveis ao ODM em serviço (adaptado de DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

Características	Limites	Método de análise
Aspecto	(1)	Visual
Cor ASTM, máx.	3	NBR 14483 ASTM D1500
Cinzas, % massa, máx.	0,010	NBR 9842 ASTM D482
Índice de cetano, mín.	40	NBR 14759 ASTM D4737
Resíduo de Carbono no resíduo dos 10% finais de destilação, % massa, máx. ⁽²⁾	0,30	NBR 15586 ASTM D524 / D4530
Enxofre, % massa, máx.	0,5	NBR 14533 ASTM D4294 / D2622 / D5453
Estabilidade à oxidação, mg/100mL, máx. ⁽³⁾⁽⁴⁾	2,5	ASTM D2274 / D5304
Viscosidade a 40 °C, mm ² /s (cSt)	2,0 – 6,0	NBR 10441 ASTM D445
Ponto de fluidez, °C, máx. ⁽⁵⁾ :		
Inverno	-6	NBR 11349 ASTM D97
Verão	0	
Lubricidade, µm, máx. ⁽⁶⁾	520	ASTM D6079 ISO 12156-1
Número de acidez, mgKOH/g, máx. ⁽⁷⁾	0,5	NBR 14448 ASTM D664
Ponto de fulgor, °C, mín.	60	NBR 14598 ASTM D93
Massa específica a 20 °C, kg/m ³ , máx.	876,8	NBR 7148 / 14065 ASTM D1298 / D4052

(1) O produto deve ser límpido e isento de impurezas.

(2) O resultado obtido pelo método ASTM D524 deve ser convertido para resíduo de carbono Conradson.

(3) É permitida a comercialização do ODM, em caráter temporário, utilizando o método de ensaio alternativo ASTM D5304 – *Standard Test Method for Assessing Middle Distillate Fuel Storage Stability by Oxygen Overpressure*. A Petrobras deverá encaminhar, posteriormente, os resultados da estabilidade à oxidação ao distribuidor, realizado pelo método ASTM D2274 - *Standard Test Method for Oxidation Stability of Distillate Fuel (Accelerated Method)* em até 20 dias após a comercialização do produto.

(4) Para os métodos de ensaio de estabilidade à oxidação ASTM D2274 ou ASTM D5304, expressar o resultado em mg/100 mL; para o ensaio ISO 12205 - expressar o resultado em g/m³. No Certificado de Ensaio, o resultado expresso em mg/100 mL deverá ser convertido, e informado também, em nota de produto, em g/m³, em conformidade com o que é definido na Resolução ANP n° 903/2022 e na ISO 8217:2010.

(5) A produção de um determinado tipo, inverno ou verão, não está associada a nenhuma estação ou época do ano vigente no ato da compra do produto, e sim às suas características intrínsecas, atendendo à demanda local por um determinado tipo e/ou sendo produzido de acordo com as características mais adequadas para um determinado perfil de refino.

(6) A determinação desta característica é requerida quando a amostra for límpida e o enxofre total for inferior a 0,05% em massa.

(7) Para produto obtido de petróleo de natureza naftênica, aplica-se o disposto na norma ISO 8217 relativo à característica número de acidez. ODM com número de acidez acima do limite especificado, produzido a partir de petróleo naftênico, pode ser objeto de negociação entre vendedor e comprador.

Os ensaios de teor de água em óleo, densidade e viscosidade do diesel marítimo também podem ser avaliados por kit portátil a bordo dos navios, sem prejuízo às análises laboratoriais, as quais devem ser cumpridas trimestralmente (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

3.3.1.1 A lubricidade

A lubricidade é um termo que denota a capacidade de um fluido de reduzir o atrito e o desgaste de superfícies em movimento relativo sob carga. Esta propriedade é relevante para o óleo diesel, pois o bom funcionamento de alguns equipamentos do sistema de injeção depende das propriedades lubrificantes do combustível. A baixa lubricidade do óleo diesel pode causar redução da vida útil de componentes críticos do motor, como bombas e injetores de óleo diesel (ASTM, 2022b).

De acordo com os requisitos da Marinha do Brasil, o acompanhamento da lubricidade do ODM deve ser realizado por meio das normas ASTM D6079 ou ISO 12156-1, conforme Tabela 1. Ambas as normas descrevem o método de teste que utiliza um equipamento de lubricidade de alta frequência, conhecido como *High-Frequency Reciprocating Rig* (HFRR). Trata-se de um método mecânico de medição da lubricidade, no qual duas superfícies metálicas, um disco e uma esfera, são friccionadas enquanto banhadas no combustível que se deseja testar, mediante condições especificadas de temperatura, umidade relativa e frequência de contato. Ao final do teste, mede-se a ranhura resultante na esfera metálica, a qual é utilizada como indicativo da lubricidade do combustível (ASTM, 2022b).

Entretanto, métodos mecânicos de medição de lubricidade como HFRR são altamente custosos, imprecisos e de difíceis execução e correlação com as condições de campo. Desta forma, um método alternativo de monitoramento da lubricidade foi desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa Naval da Marinha dos Estados Unidos, denominado *Fuel Lubricity Haze Test* (FLHT). Trata-se de um teste de fácil execução e baixo custo, que utiliza insumos simples e equipamentos portáteis para medição da lubricidade de um combustível por meio de método químico e ótico (HARDY, 2009).

O FLHT consiste na extração dos materiais tensoativos do combustível, por meio da adição de uma solução de NaOH à amostra, com conseqüente formação de emulsão. A turbidez da emulsão é medida em um turbidímetro portátil e o registro da leitura, em unidades nefelométricas de turbidez (NTU), é utilizado como indicativo da lubricidade do combustível: combustíveis de maior lubricidade terão mais surfactantes e, portanto, maior emulsão formada e valores de turbidez mais altos (HARDY, 2009).

O procedimento final desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa Naval especifica a execução de agitação mecânica do combustível com a solução de extração para formar a emulsão, seguida de um tempo de decantação predefinido e, por fim, medição da turbidez da amostra. No entanto, é relatada também a possibilidade de realizar o teste com agitação manual, por meio de pequenas alterações nos tempos de agitação e de decantação da amostra. O método de agitação manual, apesar de propiciar maiores erros associados ao operador, apresenta maior precisão e valores de turbidez mais altos, uma vez que a formação de emulsão é mais severa nesta técnica (HARDY, 2009).

O FLHT pode ser utilizado não apenas para comparar as lubricidades de diferentes combustíveis, como também para definir se um combustível possui lubricidade adequada para a sua aplicação, por meio de um critério passa/falha. Utilizando como base o limite de lubricidade de 520 μm (máximo) no HFRR, conforme especificado para o ODM (Tabela 1), o limite correspondente do FLHT, considerando um tempo de agitação manual de 1 minuto seguido de decantação de 10 minutos, seria em torno de 20 a 30 NTU (mínimo) (HARDY, 2009).

Apesar de não figurar como um dos testes de lubricidade aceitos pela Marinha do Brasil, o FLHT apresenta boa correlação com o método padrão HFRR, além de ter como vantagens a simplicidade, o baixo custo e a possibilidade de execução nos navios (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021; HARDY, 2009). Ademais, o FLHT possui precisão superior

ao HFRR, de forma que é capaz de distinguir não apenas combustíveis com lubricidade muito boa ou muito ruim, mas também aqueles na faixa intermediária de lubricidade com mais precisão que o HFRR. Por fim, embora tenha sido desenvolvido para óleos diesel, ele também pode ser utilizado na avaliação de combustíveis de aviação para aplicações em sistemas a diesel, uma vez que os surfactantes que conferem lubricidade ao óleo diesel são de mesmo grupo químico que aqueles que conferem lubricidade ao querosene de aviação (HARDY, 2009).

3.3.2 O acompanhamento da qualidade do QAV-5

Para o QAV-5 armazenado a bordo de navios, a periodicidade das análises de acompanhamento de qualidade se divide conforme o tempo decorrido desde a produção da batelada:

- O QAV-5 com data de fabricação da batelada inferior a um ano deve ser analisado a cada noventa (90) dias, de acordo com os valores limites estabelecidos na Tabela 2. Os testes de goma atual e de JFTOT, no entanto, devem ser realizados apenas a cada cento e oitenta (180) dias, e não há necessidade de realização dos ensaios cor Saybolt e MSEP (*Micro-Separometer*) ou WSIM (*Water Separometer Index Modified*); e

- O QAV-5 com data de fabricação da batelada igual ou superior a um ano deve ser recertificado para uso imediato, de acordo com a totalidade dos ensaios contidos na Tabela 2. As recertificações posteriores devem ser efetuadas também pela totalidade dos ensaios da Tabela 2, com periodicidade bimestral para sistemas de combustível que tenham redes de cuproníquel e periodicidade trimestral para sistemas com redes de aço inox ou aço carbono pintado internamente com tinta epóxi (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

Tabela 2 – Limites permissíveis ao QAV-5 em serviço (adaptado de DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

Características	Limites	Método de análise
Goma atual, mg/100ml, máx.	7	NBR 14525 ASTM D381
Corrosividade ao cobre (2h/100 °C), máx.	1b	NBR 14359 ASTM D130
Aparência	Claro e límpido ⁽¹⁾	Visual
Destilação: ponto final, °C, máx.	290	NBR 9619 ASTM D86
Sólidos totais, mg/l, máx.:		ASTM D2276

Combustível em tanque que não abastece aeronave	8	
Combustível em tanque que abastece aeronave	1 ⁽²⁾	
Densidade a 15°C, kg/l	0,785 - 0,848	NBR 7148 ASTM D1298/D4052
Ponto de fulgor, °C, mín.	60	NBR 7974 ASTM D56/D3828
Ponto de congelamento, °C, máx.	-47	NBR 7975 ASTM D2386
Estabilidade à oxidação térmica (JFTOT):		
Queda de pressão, mmHg, máx.	25	
Depósito no tubo:		ASTM D3241
Combustível em tanque que não abastece aeronave	<1 ⁽³⁾	
Combustível em tanque que abastece aeronave	< 3 ⁽³⁾	
Água livre	Ausência	⁽⁴⁾
Cor Saybolt ⁽⁵⁾	Anotar	ASTM D156
MSEP ou WSIM, sem dissipador de carga estática, mín ⁽⁵⁾⁽⁶⁾	85 ⁽⁶⁾	ASTM D3948

⁽¹⁾ O querosene pode variar de cor incolor à palha e deve ser claro, brilhante, livre de matéria sólida e de água dissolvida.

⁽²⁾ O ensaio deve ser realizado em amostra coletada no bico de abastecimento ou após o sistema de filtração.

⁽³⁾ As letras P e A, quando reportadas após a classificação numérica do Padrão de Cor para Classificação de Depósito no Tubo, indicam a presença das cores “pavão” (multicolorida) e anormal (cor diferente do padrão de cores do ensaio de JFTOT ou do “pavão”), respectivamente. O resultado que apresenta apenas as letras P e/ou A, sem classificação numérica, indica a ausência de coloração correspondente ao padrão de cores do ensaio de JFTOT.

⁽⁴⁾ O método visual deve ser o utilizado, ao se tratar de combustível armazenado em tanques que não abasteçam aeronaves; para combustível armazenado em tanques que abasteçam aeronaves, o teste deve ser realizado pelos kits "Velcon Hydrokit" ou "Shell Water Detector Kit". Entende-se por combustível armazenado em tanques que não abasteçam aeronaves, aquele armazenado em meios de transporte que não forneçam diretamente o combustível às aeronaves.

⁽⁵⁾ Os ensaios devem ser realizados após ultrapassados doze meses da data de fabricação do querosene aeronaval armazenado em tanques fixos de terra e a bordo de navios, por ocasião das suas recertificações.

⁽⁶⁾ Para combustíveis que não possuem aditivo dissipador de carga estática. Para aqueles que o possuem, a solicitação do ensaio deve ser WSIM (*Water-Separometer*) ou MSEP (*Water Separometer Index Modified*) com dissipador de carga estática. Os limites permissíveis para o resultado deste teste são diferentes para o querosene que possui e para aquele que não tem o aditivo dissipador de carga estática. Cabe ressaltar que o QAV-5 produzido pela Petrobras, para a Marinha do Brasil, não possui este aditivo.

As periodicidades de cada ensaio de acompanhamento de qualidade do QAV-5 são listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Periodicidade dos ensaios de acompanhamento da qualidade do QAV-5 em serviço (adaptado de DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

Ensaio	QAV-5 fabricado há menos de 12 meses		QAV-5 fabricado há mais de 12 meses
	A cada 90 dias	A cada 180 dias	A cada 2 ou 3 meses ⁽¹⁾
Goma atual		X	X
Corrosividade ao cobre	X		X
Aparência	X		X
Destilação	X		X
Sólidos totais	X		X
Densidade	X		X
Ponto de fulgor	X		X
Ponto de congelamento	X		X
Estabilidade à oxidação térmica (JFTOT)		X	X
Água livre	X		X
MSEP ou WSIM ⁽²⁾			X
Cor Saybolt			X

(1) Para sistemas de combustível com redes de cuproníquel, o intervalo deve ser de 2 meses; para sistemas com redes de aço inox ou de aço carbono pintado internamente com tinta epóxi, o intervalo deve ser de 3 meses.

(2) MSEP se refere a *Micro-Separometer*; WSIM se refere a *Water Separometer Index Modified*.

3.3.3 Ensaios críticos para o QAV-5: O *Jet Fuel Thermal Oxidation Test* (JFTOT) e o teste de goma atual

Dentre os ensaios de acompanhamento de qualidade de QAV-5 listados na Tabela 2, algumas propriedades podem ser recuperadas ainda que tenham saído de especificação ao longo do armazenamento do querosene: caso a concentração de partículas sólidas esteja acima do limite requerido, por exemplo, o combustível pode ser recirculado por meio de filtros para remoção do excesso de sólidos; ou ainda se o teor de água livre estiver acima do limite de especificação, o QAV-5 pode ser recirculado através de coalescedores, a fim de que as moléculas de água presentes em excesso no querosene sejam aglomeradas e removidas.

Outros ensaios podem ainda apresentar resultados fora dos limites requeridos na Tabela 2, mas ainda assim não serem proibitivos para o uso do QAV-5 em aeronaves: caso o ponto de fulgor fique abaixo do limite mínimo de 60 °C, o querosene apenas não pode mais ser armazenado em navios por questões de segurança mas, a depender do ponto de fulgor obtido, pode ser armazenado em tanques de terra para abastecimento direto das aeronaves – tendo em vista que o Jet A-1 possui ponto de fulgor mínimo de 38 °C e é um querosene de aviação amplamente utilizado no mundo. Outro exemplo é o ponto de congelamento, o qual pode resultar numa temperatura acima da máxima exigida de -47 °C e, a depender do seu valor, ainda assim se permitir a utilização do QAV-5 em aeronaves, apenas restringindo-se sua altitude de voo.

Dois parâmetros que, caso saiam de especificação, não são reversíveis e tornam proibitivo o uso do QAV-5 para abastecimento de aeronaves são o *Jet Fuel Thermal Oxidation Test* (JFTOT) e o teste de goma atual.

O JFTOT consiste em um teste de estabilidade térmica no qual se busca verificar se o desempenho do querosene é aceitável nas mais extremas condições térmicas de sua aplicação: além do papel de combustível, o querosene de aviação também atua como um refrigerante para diversos sistemas das aeronaves, absorvendo calor proveniente dos sistemas hidráulico, de lubrificação e elétrico. Assim, as altas temperaturas a que está exposto geram estresse térmico no combustível (HAZLETT, 1991). Pelo JFTOT, obtém-se uma medida da tendência do combustível a formar depósitos de decomposição no sistema durante sua operação. Neste ensaio, o querosene de aviação flui por meio de uma superfície metálica aquecida, de forma a simular condições semelhantes às da turbina na qual será utilizado. O combustível segue, então, para um filtro, no qual os produtos de degradação são retidos. Ao final do teste, são reportadas a máxima queda de pressão no filtro e a classificação da cor do depósito no tubo de aquecimento, em relação a padrões de cor pré-estabelecidos (ASTM, 2020b). Resultados de JFTOT fora dos limites de especificação representam um desempenho inaceitável do querosene de aviação nas condições térmicas da turbina, de forma que combustíveis que não passem neste teste não podem ser utilizados em aeronaves.

A goma é uma mistura de compostos de elevada massa molecular ricos em oxigênio, em concentrações superiores às originalmente presentes no combustível – embora não haja uma definição exata das moléculas que constituem a goma. Devido a tais características, sua solubilidade no combustível é limitada; quando excedido o limite de solubilidade, estes compostos precipitam e podem se aderir às paredes do sistema. Acredita-se que as gomas

contribuam para a formação de verniz ou laca nos pontos quentes do sistema, tais como superfícies do trocador de calor e orifícios do atomizador de combustível em motores de turbina a gás (MAYO; LAN, 1986; NAEGELI, 1997). O teste de goma atual mede o resíduo da evaporação do combustível de aviação e consiste na submissão de uma amostra de querosene a aquecimento, sob condições controladas de temperatura, fluxo de vapor e duração. Ao final do ensaio, a massa de resíduo restante após a evaporação é reportada como goma atual (ABNT, 2012). Em virtude de sua relevância para evitar falhas no sistema de combustível, resultados de goma fora dos limites de especificação inviabilizam o uso do querosene para abastecimento de aeronaves.

3.4 AS PRINCIPAIS DIFERENÇAS TÉCNICAS ENTRE O JP-5 E O NATO F-76

Em virtude da especificidade de aplicação do QAV-5, com uso restrito à Marinha do Brasil, não há estudos prévios acerca das diferenças técnicas entre este querosene e óleo diesel marítimo. Entretanto, há diversas pesquisas sobre as distinções técnicas entre seu equivalente internacional, o JP-5, e o NATO F-76. Uma vez que o QAV-5 tem especificação muito similar à do JP-5, pode-se depreender que os resultados dos estudos com JP-5 também são aplicáveis ao QAV-5. Adicionalmente, o diesel utilizado para comparação, na literatura, é o F-76 e não o ODM, visto que diversos países utilizam preferencialmente o primeiro para a propulsão naval militar. No entanto, vale ressaltar que estes dois combustíveis guardam semelhanças gerais, sendo o F-76 o de especificação mais rigorosa. Desta forma, muito do que é aplicável ao F-76 também o é para o ODM. Assim, na prática, a comparação entre as propriedades do QAV-5 e do ODM podem ser depreendidas das comparações entre o JP-5 e o F-76.

As características que mais ressaltam na comparação entre JP-5 e F-76 são lubricidade, poder calorífico, viscosidade e índice de cetano. Embora o JP-5 seja, em geral, um combustível mais sofisticado que o F-76, ele fica aquém do F-76 nestes quesitos.

Os combustíveis derivados de querosene, como o JP-5, fornecem menos lubricidade do que o F-76. Isto pode afetar negativamente os motores a diesel, pois seus componentes são fabricados com tolerâncias de espaçamento menos restritivas do que os motores de turbina das aeronaves, portanto, suas peças móveis internas são mais propensas ao contato superficial. Desta forma, o uso contínuo de um combustível de menor lubricidade, tal como JP-5, poderia gerar desgaste acelerado em alguns componentes, como bombas de transferência, bombas de alta pressão e injetores lubrificadas com combustível (SERMARINI, 2000; TOSH; MOULTON; MOSES, 1992).

O JP-5 possui poder calorífico 2,6% inferior, em média, em relação ao F-76. Esta diferença pode ocasionar perda de potência e/ou maior consumo de combustível quando os motores a diesel operam com JP-5. Na maioria dos motores, podem ser realizados ajustes nos controles de combustível para se recuperar a máxima potência, mas ainda assim será necessário um volume maior de combustível na queima, com conseqüente aumento de consumo e redução de autonomia. Entretanto, a fonte mais preocupante de redução de potência é a baixa viscosidade do querosene (TOSH; MOULTON; MOSES, 1992).

A menor viscosidade dos querosenes de aviação, em relação ao F-76, pode resultar em vazamento interno das regiões de alta pressão das bombas de combustível e bicos injetores dos motores projetados para operar com combustíveis diesel. Este vazamento, por sua vez, acarreta perda de potência. Acredita-se que, em sistemas que tiveram perda de potência relevante após mudança para uso de JP-8 com a *Single Fuel Policy* (ver item 3.5.2, página 36), os vazamentos podem ter sido uma fonte mais significativa de perda de potência do que o menor poder calorífico do querosene em relação ao F-76. Da mesma forma, o uso de JP-5 em motores a diesel de alta velocidade também resulta em perdas de potência, que podem chegar a até 6%; o fator que mais contribui para essa perda é o aumento de vazamentos nos injetores causado pela menor viscosidade do JP-5. Além disso, há relatos de problemas de partida a quente em motores a diesel da General Motors e bombas rotativas de injeção de combustível operando com JP-5, devido à sua baixa viscosidade (SERMARINI, 2000; TOSH; MOULTON; MOSES, 1992).

O índice de cetano, por sua vez, não é uma propriedade que possui limite mínimo, por especificação, para o JP-5. No entanto, em pesquisas realizadas na década de 1980, os índices de cetano foram calculados para 10 amostras de JP-5 e identificou-se que 60% delas apresentavam valores inferiores ao mínimo requerido para o F-76. Contudo, há que se ressaltar que o índice de cetano mínimo requerido para o F-76 é 43, ao passo que para o ODM é 40. Assim, muitas das amostras de JP-5 com índice de cetano abaixo do requerido para o F-76 ainda atenderiam ao requisito do ODM: considerando o valor mínimo de 40, apenas 20% das 10 amostras permaneceriam aquém do limite de especificação. Como efeito de um índice de cetano mais baixo, tem-se um atraso de ignição mais longo, o que resulta em pressões de pico mais altas quando a combustão ocorre, que por sua vez pode acarretar problemas de durabilidade nos motores. Outros efeitos observados são redução na aceleração e na potência de motores quando utilizam querosene de aviação, especialmente à aceleração máxima e em motores com pressões de injeção mais altas (ANP, 2022a; TOSH; MOULTON; MOSES, 1992; UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2014).

Por outro lado, o JP-5 possui algumas propriedades indubitavelmente superiores ao F-76, principalmente relacionadas à estabilidade, separação da água e fluidez a baixas temperaturas.

O querosene de aviação tem maior estabilidade térmica e oxidativa do que o óleo diesel, portanto a formação de subprodutos de degradação do armazenamento a longo prazo é reduzida naquele combustível. Assim, o uso de JP-5 em motores poderia reduzir problemas de armazenamento a longo prazo, comumente observados em Forças Armadas. A menor geração de produtos de degradação evitaria problemas com depósitos e incrustações nos bicos injetores e poderia ampliar os intervalos de substituições de filtros (SERMARINI, 2000). Vale a ressalva, no entanto, de que o querosene de aviação que se pretende utilizar no presente estudo é um combustível em processo de envelhecimento, que já apresenta degradação inicial de suas propriedades.

O JP-5 também possui melhores qualidades de separação de água que o óleo diesel. Os limites rígidos de tolerância à água na interface e de índice de separação de água do querosene de aviação representam baixo teor de componentes miscíveis em água e baixa presença de surfactantes no combustível. Desta forma, o JP-5 tende a reter menos água do que o óleo diesel. Assim, reduz-se a tendência à corrosão no sistema, bem como os consequentes depósitos e incrustações. A menor emulsificação também reduz a tendência à contaminação microbológica nos tanques, uma vez que os microrganismos necessitam de água para se estabelecerem e proliferarem na interface entre água e óleo. A ausência de contaminação microbológica, por sua vez, também favorece a redução das substituições de filtros (SERMARINI, 2000).

Por fim, um dos benefícios mais notáveis do JP-5 é sua capacidade de operar a temperaturas mais baixas que o óleo diesel. A menor cadeia carbônica e as propriedades superiores de fluxo a frio do JP-5, aliadas à sua menor viscosidade, em relação ao F-76, fazem com que este querosene possua melhores características de atomização que melhoram a partida a frio do motor diesel. Desta forma, o JP-5 pode ser utilizado em temperaturas mais baixas que o F-76, sem apresentar os inconvenientes de cristalização por vezes observados em combustíveis do ciclo diesel (GIANNINI et al., 2002; SHI et al., 2019).

Em resumo, como desvantagens do uso de JP-5 em motores a diesel, em comparação ao F-76, podem ser citados: 1) maior desgaste em componentes internos do sistema de combustível, com potencial necessidade de paradas para manutenção; 2) redução de potência e

aceleração; 3) aumento de consumo e redução de autonomia; 4) aumento de vazamentos em bombas de combustível e bicos injetores; e 5) problemas de partida a quente em alguns motores.

Em contrapartida, como potenciais benefícios técnicos do JP-5, podem ser elencados: 1) menor formação de depósitos e incrustações nos bicos injetores; 2) menor corrosão no sistema de combustível; 3) menor contaminação microbiológica; 4) maior intervalo entre substituições de filtros; e 5) melhor partida a frio e redução de cristalização de combustível a baixas temperaturas.

3.5 O USO DE QUEROSENE DE AVIAÇÃO EM MOTORES A DIESEL

3.5.1 Os usos emergenciais do JP-5

O uso de querosene de aviação em motores a diesel é uma prática estudada e aplicada há décadas. Em meados dos anos 1970, surgiu a demanda, por parte de órgãos militares, de se considerar o JP-5 como combustível alternativo para motores de ignição por compressão. Nos EUA, foram conduzidos estudos e testes de curto prazo e, em 1978, o Exército norte-americano aprovou o uso de JP-5 como combustível alternativo ao óleo diesel utilizado à época, o VV-F-800 (BOWDEN; OWENS; LEPERA, 1985).

Nos anos seguintes, há relatos de usos emergenciais de QAV em motores a diesel em ocasiões diversas. Um deles foi do inverno europeu de 1981/1982, quando grande parte da frota das Forças Armadas norte-americanas na Europa ficou inoperante por causa do congelamento do diesel causado pelas baixas temperaturas. À época, este problema foi contornado pela adição de JP-5 ao óleo diesel, a fim de reduzir os pontos de névoa e de fluidez do combustível. A prática de misturar óleo diesel e QAV logrou êxito na melhoria das propriedades a frio do combustível e, portanto, foi adotada nos invernos subsequentes. A mistura 50% óleo diesel: 50% QAV (JP-5, JP-8 ou Jet A-1) passou a ser reconhecida pela OTAN sob código F-65 e foi denominada “M-1 Fuel Mix” (BOWDEN; WESTBROOK; LEPERA, 1989).

Outro período de uso emergencial de JP-5 foi de 1980 a 1983, quando todos os equipamentos do Exército norte-americano na área do Panamá operaram exclusivamente com este combustível alternativo, porque o óleo diesel normalmente utilizado (VV-F-800) não estava disponível na região. Apesar das distinções técnicas entre os combustíveis, não houve problemas relatados pela Força Armada, portanto, também se tratou de um caso de êxito no uso de JP-5 em motores a diesel (BOWDEN; OWENS; LEPERA, 1985).

3.5.2 As aeronaves e veículos e equipamentos em terra: *Single Fuel Policy* (Política de Combustível Único)

No final da década de 1980, as nações da OTAN decidiram avançar para o uso de um único combustível para todos os veículos, aeronaves e equipamentos militares terrestres empregados em campo de batalha. Esta ideia se desenvolveu e se tornou uma política oficial da OTAN, denominada “*Single Fuel Policy*” (Política de Combustível Único). Tal unificação beneficiaria as nações, não apenas com ganhos logísticos significativos em tempos de guerra, mas também com a simplificação e o melhor aproveitamento do sistema de dutos da OTAN em tempos de paz (KORRES et al., 2008; NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION, 1997).

Além das vantagens logísticas, a unificação dos combustíveis teve motivações técnicas para a substituição daqueles até então utilizados. À época, as nações da OTAN, exceto França e Reino Unido, utilizavam o querosene de aviação JP-4 (atualmente em desuso) em suas aeronaves militares. No caso dos motores a diesel, a maioria das nações da OTAN utilizava o combustível militar DF-2, de código NATO F-54. No entanto, ambos os combustíveis apresentavam inconvenientes: o JP-4, que tem baixo ponto de fulgor, era muito volátil e inseguro para uso contínuo em aeronaves; o DF-2, por sua vez, cristalizava a baixas temperaturas, culminando no entupimento de linhas de combustível e falhas no motor, como já ocorrido em um tanque de guerra no inverno europeu de 1981/1982 (GARRETT, 1993; NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION, 1997).

Desta forma, em 1986 foram iniciados estudos a fim de substituir o JP-4 e o DF-2 por um único combustível que atendesse às duas finalidades. Após uma série de testes e demonstrações, confirmou-se a adequabilidade do JP-8 como substituto do JP-4 e do DF-2 em aeronaves e motores de ignição por compressão, respectivamente. A partir de 1988, as nações da OTAN passaram a adotar o JP-8 como o combustível único para aeronaves militares e aplicações terrestres, substituindo ambos JP-4 e DF-2. Neste contexto, o JP-5 foi aceito como alternativo ao JP-8 para fins emergenciais (GARRETT, 1993; KORRES et al., 2008; NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION, 1997).

Apesar da unificação do uso de JP-8 em equipamentos terrestres e aéreos, este querosene não podia ser utilizado em aplicações marítimas, pois seu baixo ponto de fulgor não permitia seu armazenamento a bordo de navios. Portanto, o JP-5 continuou sendo o querosene de aviação armazenado em navios militares (JIMENEZ; WALTERS; LESSNER, 2020).

3.5.3 As aplicações marítimas

A redução da diversificação de combustíveis também foi observada nas aplicações marítimas. No final da década de 1960, a Marinha dos EUA utilizava três combustíveis a bordo de navios não nucleares: o *Navy Special Fuel Oil* (NSFO), de código NATO F-77, era um combustível naval residual preto usado para gerar vapor em caldeiras; o *Diesel Fuel Marine* (DFM) era o combustível padrão para os motores diesel; e o JP-5 era armazenado a bordo, para abastecimento de aeronaves baseadas em navios porta-aviões. Então, iniciou-se nesta época uma busca pela unificação dos combustíveis armazenados a bordo dos navios (LYNN et al., 1985; TOSH; MOULTON; MOSES, 1992).

Evidentemente, o combustível único deveria atender aos requisitos do sistema mais exigente, que no caso em questão era o da aeronave. Assim, a primeira opção de escolha para o “combustível único no mar”, pelo viés técnico, seria um querosene de aviação. No entanto, dois grandes entraves prontamente inviabilizaram esta alternativa: o custo do JP-5 era muito elevado, cerca de duas vezes maior que o NSFO; e a produção de JP-5 era reduzida, de forma que se temia que os volumes disponibilizados não fossem suficientes para atender ao aumento de demanda. Assim, o JP-5 foi mantido como combustível armazenado em navios para abastecimento de aeronaves e buscou-se unificar apenas os combustíveis utilizados em motores de ignição por compressão, turbinas a gás e caldeiras. Como fruto destes estudos, desenvolveu-se uma especificação para um combustível único de propulsão naval, que eventualmente resultou no NATO F-76 (LYNN et al., 1985; TOSH; MOULTON; MOSES, 1992).

O F-76 é até hoje utilizado como principal combustível para propulsão de navios militares em diversas nações da OTAN como EUA e Reino Unido, bem como em alguns países fora da Organização, como Austrália (COLTHORPE, 2018; NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION, 1997; UNITED KINGDOM MINISTRY OF DEFENCE, 2020). Vale mencionar que, na Marinha do Brasil, os navios movidos a turbina a gás operam com um combustível similar ao F-76, denominado Óleo Combustível Marítimo para Turbinas (OCMT). Entretanto, conforme anteriormente mencionado, o combustível utilizado nos navios militares brasileiros que operam exclusivamente com motores a diesel é o ODM, que possui menor custo e maior disponibilidade (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

O F-76, no entanto, não era adequado para abastecimento de aeronaves militares. Alguns dos problemas potenciais em utilizar F-76 em aeronaves decorriam de: seu alto ponto de névoa e ausência de aditivo anticongelante, que poderiam prejudicar seu uso a baixas temperaturas;

sua estabilidade térmica geralmente inferior à do JP-5, o que poderia ocasionar maior formação de depósitos quando submetido às altas temperaturas observadas nos sistemas das aeronaves; e seu teor de hidrogênio normalmente inferior ao do JP-5, o que possivelmente acarretaria maior formação de fuligem e fumaça (TOSH; MOULTON; MOSES, 1992).

Assim, até os dias atuais, não há unificação dos combustíveis utilizados a bordo de navios militares que abastecem aeronaves. Nos EUA, por exemplo, são utilizados o F-76 para propulsão naval e o JP-5 para propulsão de aeronaves, via de regra. No Brasil, utiliza-se o ODM para navios com propulsão a diesel ou o OCTM para navios com turbinas a gás, e QAV-5 para abastecimento de aeronaves (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021; JIMENEZ; WALTERS; LESSNER, 2020).

3.5.4 Os estudos, as normas e as recomendações de fabricantes

Desde a aprovação do JP-5 como combustível substituto para motores a diesel no final da década de 1970, houve um aprofundamento nos estudos e no acompanhamento do uso de querosenes de aviação nestes equipamentos, uma vez que acarretava preocupações aos órgãos operativos quanto aos possíveis efeitos causados aos motores (BOWDEN; OWENS; LEPERA, 1985).

Em 1985, o Laboratório de Pesquisas de Lubrificantes e Combustíveis do Exército dos Estados Unidos divulgou um relatório com 23 referências de estudos e casos, ao longo de 20 anos, em que JP-5 e JP-8 foram utilizados em motores a diesel. Nesta coletânea, são apresentados testes de 240 a 500 horas nos quais não foram identificados desgastes ou danos incomuns aos motores. Observou-se, no entanto, que os motores apresentavam redução de até 6% na potência gerada quando utilizando os querosenes de aviação, em comparação ao diesel DF-2, o que pode ser atribuído ao menor poder calorífico e à mais baixa viscosidade dos QAVs. Os autores concluem que, apesar desta pequena perda de potência, tanto o JP-5 quanto o JP-8 são adequados para uso em motores de compressão por ignição (BOWDEN; OWENS; LEPERA, 1985).

Em 1992, um novo estudo avalia os benefícios e prejuízos que poderiam ser observados em caso de uso do JP-5 como único combustível a bordo de navios militares. Neste relatório, são comparadas as diferenças técnicas entre o JP-5 e o F-76 e são apresentados os potenciais problemas de usar o QAV na propulsão naval de forma contínua, os quais estão relacionados aos menores poder calorífico, número de cetano e lubrificidade do querosene. Numa análise ampla, os autores ressaltam que os benefícios de utilizar o JP-5 como combustível único seriam

logísticos, porém questionam se haveria benefícios operacionais e financeiros. Pelo viés técnico, no entanto, os autores concluem que o uso do JP-5 na propulsão naval não seria prejudicial à prontidão operativa da esquadra (TOSH; MOULTON; MOSES, 1992).

Outros relatórios abordam ainda o consumo de combustível. Durante a introdução do JP-8 na OTAN, esperava-se um aumento na demanda de combustível em mais de 4%, uma vez que a menor densidade de energia do JP-8 causaria maior consumo em relação ao óleo diesel. No entanto, é relatado que, na prática, não foi observado aumento no consumo de combustível após a substituição do óleo diesel por JP-8. Vale ressaltar que a densidade de energia do JP-8 era ainda menor que do JP-5, portanto, uma eventual substituição do óleo diesel por JP-5 também não deveria acarretar aumento de consumo (SERMARINI, 2000).

Em 2007, novos estudos de impacto demonstraram que os efeitos negativos do uso de JP-5 em motores a diesel eram mínimos. No entanto, recomendaram testes estendidos e acompanhamento do uso de JP-5 em motores de fabricação mais recente e em Navios de Combate Litoral (LCS) (JIMENEZ; WALTERS; LESSNER, 2020).

Por fim, alguns fabricantes de motores a diesel aprovam o uso de querosene de aviação em seus equipamentos utilizados em meio militar. Dois exemplos observados no passado foram: a aprovação de uso do JP-5 em geradores movidos por motor a diesel pela *Mobile Electric Power*; e a aprovação do JP-5 nas classes de navios LCS 1 e LCS 3 por meio da carta do detentor da garantia técnica que relatava que o risco e a frequência de acidentes permaneceriam baixos (BOWDEN; OWENS; LEPERA, 1985; JIMENEZ; WALTERS; LESSNER, 2020). Atualmente, o uso de JP-5 em motores a diesel ainda não é amplamente aceito pelos fabricantes destes equipamentos, porém alguns permitem o uso deste QAV com restrições em algumas classes de motores. Um exemplo é o fabricante MTU, que permite o uso emergencial de JP-5 em algumas classes por até 12 horas, além de informar a possibilidade de aprovação deste querosene para outras classes selecionadas, mediante solicitação do cliente (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH, 2021).

Os relatos acima abordam o uso, nos motores a diesel, de QAV dentro da especificação. Todavia, o objetivo deste estudo é misturar QAV-5 envelhecido com diesel marítimo, portanto, o querosene que se deseja utilizar já possui alguma(s) propriedade(s) muito próxima(s) ou fora dos limites de especificação. Tal situação é prevista, em norma, para as Forças Armadas do Reino Unido: no destanqueio de aeronaves, caso o QAV esteja inadequado para retorno aos tanques de querosene do navio, este combustível pode ser misturado ao F-76 para que o *blend*

resultante seja transferido aos tanques de F-76 do navio por meio de um edutor. A proporção de mistura, neste caso, deve ser de 10 partes de F-76 para 1 parte do QAV. Depreende-se de tal normativa que, ao menos nesta proporção de 10:1, não são esperados problemas significativos no uso de misturas de diesel com QAV. Entretanto, a norma não elenca quais propriedades e limites que, apesar de tornarem o QAV inadequado ao uso em aeronaves, ainda possibilitam seu uso na propulsão naval (UNITED KINGDOM MINISTRY OF DEFENCE, 2020).

Não foram identificados estudos dos impactos do uso de QAV fora de especificação em motores a diesel. Tampouco foram encontrados relatórios, manuais ou cartas de aprovação de fabricantes de motores acerca do uso deste combustível já degradado ou de sua mistura com diesel, para combustão em motores de ignição por compressão, de forma que o estudo apresentado neste trabalho é inédito. Assim, a fim de elucidar as principais características afetadas pelo envelhecimento do querosene, o item a seguir apresenta o processo de degradação do QAV, os fatores de maior influência e as consequências da sua oxidação.

3.6 A DEGRADAÇÃO DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO

A degradação do querosene de aviação pode ser classificada em três regimes de temperatura, nos quais ocorre por meio de mecanismos distintos: a) até aproximadamente 260 °C, ocorre auto-oxidação; b) entre 290 e 480 °C, ocorre a decomposição dos produtos oxigenados; e c) a partir de 480 °C, aproximadamente, ocorre pirólise do querosene.

Como as temperaturas de armazenamento e, em geral, de operação do querosene de aviação são inferiores a 300 °C, o regime de auto-oxidação controla a degradação deste combustível nas condições práticas. As reações de auto-oxidação levam a alterações das propriedades do querosene e, conseqüentemente, do seu desempenho (HAZLETT, 1991; SONG et al., 1993). Um indício visual da oxidação do QAV-5 é a alteração da cor de incolor para amarelo. No entanto, vale ressaltar que a alteração de cor, por si só, não implica inadequação do produto nem necessidade de sua retirada de operação, de forma que outras propriedades do QAV devem ser avaliadas a fim de constatar sua degradação (DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021).

A estabilidade do querosene é definida como sua resistência a alterações químicas e pode ser classificada como: a) *estabilidade de armazenamento*, a qual é associada à degradação que ocorre à temperatura ambiente, com conseqüente formação de hidroperóxidos, goma e sedimentos insolúveis; e b) *estabilidade térmica*, associada às alterações que ocorrem a

temperaturas elevadas, tais como as observadas no sistema de combustível de aeronaves, com consequente formação de materiais insolúveis que podem se depositar nas superfícies e/ou entupir filtros. No caso particular em que tais reações envolvem também oxidação (presença de oxigênio dissolvido no combustível), a estabilidade é denominada *estabilidade térmica oxidativa* (HAZLETT, 1991).

Observa-se, entretanto, que há uma relação entre a estabilidade de armazenamento e a estabilidade térmica oxidativa. Verifica-se que o envelhecimento sofrido por um combustível durante seu armazenamento pode afetar seu desempenho termo-oxidativo (isto é, sob estresse térmico): estudos apontam que um querosene de aviação de estabilidade térmica oxidativa mediana, adicionado de cobre, gera uma quantidade significativamente maior de depósitos termo-oxidativos caso tenha sido previamente submetido a envelhecimento acelerado (PANDE; HARDY, 1995). Resultados similares são encontrados em testes de campo, com armazenamento prolongado de querosene de aviação, à temperatura ambiente. Estes resultados indicam que os precursores dos depósitos termo-oxidativos são formados durante o armazenamento do combustível (PANDE; HARDY, 1997). Ademais, sinalizam o risco de se utilizar em aeronaves, cujos sistemas operam a altas temperaturas, querosene de aviação que foi armazenado por período prolongado.

Alguns autores sugerem que os mecanismos de formação dos depósitos de armazenamento e dos termo-oxidativos seguem uma mesma química fundamental: auto-oxidação do combustível, seguida de reações de acoplamento que geram os precursores de depósitos e, por fim, novas reações de acoplamento que culminam na precipitação dos depósitos (BEAVER et al., 2005).

3.6.1 O mecanismo

3.6.1.1 A auto-oxidação

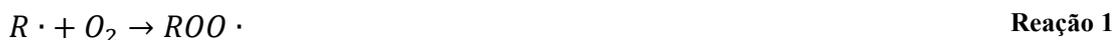
A auto-oxidação do querosene resulta de reações complexas entre hidrocarbonetos, oxigênio dissolvido e moléculas que contêm heteroátomos, presentes no combustível (COMMODO et al., 2010).

O mecanismo de auto-oxidação do querosene de aviação é profundamente complexo e, embora exaustivamente estudado há décadas, até os dias atuais não é completamente compreendido (AKSOY et al., 2009; AMINANE et al., 2022; BEAVER et al., 2005; HENEGHAN; ZABARNICK, 1994; MAYO; LAN, 1986; NAEGELI, 1997; SOBKOWIAK et

al., 2009). No entanto, há consenso acerca de algumas observações (AMINANE et al., 2022; HAZLETT, 1991; HENEGHAN; ZABARNICK, 1994; ZABARNICK et al., 2019):

- a) a presença de oxigênio é crucial para o início das reações – querosene pode conter até 70 ppm de oxigênio dissolvido;
- b) as reações envolvem radicais livres;
- c) moléculas que contêm heteroátomos têm contribuição fundamental nas reações de auto-oxidação;
- d) o aumento da temperatura acelera o processo oxidativo; e
- e) metais podem ter efeito significativo na formação de depósitos de degradação do combustível.

Um mecanismo comumente aceito propõe que a auto-oxidação se inicia pela reação entre um radical alquila ($R \cdot$), possivelmente formado em virtude do estresse térmico ou de reações catalíticas metálicas, e o oxigênio molecular dissolvido no combustível, gerando um radical peroxila ($ROO \cdot$).



O radical peroxila, por sua vez, reage com os hidrocarbonetos do combustível, gerando hidroperóxidos ($ROOH$) e novos radicais. Os hidroperóxidos são, portanto, os primeiros produtos da oxidação do querosene (AMINANE et al., 2022; HENEGHAN; ZABARNICK, 1994; LI et al., 2008).



Os hidroperóxidos são compostos instáveis que possuem grande influência na degradação do combustível (LI et al., 2008). Eles podem se dissociar em novos radicais e água:



Os radicais resultantes da decomposição dos hidroperóxidos podem produzir álcoois (Reação 5) que, em etapas posteriores, podem ser ainda convertidos a aldeídos e cetonas. Estes compostos são considerados produtos de oxidação secundários (AMINANE et al., 2022).



O ciclo de reações de radicais livres continua até que reações de terminação ocorram, gerando produtos de degradação diversos.



Acredita-se que a formação de goma ocorre nesta etapa de terminação dos radicais livres e decorre principalmente da união de dois radicais peroxila (MAYO; LAN, 1986, 1987):



A goma dimérica pode ainda passar por reações de propagação adicionais, transformando-se em gomas triméricas (RO_2RO_2R) ou de maior cadeia. Quanto maior o processo de propagação antes da terminação, maior será o peso molecular médio da goma gerada (MAYO; LAN, 1987). Assim, as gomas possuem solubilidade limitada em combustível, podendo ser caracterizadas como solúveis ou insolúveis, uma vez que uma porção permanece dissolvida no querosene, ao passo que outra precipita e adere às paredes do recipiente (NAEGELI, 1997).

3.6.1.2 A formação de precursores de depósitos

Além de seguirem para reações de terminação, radicais formados na auto-oxidação do combustível podem ainda participar de reações que levam à geração de compostos denominados *espécies macromoleculares solúveis oxidativamente reativas* (SMORS). A formação destas espécies foi originalmente observada em óleo diesel (HARDY; WECHTER, 1990). No entanto, observa-se que sua produção também se aplica ao processo degradativo de querosene de aviação (AKSOY et al., 2009; BEAVER et al., 2005).

A formação de SMORS se inicia através de reações entre radicais peroxila e produtos de oxidação secundários ou compostos heteroatômicos naturalmente presentes no combustível, tais como os fenólicos, conforme representado na Figura 1.

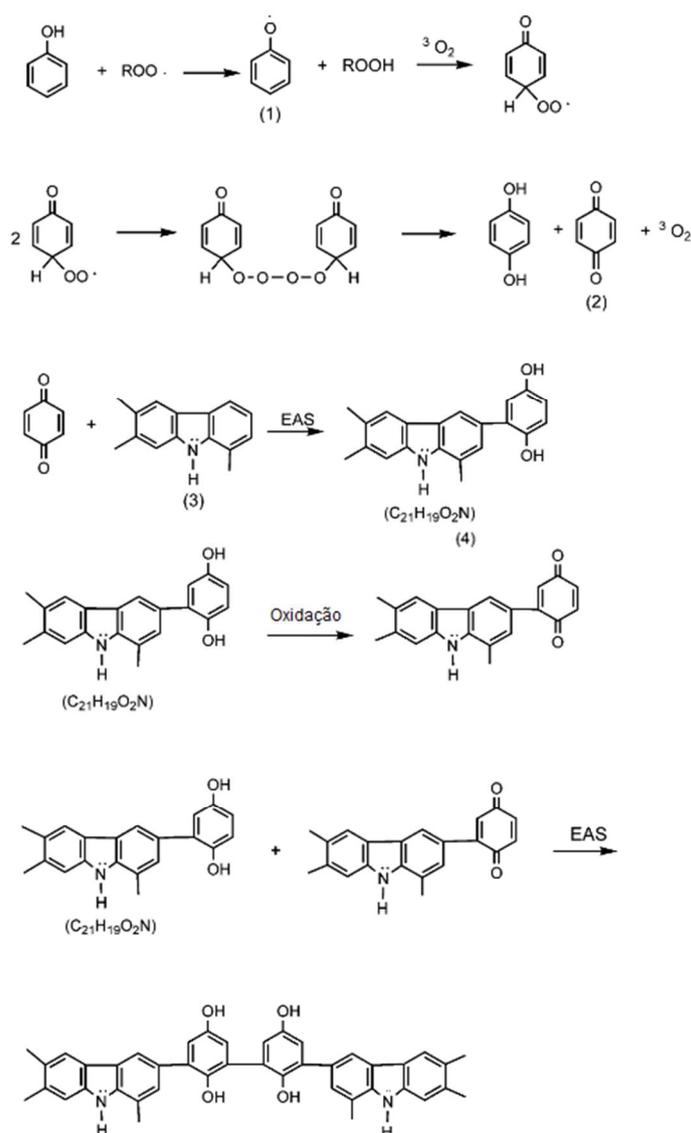


Figura 1 – Mecanismo de reação proposto para a formação de SMORS (BEAVER et al., 2005).

Neste caso, os radicais fenoxila gerados (1) sofrem uma série de reações que os transformam em quinonas (2), as quais são espécies eletrofílicas potentes e atuam como acopladores moleculares. As quinonas reagem com os compostos heteroatômicos ricos em elétrons (3) presentes no combustível, através de substituições aromáticas eletrofílicas (EAS), gerando SMORS de baixo peso molecular (4). O prosseguimento das reações de oxidação e EAS produz, então, compostos cada vez maiores, que podem atingir de 600 a 900 Da. (AKSOY et al., 2009; BEAVER et al., 2005; HARDY; WECHTER, 1994; KABANA, 2012; SOBKOWIAK et al., 2009).

As SMORS formadas no processo são espécies de elevado peso molecular e polaridade, porém ainda solúveis no querosene. Estes compostos são considerados os precursores dos depósitos oxidativos em combustíveis (HARDY; WECHTER, 1990, 1994).

Vale ressaltar que o mecanismo de reação representado na Figura 1 é apenas um dos caminhos propostos para a formação de SMORS, porém mecanismos alternativos são possíveis. Ademais, os compostos mencionados são meramente representativos de espécies químicas gerais; por exemplo, outros radicais como alquila e alcoxila podem reagir com os compostos fenólicos no lugar do radical peroxila, bem como as SMORS podem possuir outra configuração química (AKSOY et al., 2009; KABANA, 2012).

3.6.1.3 A formação de depósitos

A repetição dos ciclos de oxidação e acoplamento molecular previamente mencionados promovem a incorporação de moléculas com heteroátomos a uma estrutura cada vez maior e mais polar, até que os compostos formados precipitam ao atingirem massa molecular superior a 900 Da (AKSOY et al., 2009; HARDY; WECHTER, 1994).

O acúmulo destes depósitos oxidativos em sistemas de combustíveis pode ocasionar diversos problemas operacionais, tais como entupimento dos bicos injetores, diminuição da eficiência dos trocadores de calor, avarias em válvulas e, em última instância, colapsos catastróficos. Já foram reportados problemas com depósitos em motores, os quais causaram instabilidade da velocidade do motor, parada do motor e elevação da temperatura dos gases de escape durante a partida (HAZLETT, 1991; NAEGELI, 1997).

3.6.1.3.1 A presença de compostos heteroatômicos

A maior parte (> 98%) de um combustível é composta por hidrocarbonetos, porém há também componentes minoritários que contêm heteroátomos, tais como enxofre, nitrogênio e oxigênio, bem como traços de contaminantes, como metais (tipicamente < 1 ppm). Apesar de presentes em pequena quantidade, são estes compostos heteroatômicos e os traços de contaminantes que possuem efeito significativo na formação de depósitos oxidativos (HAZLETT, 1991; ZABARNICK et al., 2019).

Dentre os heteroátomos presentes em combustíveis, o enxofre é o de maior teor e pode ser encontrado nas formas de mercaptanos, sulfetos, dissulfetos, tiofenos e benzotiofenos. O nitrogênio pode ser encontrado em indóis, pirróis, anilinas, piridinas, carbazóis, quinolinas e indolinas. A interação entre espécies com enxofre e com nitrogênio é ainda sinérgica no

sentido de reduzir a estabilidade do combustível (ADAMS et al., 2013; HAZLETT, 1991; ZABARNICK et al., 2019).

Dentre os compostos oxigenados, os fenóis são comumente encontrados em querosenes de aviação e atuam como antioxidantes naturais (ADAMS et al., 2013; ZABARNICK et al., 2019). Além disso, fenóis substituídos são ainda adicionados ao querosene de aviação como antioxidantes previstos por especificação (ANP, 2022b; UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2016). Os fenóis têm grande importância no mecanismo de formação de SMORS, conforme ilustrado na Figura 1. Vale ressaltar que até mesmo antioxidantes fenólicos comerciais demonstraram promover a formação de depósitos em querosenes de aviação (BEAVER et al., 2005). Assim, há uma faixa ideal de concentração de aditivos antioxidantes no combustível: abaixo desta faixa, a oxidação não será inibida; acima, os antioxidantes poderão induzir a formação de depósitos (HENEGHAN; ZABARNICK, 1994).

Os compostos aromáticos ricos em elétrons que podem estar presentes em querosene de aviação e participar das reações de EAS, na formação de SMORS, são indóis, carbazóis, pirróis, anisóis e bifenilanisóis, porém não estão limitados a estes (AKSOY et al., 2009).

A quantidade de heteroátomos presentes nos depósitos de oxidação é expressivamente maior que a concentração típica destes no seio do combustível: em relação às suas concentrações originais no querosene de aviação, o teor de oxigênio nos depósitos é cerca de 3000 vezes maior; o de enxofre, cerca de 54 vezes maior; e o aumento de nitrogênio é o mais expressivo, cerca de 10000 vezes (HAZLETT, 1991). Tais resultados confirmam a significativa influência de compostos heteroatômicos no processo de formação de depósitos oxidativos do querosene e são consistentes com a hipótese de que estas espécies atuam como promotoras de depósitos (BEAVER et al., 2005).

Há diversas técnicas de refino para melhorar a estabilidade térmica do querosene. Dentre elas, o processo considerado mais eficaz é o hidrotreatamento, o qual reduz a concentração de compostos que contenham oxigênio, nitrogênio e enxofre, ácidos e traços de metais presentes no combustível (HAZLETT, 1991).

3.6.2 A oxidação forçada

3.6.2.1 Os métodos

A necessidade de se estudar a estabilidade dos combustíveis, bem como os mecanismos de reação da oxidação e os produtos de degradação formados, culminou na elaboração de

diversos métodos padronizados para acelerar sua degradação. De uma forma geral, todos contam com elevação da temperatura, que é o fator decisivo para acelerar as reações de oxidação, combinada com outros fatores que variam de um método para outro – elevação de pressão, borbulhamento de oxigênio etc. Os métodos mais relevantes e aplicáveis a querosene de aviação serão citados a seguir.

3.6.2.1.1 O teste rápido de oxidação em pequena escala (RSSOT)

O RSSOT é um teste aplicado a destilados médios, pelo qual se obtém uma indicação da sua estabilidade ao armazenamento e oxidação. Este teste é padronizado pela ASTM D7545 e realizado em um equipamento comumente conhecido como PetroOxy (ASTM, 2019; SICARD et al., 2013).

O procedimento padrão do RSSOT consiste em submeter uma amostra de combustível a uma pressão de 700 kPa, em um vaso pressurizado com oxigênio puro, e aquecê-la até 140 °C. A partir do aquecimento da amostra, acompanha-se a variação da pressão no vaso, a qual inicialmente aumenta rapidamente em virtude da elevação da temperatura, porém em seguida decai por conta do consumo de oxigênio nas reações de oxidação. O resultado medido é o período de indução, definido como o tempo decorrido até o ponto de ruptura, no qual a pressão no recipiente decai 10% em relação à pressão máxima do teste (ASTM, 2019). A queda de pressão observada até o ponto de ruptura indica o consumo de oxigênio em reações iniciais de oxidação e corresponde à produção de hidroperóxidos e dos primeiros precursores de depósitos (CHATELAIN et al., 2018). A partir do ponto de ruptura, espera-se que se sigam rápidas reações em cadeia. Assim, quanto maior o período de indução, maior é a resistência do combustível à oxidação.

Apesar de inicialmente aplicado ao diesel, o RSSOT também vem sendo utilizado na análise de querosene de aviação em diversos estudos, seja na forma padronizada prevista na ASTM ou em modo adaptado (AMINANE et al., 2022; BEN AMARA; KAOUBI; STARCK, 2016; SICARD et al., 2013).

3.6.2.1.2 O método de avaliação da estabilidade ao armazenamento por sobrepressão de oxigênio

O método padrão da sobrepressão de oxigênio, descrito na ASTM D5304, é útil para classificar amostras de combustíveis destilados médios em relação à sua estabilidade ao armazenamento. O ensaio consiste em pressurizar uma amostra num vaso com oxigênio a 800 kPa, o qual por sua vez é colocado em uma estufa de ar forçado a 90 °C, durante 16 horas.

Diferentemente do método anterior, neste, a pressão é mantida constante ao longo de todo o ensaio. O resultado medido neste método é o teor de insolúveis totais produzidos no combustível ao longo do seu envelhecimento acelerado, obtido pela filtragem da amostra após sua degradação (ASTM, 2020c).

Alternativamente, podem ser adotadas outras temperaturas de aquecimento, o que conseqüentemente acarreta alterações na duração do ensaio. A ASTM D5304 lista possíveis combinações de temperatura e duração de ensaio que simulam uma condição equivalente ao armazenamento do combustível por 40 meses à pressão atmosférica e temperatura ambiente de 20 °C, e podem ser utilizados para fins de pesquisa. Naturalmente, testes realizados a temperaturas mais baixas requerem maior duração para fornecer resultados equivalentes à estocagem de 40 meses à condição ambiente (ASTM, 2020c).

Este método, bem como suas adaptações, é utilizado não apenas na avaliação da estabilidade do QAV, mas também para estudos dos efeitos combinados do envelhecimento deste combustível com outros fatores deletérios, como contaminação por cobre (PANDE; HARDY, 1995, 1997).

3.6.2.1.3 O método do resíduo potencial

O método do resíduo potencial é padronizado pela ASTM D873 e avalia a estabilidade oxidativa de combustíveis de aviação. Neste ensaio, o querosene é oxidado em um vaso de pressão com oxigênio a aproximadamente 700 kPa, o qual é colocado em um banho de oxidação em água ou em mistura de água e etilenoglicol, e aquecido a 100 °C. Não é especificada uma duração para o teste. Após o envelhecimento, são medidos: o precipitado, que são os sedimentos e material em suspensão obtidos da filtragem do combustível envelhecido; a goma solúvel, que são produtos de deterioração solúveis no combustível e correspondem ao resíduo não volátil obtido após sua evaporação; e a goma insolúvel, que é o depósito aderente ao recipiente da amostra, após a remoção do combustível envelhecido, do precipitado e da goma solúvel (ASTM, 2022c).

A goma potencial, definida como a soma das gomas solúvel e insolúvel, é um fator significativo que afeta a limpeza, o manuseio e a estabilidade do combustível. O resíduo potencial total, por sua vez, é a soma da goma potencial com o precipitado. Os resultados deste ensaio apresentam um indicativo da estabilidade ao armazenamento do combustível de aviação, por meio de sua tendência a formar depósitos e gomas sob condições de envelhecimento acelerado (ASTM, 2022c; GILES; FORESTER, 2010).

3.6.2.1.4 *O teste para estabilidade de armazenamento de destilado médio a 43°C*

O método descrito pela ASTM D4625 possibilita a avaliação da estabilidade ao armazenamento de destilados médios. Neste teste, amostras de combustível são armazenadas em uma estufa à prova de explosão, à temperatura de 43 °C. Durante 24 semanas, amostras são retiradas da estufa em dias pré-determinados e analisadas quanto aos insolúveis filtráveis e insolúveis aderentes. Neste contexto, insolúveis filtráveis são os sólidos removidos por filtração, e insolúveis aderentes são as gomas que permanecem aderidas às paredes do recipiente após remoção do combustível. Os resultados reportados são as massas dos insolúveis filtráveis e dos aderentes, bem como os insolúveis totais, que correspondem à concentração dos dois anteriores somados (ASTM, 2021).

Em virtude da extensa duração do ensaio, ele não é adequado para testes de controle de qualidade, os quais requerem resultados rápidos. No entanto, pode ser útil em pesquisas, para reduzir o tempo de armazenamento em relação ao que seria necessário à temperatura ambiente. Uma de suas vantagens é a confiabilidade na predição da estabilidade ao armazenamento, uma vez que as temperaturas amenas do teste fazem uma boa aproximação do processo degradativo que ocorre no combustível em condições reais (ASTM, 2021; GILES; FORESTER, 2010).

Adaptações deste método foram utilizadas em estudos militares, para avaliação da efetividade de se adicionar antioxidantes em QAV após o combustível ter saído da refinaria. O procedimento consistiu em comparar o desempenho de combustíveis com e sem aditivos antioxidantes, ao longo de envelhecimento acelerado que simulava uma estocagem de 36 meses em veículos e equipamentos a bordo de navios. Para tanto, diferentes tipos de QAV foram armazenados por 36 semanas, a 43 °C. Em geral, as alterações observadas no decorrer do envelhecimento acelerado possibilitaram a obtenção de resultados concludentes. No entanto, vale ressaltar que combustíveis mais estáveis não apresentaram alterações significativas mesmo após 36 semanas, de forma que as condições brandas do teste não foram capazes de degradar o QAV neste período (BESSEE; WILSON; O'BRIEN, 2012).

3.6.2.1.5 *O teste de estabilidade oxidativa de destilados médios (método acelerado)*

Este teste, padronizado pela norma ASTM D2274, fornece uma estimativa da estabilidade oxidativa de combustíveis destilados médios. Neste método, uma amostra de combustível é aquecida a 95°C por 16 horas, enquanto é borbulhada com oxigênio. Após este envelhecimento, determinam-se: os insolúveis filtráveis, obtidos da filtração do combustível; os insolúveis aderentes, que são produtos da oxidação que se aderem às paredes do recipiente

mesmo após a remoção do combustível; e os insolúveis totais, que são a soma dos dois anteriores (ASTM, 2014).

Apesar de já ter sido previamente utilizado de forma modificada em estudos com QAV, a aplicação deste teste é majoritariamente aplicada ao óleo diesel – vale notar que é um dos ensaios de especificação requeridos para o ODM, na Marinha do Brasil (Tabela 1, página 25) (CHENG et al., 1989; DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL, 2021). A ASTM inclusive ressalva que as precisões de medida podem não se aplicar, caso o ensaio seja realizado em combustíveis distintos dos óleos diesel nela listados (ASTM, 2014).

Em virtude da temperatura significativamente mais alta e da atmosfera de oxigênio puro, este método produz resultados mais rapidamente do que o ASTM D4625 (item 3.6.2.1.4). Por outro lado, devido a tais condições, a natureza e a quantidade de insolúveis gerados neste teste podem apresentar muito mais desvios do que o método ASTM D4625, em relação aos insolúveis formados no armazenamento em campo (ASTM, 2014).

3.6.2.1.6 O teste de estabilidade oxidativa térmica de combustíveis de turbina de aviação

Diferentemente dos métodos anteriores, o JFTOT consiste em um teste de oxidação térmica, no qual se busca avaliar a estabilidade do combustível sob condições de alta temperatura, similares às encontradas em sistemas de combustível com motores de turbina a gás. Conforme descrito na ASTM D3241, o combustível é bombeado sobre um tubo aquecedor com temperatura controlada, após o qual entra num filtro que retém os produtos de degradação. A duração padrão do teste é de 2,5 horas e a temperatura deve obedecer ao valor exigido na especificação do combustível; no caso do QAV-5, por exemplo, o teste deve ser realizado a 260 °C. Os resultados medidos são a máxima queda de pressão no filtro e a classificação dos depósitos no tubo de aquecimento, com base em um padrão colorimétrico (ANP, 2022b; ASTM, 2020b).

O padrão colorimétrico se baseia em cores codificadas de 0 a 4, e os depósitos no tubo aquecedor podem ser classificados como: 0, <1, 1, <2, 2, <3, 3, <4, 4, >4. Quanto mais alto o número, mais escuros são os depósitos. Além disso, podem ser ainda classificados como *pavão*, que corresponde a depósitos coloridos do tipo arco-íris; ou *anormais*, caso apresentem coloração diversa das constantes no padrão colorimétrico ou do pavão. Tanto no caso do depósito pavão quanto do anormal, a amostra não é aceitável (ASTM, 2020b; UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2016).

3.6.2.1.7 A microbalança de cristal de quartzo (QCM)

Assim como o JFTOT, a QCM avalia a estabilidade oxidativa térmica do combustível. O método padronizado, descrito na ASTM D7739, é aplicável a combustíveis de turbina a gás. O procedimento consiste em submeter o combustível à exposição térmica, em geral a 140 °C durante 16 horas e, através do monitoramento da frequência de oscilação de um cristal de quartzo, quantificar os depósitos produzidos numa superfície ao longo desta oxidação. Uma vez que a estabilidade oxidativa térmica está relacionada à resistência do combustível em produzir depósitos sob estresse térmico, obtém-se um indicativo desta estabilidade (ASTM, 2020d).

O desenvolvimento do sistema com QCM para avaliar a estabilidade oxidativa térmica de QAV visou fornecer um método de medir com precisão, *in situ* e em tempo real, a massa de depósitos formados na sua degradação térmica (KLAVETTER; MARTIN; WESSENDORF, 1993). A QCM é utilizada também em estudos do impacto de diversas espécies heteroatômicas, bem como suas interações, na auto-oxidação e formação de depósitos do QAV (ZABARNICK et al., 2019). No entanto, há um número limitado de instalações com este equipamento (ASTM, 2020d).

3.6.2.2 A correlação entre envelhecimento acelerado e em condições ambiente

A fim de se utilizar métodos de envelhecimento acelerado, faz-se necessário obter uma correlação temporal entre as condições de laboratório e as condições de armazenamento real que elas simulam. Tanto a temperatura quanto a pressão de oxigênio influenciam esta equivalência.

O armazenamento a 43 °C, temperatura prescrita na ASTM D4625, aproximadamente quadruplica a degradação do combustível em relação ao armazenamento à temperatura ambiente de 18 a 24 °C, tomando-se como parâmetro a quantidade de insolúveis formados. Conforme consta na referida ASTM, o envelhecimento de QAV em uma semana de armazenamento a 43 °C equivale a aproximadamente ao de um mês a 21 °C. Como se trata de uma aproximação, algumas fontes da literatura apresentam esta correlação entre as temperaturas 40 °C e 20 °C. Portanto, observa-se que há, nesta faixa de temperatura, uma relação linear de Arrhenius, na qual a velocidade de degradação do combustível dobra a cada acréscimo de 10 °C (ASTM, 2020c, 2021; HARDY et al., 1989; STAVINOHA; WESTBROOK, 1981).

O aumento da pressão de oxigênio também acelera o envelhecimento do QAV, promovendo maior geração de depósitos. O armazenamento a 40 °C sob oxigênio puro à

pressão absoluta de 800 kPa aumenta em dez vezes a degradação de destilados médios, em relação à estocagem a 20 °C sob ar à pressão atmosférica (101 kPa). O efeito da pressão sobre a aceleração do envelhecimento pode ser menor em temperaturas mais baixas, uma vez que a quantidade reduzida de precursores de depósito nesta condição pode se tornar o fator limitante da oxidação (ASTM, 2020c; HARDY et al., 1989).

Até certo limite, presume-se que a relação linear de Arrhenius entre a velocidade de degradação e a temperatura seja observada também para combustível em atmosfera de oxigênio pressurizado. Ao menos entre 40 °C e 80 °C, nota-se uma tendência de que cada aumento de 10 °C provoque a formação do dobro de insolúveis no combustível sob pressão de oxigênio de 800 kPa (ASTM, 2020c).

Vale ressaltar que as correlações entre o envelhecimento acelerado e o armazenamento em campo não são absolutas e podem variar de acordo com a composição do combustível e com as condições de estocagem (ASTM, 2021).

3.6.3 A influência do cobre

O cobre é o metal mais ativo na degradação do querosene de aviação, na maioria das condições, e pode estimular a instabilidade do combustível a concentrações muito baixas. A presença de cobre em querosene de aviação pode provir do adoçamento por cobre nas refinarias – processo que reduz a corrosividade do combustível pela conversão de seus compostos sulfurados corrosivos (mercaptanos) em dissulfetos, que são menos agressivos, por meio de oxidação com cloreto de cobre – ou de contaminação por tubulações de cuproníquel (CuNi), comumente empregadas em navios militares para reduzir a corrosão provocada pela salinidade do ambiente marinho. Tendo em vista que a contaminação por cobre proveniente do adoçamento pode ser identificada por meio de análises de qualidade antes do uso do QAV, são as tubulações de CuNi que figuram como fonte de contaminação mais preocupante. O elemento cobre, presente nas ligas CuNi, é continuamente dissolvido quando em contato com alguns combustíveis (incluindo JP-5), portanto, tubulações fabricadas com este material já foram restringidas para uso com JP-5 em algumas Marinhas. No Reino Unido, por exemplo, novas tubulações de CuNi não podem ser utilizadas para contato direto com F-44 ou F-76; esta liga pode ser utilizada apenas em tubulações de manômetros, reparos de tubulações antigas de CuNi e tubulações expostas no convés (HAZLETT, 1991; PANDE; HARDY, 1995; UNITED KINGDOM MINISTRY OF DEFENCE, 2020).

O cobre influencia a degradação do QAV, tanto na forma de superfície metálica quanto como metal dissolvido no combustível, alterando a taxa de formação de depósitos no querosene. Entretanto, seus efeitos são significativamente mais prejudiciais na forma de metal dissolvido (TAYLOR, 2007). A dissolução do cobre, da superfície metálica para o querosene, é fortemente influenciada pela presença de ácidos orgânicos no combustível, como ácidos carboxílicos, que atuam como ligantes (HAZLETT, 1991; WEST; ADAMS; ZABARNICK, 2011). Os ácidos naftênicos presentes no querosene, por exemplo, podem se ligar ao cobre presente na superfície metálica para formar naftenatos metálicos solúveis no combustível. Os ácidos carboxílicos que atuam como ligantes metálicos são produzidos quando há excesso de oxigênio, durante a oxidação dos hidrocarbonetos do combustível. Portanto, no armazenamento de QAV, quando há abundância de oxigênio, forma-se um ambiente propício para o acúmulo destes ácidos orgânicos e, conseqüentemente, maior dissolução do cobre para o combustível (WEST; ADAMS; ZABARNICK, 2011).

A concentração de 400 ppb de cobre é um nível de contaminação típico de amostras de QAV de navios, no ponto de abastecimento de aeronaves. No entanto, há relatos de querosene contaminado com até 1200 ppb de cobre em virtude do contato com tubulações de liga cuproníquel em porta-aviões militar, o que provocou significativa degradação da sua estabilidade térmica. Estudos relatam, entretanto, que níveis de contaminação de 50 ppb já podem apresentar efeitos prejudiciais à estabilidade do querosene (HAZLETT, 1991; PANDE; HARDY, 1995). Para o QAV-5, o teor de cobre é controlado somente na refinaria, quando o combustível tiver sido submetido ao adoçamento por cobre, e o limite máximo permitido é de 150 µg/kg (ANP, 2022b).

O cobre atua como catalisador da formação de radicais livres, que por sua vez promovem a auto-oxidação do combustível. A geração de radicais livres pode se dar pela reação dos hidrocarbonetos do querosene com oxigênio (Reação 9), na iniciação da auto-oxidação; ou pela decomposição de hidroperóxidos (Reações 10 e 11), aumentando a concentração de radicais livres no combustível (BEAVER et al., 2005; CLARK, 1988; HAZLETT, 1991; PANDE; HARDY, 1995):



**Reação 11**

O armazenamento prolongado do querosene constitui um fator adicional grave para sua degradação, pois possibilita que o cobre contaminante atue como catalisador da auto-oxidação por longos períodos, gerando efeitos deletérios expressivos. Tais efeitos foram observados tanto em condições laboratoriais, em ensaios de envelhecimento acelerado, como em condições de campo, em armazenamento prolongado à temperatura ambiente e pressão atmosférica. Estudos demonstram ainda que a fonte de cobre não é decisiva para os resultados: contaminações intencionais com etilacetoacetato de cobre (II) em pó ou com cobre dissolvido de liga cuproníquel 90/10 geram concentrações similares de depósitos oxidativos após o envelhecimento do QAV. É a combinação da presença de cobre com o armazenamento a longo prazo do querosene que promove o efeito sinérgico no sentido de degradar significativamente o combustível (PANDE; HARDY, 1995, 1997).

Tais observações são comprovadas na prática em navios militares, pois nota-se que querosenes de aviação armazenados em navios de combate têm maior contaminação por cobre e geram mais falhas no teste JFTOT, em relação aos armazenados em navios de abastecimento. Este fato é atribuído principalmente à maior rotatividade do QAV em navios de abastecimento, de forma que o tempo de residência do combustível neles e, conseqüentemente, sua exposição à tubulação de cuproníquel, são reduzidos (JIMENEZ; WALTERS; LESSNER, 2020).

Uma forma de mitigar o efeito da contaminação por cobre é a adição de desativador de metais (MDA). O mecanismo de atuação deste aditivo consiste em quelar metais dissolvidos no combustível e, assim, reduzir a sua atividade catalítica nas reações de iniciação (formação de radicais livres) da auto-oxidação do QAV, conseqüentemente reduzindo as taxas de geração de depósitos e de oxidação do querosene (CLARK, 1988; WEST; ADAMS; ZABARNICK, 2011). O composto utilizado como desativador de metais em querosenes de aviação é o N, N' disalicilideno-1,2 propanodiamina, o qual forma um complexo tetradentado com o cobre, no qual este metal se liga aos átomos de nitrogênio e oxigênio do MDA (Figura 2) (MORRIS et al., 1998; UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE, 2016).

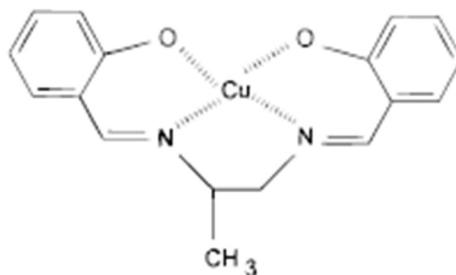


Figura 2 – Composto tetradentado de cobre quelado por N, N' disalicilideno-1,2 propanodiamina (adaptado de MORRIS et al., 1998).

Uma vez que as transferências eletrônicas com o átomo de cobre ficam restringidas nesta estrutura, ela desativa a atividade catalítica deste metal. A adição de MDA se mostra extremamente eficaz contra a degradação do querosene, com significativa redução na formação de depósitos de carbono (MORRIS et al., 1998).

Na Marinha do Brasil, o QAV-5 é constantemente armazenado em navios que possuem tubulação de CuNi, de forma que o querosene fica exposto ao contato com cobre e possíveis contaminações. Por este motivo, a adição de MDA é obrigatória para o QAV-5, num teor menor que 5,8 mg/L (ANP, 2022b).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada no presente estudo contou com 4 etapas: 1) degradação acelerada do QAV-5; 2) avaliação da corrosão de corpos de prova de cuproníquel (CuNi) em contato com o querosene de aviação; 3) avaliação do estado de degradação do QAV-5; e 4) avaliação do QAV-5, do ODM e de suas misturas em proporções diversas. As 3 últimas etapas foram laboratoriais e ocorreram concomitantemente com a etapa de degradação acelerada do querosene.

A primeira etapa do estudo consistiu na degradação acelerada de 35 litros de QAV-5 sob aquecimento em estufa (50 °C), mediante adaptação do método ASTM D4625 (ver item 3.6.2.1.4, página 49). O volume total do combustível foi dividido em frascos de 1 litro, dentro dos quais foram inseridos corpos de prova de CuNi (dimensões médias 49,30 cm x 17,65 cm x 2,10 cm) a fim de simular o contato do querosene com este material, existente nas redes dos navios, que acelera a degradação do combustível. As amostras de QAV-5 com corpos de prova de CuNi foram armazenadas à temperatura de 50 °C durante 16 semanas, que equivale a aproximadamente 32 meses de armazenamento à temperatura de 20 °C (ver item 3.6.2.2, página 51). A temperatura de 50 °C foi selecionada no intuito de acelerar a degradação do QAV-5, porém ainda garantindo o armazenamento seguro do combustível, uma vez que é inferior ao ponto de fulgor mínimo (60 °C) de especificação para o QAV-5.

Foram realizadas coletas de amostras de QAV-5 em 5 momentos diferentes, para as avaliações laboratoriais: no tempo inicial, denominado t_0 e, em seguida, a cada 4 semanas, nos tempos denominados t_1 (4 semanas), t_2 (8 semanas), t_3 (12 semanas) e t_4 (16 semanas).

Em cada um dos momentos de coleta, os corpos de prova de CuNi foram removidos das amostras e separados para análises de corrosão. Vale ressaltar que, para t_0 , não se aplica a análise de corrosão de corpos de prova de CuNi, pois esta coleta de QAV-5 se deu no tempo inicial, previamente à inserção dos corpos de prova nas amostras. Posteriormente, o volume de QAV-5 de todos os frascos recolhidos foi homogeneizado. Uma alíquota de 1 litro foi segregada para as análises de JFTOT e goma atual, para acompanhamento da degradação do querosene. O restante do QAV-5 homogeneizado foi utilizado na preparação de misturas com ODM em diferentes proporções (25%, 50% e 75%), para ser analisado conforme especificação do ODM prevista na ENGENALMARINST n° 05-10E. O QAV-5 puro também foi analisado conforme esta especificação.

O fluxograma apresentado na Figura 3 resume a sequência de atividades desenvolvidas no presente estudo.

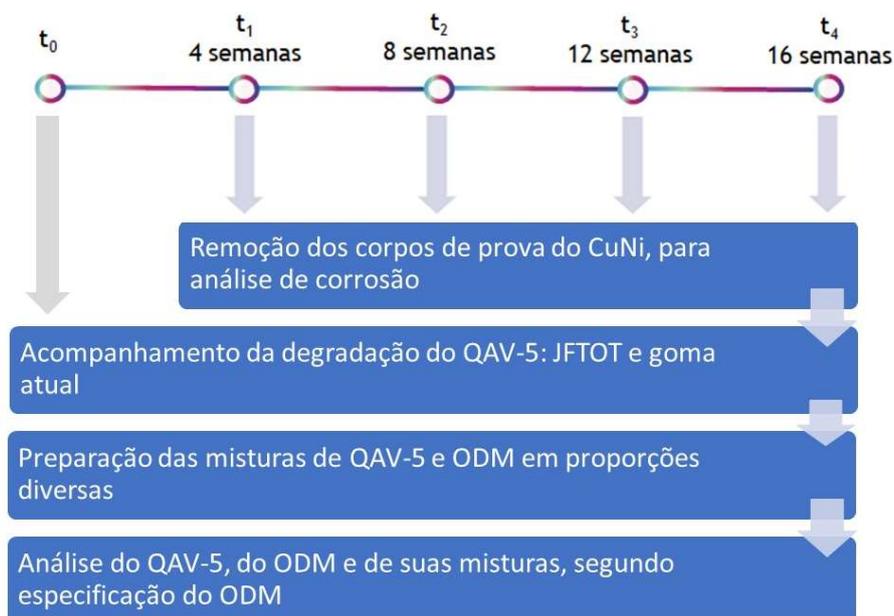


Figura 3 – Fluxograma das atividades desenvolvidas para avaliar a influência da adição de QAV-5, em diversos estados de degradação, em ODM.

O procedimento detalhado e materiais utilizados em cada etapa se encontram descritos nos itens a seguir.

4.1 A DEGRADAÇÃO DO QAV-5

4.1.1 O QAV-5

Uma amostra de 50 litros de QAV-5 foi obtida junto ao Depósito de Combustíveis da Marinha no Rio de Janeiro (DepCMRJ). A amostra foi coletada do tanque de armazenamento do DepCMRJ que continha a batelada de QAV-5 até então mais recente, fabricada aproximadamente 11 meses antes. Escolheu-se coletar amostra da batelada mais recente a fim de acompanhar o processo de degradação a partir de um combustível que pudesse ser considerado novo, ou seja, com máxima conservação de suas características desde a fabricação e que havia sofrido o mínimo possível de interferências externas em seu armazenamento. Os resultados das análises realizadas pelo DepCMRJ, aproximadamente 1 mês antes da coleta, comprovam que as propriedades do QAV-5 se encontravam dentro da especificação, conforme resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Características da batelada de QAV-5 armazenada no DepCMRJ, previamente à coleta de amostra.

Ensaio	Unidades	Método	Limites		Resultados
			Mín.	Máx.	
Água	ppm	Hidrokit	-	30,0	< 30,0
Aspecto	-	Visual	(1)		(1)
Aparência	Água livre	Visual	Ausente		Ausente
	Sedimentos	Visual	Ausente		Ausente
Cor Saybolt	-	ASTM D6045/D156	Anotar		26,4
Corrosividade ao Cu 100°C, 2h		ASTM D130 NBR 14359	-	1b	1a
Densidade a 15 °C	kg/m ³	ASTM D1298/D4052 NBR 7148/14065	785,0	848,0	812,5
JFTOT (2)	Depósito no tubo	ASTM D3241	-	3,0	<2,0
	ΔP		-	25 mmHg	0,0
Destilação (ponto final)	°C	ASTM D86 NBR 9619	-	290	252,7
MSEP ou WSIM, sem dissipador de carga estática (3)	-	ASTM D3948	85,0	-	99,0
Ponto de congelamento	°C	ASTM D2386 NBR 7975	-	-47,0	-50,2
Ponto de fulgor	°C	ASTM D56/D3828 NBR 7974	60,0	-	65,0
Goma atual	mg/100ml	ASTM D381 NBR 14525	-	7,0	1,4
Sólidos totais	mg/L	ASTM D2276	-	8,0 (4)	0,3

(1) Límpido à temperatura ambiente.

(2) Ensaio realizado aproximadamente 2 meses antes da coleta da amostra.

(3) Ensaio realizado na Refinaria Gabriel Passos (REGAP), da Petrobras, após a fabricação da batelada. MSEP se refere a *Micro-Separometer*; WSIM se refere a *Water Separometer Index Modified*.

(4) Para tanques que não abastecem diretamente aeronaves, o limite máximo para sólidos totais é de 8,0 ppm; para tanques que abastecem diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 1,0 ppm.

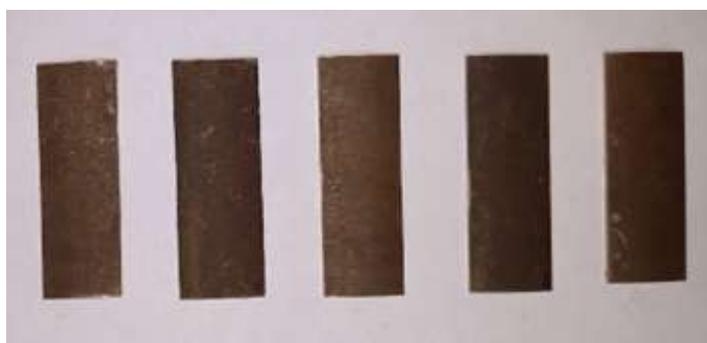
4.1.2 Os corpos de prova de cuproníquel (CuNi)

Foi obtido, junto à Marinha do Brasil, um segmento de tubo de aproximadamente 89 mm de diâmetro e 2,10 mm de espessura, fabricado em CuNi 90/10, material utilizado nas tubulações de QAV-5 em diversos navios da Força (Figura 4).



Figura 4 – Segmento de tubo de CuNi 90/10.

A tubulação foi cortada em 70 corpos de prova (dimensões aproximadas 49,30 cm x 17,65 cm x 2,10 cm), os quais então tiveram suas superfícies tratadas para remoção de película de oxidação e sujeira, a fim de expor toda a área dos corpos de prova para o contato com o querosene (Figura 5). O tratamento de superfície consistiu em lixamento com lixa d'água 400, seguido de acabamento com lixa d'água 600 e posterior lavagem com acetona.



A – Corpos de prova de CuNi antes do tratamento de superfície.



B – Corpos de prova de CuNi após o tratamento de superfície.

Figura 5 – Aspecto dos corpos de prova de CuNi antes (A) e após (B) tratamento de superfície.

Foi realizada fluorescência de raios X (FRX) em dezesseis corpos de prova (CP), a fim de confirmar sua composição. A técnica foi conduzida com o equipamento portátil Explorer 7000XRF da Jiangsu Skyray Instrument Co. Ltd.

Os corpos de prova foram ainda perfurados em sua parte superior, a fim de permitir posterior passagem de fio de nylon em cada um deles e, por fim, pesados em balança analítica da marca Sartorius, modelo CPA 225D.

4.1.3 O armazenamento de QAV-5 em estufa

O volume de 35 litros de QAV-5 foi distribuído em 35 frascos graduados em vidro borossilicato, com capacidade de 1 litro cada. O volume remanescente de QAV-5 foi mantido armazenado à temperatura ambiente.

Em cada frasco, foram também inseridos dois corpos de prova de CuNi. Os corpos de prova foram agrupados de forma que a massa total de cada par fosse aproximadamente a mesma. Os corpos de prova foram pendurados usando fio de nylon, de forma a ficarem completamente submersos no QAV-5 e não se tocarem nem entrarem em contato com as superfícies do frasco.

Os frascos tiveram suas tampas perfuradas e conectadas a tubos para escapamento de gases, a fim de evitar possíveis aumentos súbitos de pressão com consequentes acidentes, quando do seu armazenamento na estufa. Para tanto, os frascos foram divididos em 3 grupos, um para cada prateleira da estufa, e conectados entre si pelo tubo de escapamento, conforme arranjo final visualizado na Figura 6.



Figura 6 – Arranjo dos frascos de QAV-5 com corpos de prova de CuNi e mecanismo antiexplosivo para escapamento de gás.

Os frascos foram inseridos numa estufa de secagem com renovação de ar forçada, do fabricante Fanem LTDA., modelo 330/5, com capacidade de 480 litros. Os frascos foram acomodados nas 3 prateleiras da estufa, em arranjos semicirculares, conforme mostra a Figura 7. Na prateleira superior, foram acomodados os frascos 1 (F1) a 11 (F11); na prateleira do meio, os frascos 12 (F12) a 22 (F22) e 35 (F35); e na prateleira inferior, os frascos 23 (F23) a 34 (F34).



Figura 7 – Arranjo dos 35 frascos de QAV-5 na estufa.

A estufa foi ligada e mantida na temperatura de 50 °C por 16 semanas. A estufa foi aberta a cada 4 semanas, nos momentos de coleta de amostras.

4.2 A AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DOS CORPOS DE PROVA DE CUPRONÍQUEL

Nos momentos t_1 (4 semanas), t_2 (8 semanas), t_3 (12 semanas) e t_4 (16 semanas), os pares de corpos de prova de CuNi foram retirados de cada frasco coletado e secos. Em seguida, foram realizadas as análises de corrosão: em todas as retiradas, foi feita análise gravimétrica; em t_1 e t_3 , também foram feitas as análises por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) (ver item 4.2.2, página 63) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) (ver item 4.2.3, página 63).

4.2.1 A análise gravimétrica

Para cada frasco de amostra, um CP do par foi separado para análise gravimétrica de acordo com a técnica descrita na norma ASTM G1-03 (ASTM, 2017), a fim de verificar a perda de massa devido à corrosão sofrida pelo material durante sua submersão em QAV-5 e de calcular a taxa de corrosão de cada CP.

Primeiramente, verificou-se visualmente se a superfície do material apresentava corrosão uniforme, sem corrosão localizada (pites). Esta é a condição ideal para a aplicação do ensaio de perda de massa da ASTM G1-03, uma vez que a velocidade de corrosão na superfície do material pode ser considerada igual em todos os pontos.

Para cada momento de retirada de amostras, um CP selecionado foi seco, pesado na mesma balança analítica utilizada na pesagem anterior, da marca Sartorius, modelo CPA 225D, e então utilizado para a determinação do tempo de decapagem por meio da realização de um ciclo de limpeza. O ciclo de limpeza consistiu em imergir o CP selecionado em solução de H₂SO₄ em água destilada, a 10% em volume, por 10 segundos, e em seguida lavá-lo, secá-lo e pesá-lo. Este procedimento foi repetido consecutivas vezes até que a sua massa ficasse aproximadamente constante. O tempo acumulado de imersão do CP na solução de H₂SO₄ foi, então, definido como o tempo de decapagem, necessário para a remoção da película de produtos de corrosão aderidos à superfície do material. Os demais CPs separados para a análise gravimétrica, após secos e pesados, foram então imersos na solução de H₂SO₄ pelo tempo de decapagem, lavados e, por fim, novamente secos e pesados.

A diferença entre a massa inicial de cada CP, antes de entrar em contato com o QAV-5, e sua massa final após a decapagem, foi utilizada para a determinação da taxa de corrosão, conforme a Equação 1 (ASTM, 2017).

$$\text{Taxa de corrosão} \left(\frac{mm}{ano} \right) = \frac{K \cdot DM}{A \cdot t \cdot D} \quad (1)$$

Nesta equação, tem-se:

K = 8,76 x 10⁷ (fator de conversão)

DM = diferença entre a massa inicial e a massa final do CP (g)

A = área total do CP (cm²)

t = tempo de imersão do material no eletrólito (h)

D = densidade da liga (g/cm³)

Portanto, DM é a diferença de massa de cada CP, obtida no ensaio gravimétrico.

Para o cálculo da área, cada CP teve suas dimensões medidas com paquímetro digital do fabricante Digimess.

Para a densidade da liga, adotou-se o valor de 8,94 g/cm³, conforme previsto na norma ASTM B111/B111M (ASTM, 2018).

4.2.2 A espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES)

Nas retiradas de amostras em t_1 e t_3 , foram selecionados dois frascos: um com QAV-5 que havia ficado amarelado e outro com QAV-5 que se manteve incolor. De cada frasco, foi coletada uma alíquota de 50 mL e enviada para a análise por ICP-AES, a fim de realizar análise elementar das amostras. Além disso, foi enviada também uma alíquota do QAV-5 original, que não sofreu envelhecimento acelerado em estufa, para fins comparativos. Para esta análise, foram utilizados espectrômetro da Thermo Scientific, modelo iCAP 7000 Series, e amostrador automático da marca Teledyne Cetac Technologies, modelo ASX-560.

4.2.3 A microscopia eletrônica de varredura (MEV)

De cada frasco selecionado para a espectrometria em t_1 e t_3 , um CP foi retirado e enviado para MEV. A microscopia foi realizada com lentes de aumento de 4, 8 e 20 vezes, em microscópio eletrônico de varredura da marca Zeiss, modelo EVO 40.

4.3 A AVALIAÇÃO DO ESTADO DE DEGRADAÇÃO DO QAV-5

Em cada momento de coleta de amostras (t_0 , t_1 , t_2 , t_3 e t_4), o conteúdo dos frascos de QAV-5 retirados da estufa foi homogeneizado em bombona. Uma alíquota de 1 litro do QAV-5 homogeneizado em cada coleta foi, então, segregada para análise quanto ao estado de degradação por meio dos ensaios de JFTOT e goma atual. O JFTOT foi realizado conforme teste detalhado na norma ASTM D3241, no laboratório Chronion Análises Químicas e Comércio Ltda., e o ensaio de goma atual foi conduzido conforme preconizado na ASTM D381, no laboratório do Depósito de Combustíveis da Marinha no Rio de Janeiro (DepCMRJ).

4.4 A AVALIAÇÃO DO QAV-5, DO ODM E DE SUAS MISTURAS

O ODM utilizado no presente estudo foi obtido junto à Marinha do Brasil. No momento inicial (t_0), foram preparadas amostras de QAV-5 e ODM em 5 proporções distintas, denominadas P1, P2, P3, P4 e P5, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Teores de ODM ⁽¹⁾ e QAV-5 ⁽²⁾ em cada uma das amostras.

Mistura	P1	P2	P3	P4	P5
ODM ⁽¹⁾ (% em volume)	100	75	50	25	0
QAV-5 ⁽²⁾ (% em volume)	0	25	50	75	100

(1) ODM se refere a óleo diesel marítimo.

(2) QAV-5 se refere a querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil.

Para os momentos subsequentes t_1 , t_2 , t_3 e t_4 , não coube análise da amostra de proporção P1, uma vez que é constituída apenas de ODM. Como o ODM foi armazenado à temperatura ambiente e não envelhecido em estufa, a sua degradação ao longo do armazenamento pode ser considerada desprezível em relação à do QAV-5, de forma que as características de P1 analisadas em t_0 podem ser consideradas constantes ao longo das 16 semanas do estudo. Desta forma, para t_1 , t_2 , t_3 e t_4 , foram preparadas apenas as proporções P2, P3, P4 e P5.

As amostras foram analisadas em duplicata segundo a especificação do ODM prevista na ENGENALMARINST n° 05-10E, constante na Tabela 1 (página 25), à exceção do ensaio de lubricidade. Para a avaliação da lubricidade, foi realizado um ensaio com base no teste de turbidez para lubricidade de combustível (FLHT), elucidado no item 3.3.1.1, página 26. Os demais ensaios foram conduzidos no Depósito de Combustíveis da Marinha no Rio de Janeiro (DepCMRJ), Laboratório de Combustíveis e Derivados de Petróleo da Escola de Química da UFRJ (LABCOM) e Centro de Pesquisas e Caracterização de Petróleo e Combustíveis (COPPECOMB).

4.4.1 Fuel Lubricity Haze Test (FLHT)

Para o teste de turbidez, foi preparada uma solução 0,2M de NaOH em água e metanol (50/50). Neste preparo, foram utilizados NaOH (fabricante Isofar Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.) com grau de pureza 97%, água destilada e metanol (fabricante Biograde) com grau de pureza 99,9%.

Para a leitura da turbidez de cada amostra, foi utilizado um turbidímetro portátil com datalogger e interface USB, do fabricante AKROM Produtos Eletrônicos, modelo KR2000, com faixa de medição de 0 a 1100 NTU.

Com pipetas pasteur descartáveis, 12 mL de amostra e 2 mL da solução de NaOH foram transferidos à cubeta de vidro do turbidímetro. Em seguida, a mistura foi agitada manualmente por 1 minuto, com movimentos de aproximadamente 25 cm de amplitude, numa frequência aproximada de 1 agitação por segundo.

Em seguida, a cubeta foi limpa, para a remoção de sujeiras no vidro que pudessem alterar a leitura da turbidez, e deixada imóvel em bancada por 10 minutos. Por fim, a cubeta foi inserida no turbidímetro para a leitura da turbidez da amostra.

Este procedimento foi realizado em duplicata, para as amostras de proporções P2, P3, P4 e P5, em cada momento de coleta de amostras, e também para P1 na coleta inicial (t_0).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 O ASPECTO DO QAV-5 EM CADA COLETA DE AMOSTRAS

No momento t_1 (4 semanas), notou-se que o QAV-5 de apenas dois frascos apresentava a coloração amarelada, característica do querosene em processo de degradação: frasco 1 (F1) e frasco 8 (F8), ambos da prateleira superior da estufa, conforme mostra a Figura 8.

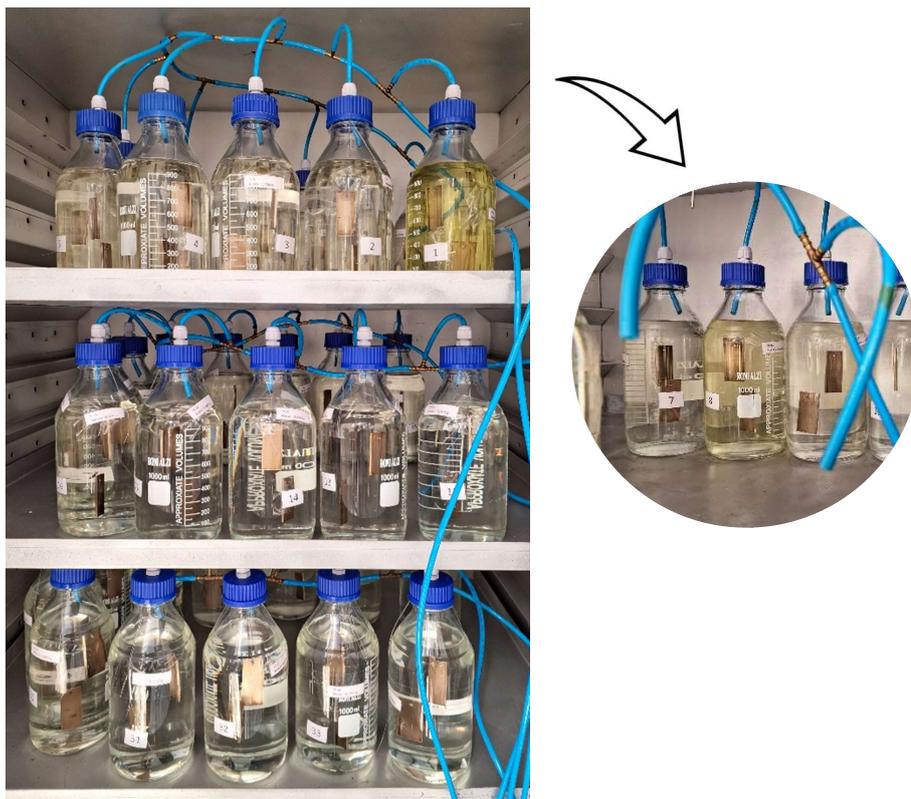


Figura 8 – Aspecto das amostras em t_1 , armazenadas na estufa, com detalhe à direita para o frasco 8 (F8).

Para as análises de t_1 , foram retirados os frascos 1 (F1) a 7 (F7) e o frasco 9 (F9). O conteúdo do frasco 1 (F1), entretanto, foi enviado separadamente para análise de goma atual, em virtude de sua coloração significativamente mais amarela, a fim de investigar se seu estado de oxidação estava muito diferente do QAV-5 dos demais frascos. O conteúdo dos outros frascos coletados foi homogeneizado, denominado “QAV-5 t_1 ”, e posteriormente utilizado na preparação das misturas com ODM.

Em t_2 (8 semanas), notou-se que o QAV-5 do frasco 8 (F8) se encontrava ainda mais amarelado do que em t_1 . Além disso, novos frascos de outras prateleiras também apresentaram alteração de cor do querosene: frasco 19 (F19), na prateleira do meio; e frascos 25 (F25), 30 (F30), 33 (F33) e 34 (F34) na prateleira inferior, conforme visualizado na Figura 9.



Figura 9 – Aspecto das amostras em t_2 , armazenadas na estufa, (prateleiras superior, do meio e inferior, nesta ordem).

Em t_2 , foram retirados da estufa o frasco 8 (F8) e os frascos 10 (F10) a 15 (F15). Apesar do aspecto notadamente mais amarelado do conteúdo do frasco 8 (F8), ele foi utilizado na homogeneização do QAV-5 t_2 . Não seria mais possível segregar os frascos de amostras com alteração de cor, visto que o QAV-5 de diversos frascos estava ficando amarelo e, portanto, segregá-los implicaria não ter amostra suficiente para os experimentos. Ademais, uma vez que tal alteração estava ocorrendo de forma sistemática, era necessário incluir amostras com esta mudança de coloração, a fim de que a coleta fosse representativa.

No momento t_3 (12 semanas), notou-se que a maioria das amostras já estava com coloração amarelada: frasco 19 (F19), frasco 20 (F20), frasco 25 (F25), frasco 27 (F27), e os frascos 30 (F30) a 34 (F34). Visivelmente, a maioria das amostras com alteração de cor se encontrava na prateleira inferior, como pode ser observado na Figura 10.



Figura 10 – Aspecto das amostras em t_3 , armazenadas na estufa, (prateleiras do meio e inferior).

Em t_3 , foram coletadas as amostras dos frascos 16 (F16) ao 22 (F22) para o preparo do QAV-5 t_3 . Notadamente, havia grande discrepância de cor entre elas (Figura 11), embora todas tivessem sido armazenadas na mesma prateleira (do meio) da estufa.



Figura 11 – Amostras dos frascos 16 (F16) ao 22 (F22) utilizadas para o preparo do QAV-5 t_3 .

Por fim, em t_4 (16 semanas), restou apenas o frasco 35 (F35) na prateleira do meio, cujo QAV-5 se manteve incolor. Na prateleira inferior da estufa, a maioria das amostras estava com coloração amarela intensa, conforme pode ser visto na Figura 12.



Figura 12 – Aspecto das amostras, armazenadas na estufa, em t_4 (prateleiras do meio e inferior).

Nesta coleta, foram selecionados os frascos 25 (F25), 27 (F27), 28 (F28) e os frascos 30 (F30) a 34 (F34), todos da prateleira inferior, para o preparo do QAV-5 t_4 . Tais amostras foram selecionadas em virtude de sua coloração mais acentuada (Figura 13), que constitui indício de que se encontravam em estado de oxidação mais avançado, o qual era desejado para o presente estudo.



Figura 13 – Amostras dos frascos 25 (F25), 27 (F27), 28 (F28) e dos frascos 30 (F30) a 34 (F34) utilizadas para o preparo do QAV-5 t_4 .

Até este ponto, é possível apenas fazer uma análise visual do envelhecimento do QAV-5. A alteração de cor observada condiz com a ocorrência de um processo oxidativo no combustível, de forma que à medida que o experimento se desenvolveu, maior número de frascos apresentou conteúdo com cor amarela e tal coloração se intensificou ao longo do envelhecimento acelerado. No entanto, as efetivas alterações nas propriedades do QAV-5 ainda devem ser investigadas por meio de ensaios laboratoriais.

Ademais, nota-se que as alterações de cor não ocorreram de forma homogênea nas amostras. Em todos os momentos de coleta, houve discrepância entre as amostras, quer fossem de diferentes prateleiras ou de uma mesma prateleira. Partindo do pressuposto que a coloração

refletiu o estado de oxidação do combustível, tais diferenças podem ter sido ocasionadas por diferenças na composição do QAV-5 contido em cada frasco e/ou pela distribuição não homogênea do calor dentro da estufa, em especial entre diferentes prateleiras, visto que as prateleiras não eram vazadas e a prateleira inferior teve maior concentração de amostras com alteração de cor em quase todas as retiradas. Tais hipóteses serão discutidas nos próximos tópicos.

5.2 A CORROSÃO DOS CORPOS DE PROVA

A fluorescência de raios X (FRX) indicou que a composição elementar de todos os corpos de prova analisados (Tabela 6) correspondia ao material CuNi 90/10.

Tabela 6 – Composição elementar de corpos de prova (CP) de CuNi 90/10.

Corpo de prova	Al(%)	Si(%)	Cr(%)	Mn(%)	Fe(%)	Co(%)	Ni(%)	Cu(%)	Zn(%)	Sn(%)	Sb(%)	Pb(%)
CP1	0,69	0,12	0,02	0,77	1,47	0,04	10,74	85,39	0,37	0,16	0,11	0,02
CP2	0,62	0,15	0,02	0,91	1,42	0,04	10,76	85,47	0,35	0,09	0,05	0,02
CP3	0,64	0,11	0,02	0,75	1,43	0,04	10,85	85,53	0,37	0,09	0,06	0,02
CP4	0,63	0,11	0,02	0,95	1,47	0,04	10,72	85,44	0,35	0,10	0,06	0,02
CP5	0,73	0,12	0,02	0,74	1,51	0,03	10,73	85,42	0,38	0,12	0,08	0,02
CP6	0,85	0,13	0,02	0,69	1,34	0,04	10,78	85,48	0,37	0,11	0,07	0,02
CP7	0,69	0,11	0,02	0,82	1,37	0,03	10,82	85,51	0,35	0,09	0,06	0,02
CP8	0,66	0,10	0,02	0,90	1,45	0,03	10,77	85,44	0,36	0,09	0,06	0,02
CP9	0,64	0,10	0,02	0,81	1,45	0,03	10,77	85,55	0,35	0,09	0,06	0,02
CP10	0,70	0,12	0,02	0,71	1,40	0,03	10,82	85,54	0,38	0,10	0,07	0,02
CP11	0,68	0,10	0,02	0,82	1,38	0,03	10,78	85,52	0,38	0,10	0,07	0,02
CP12	0,79	0,11	0,02	0,87	1,43	0,04	10,73	85,28	0,37	0,14	0,10	0,03
CP13	0,67	0,10	0,02	0,79	1,44	0,04	10,82	85,49	0,36	0,09	0,06	0,02
CP14	0,63	0,39	0,02	0,90	1,41	0,04	10,73	85,25	0,37	0,09	0,06	0,02
CP15	0,63	0,12	0,02	0,76	1,46	0,04	10,78	85,33	0,41	0,18	0,13	0,03

CP16	0,64	0,09	0,02	0,73	1,41	0,03	10,83	85,61	0,38	0,10	0,06	0,01
------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	------	------	------	------

5.2.1 Análise gravimétrica

Em inspeção visual, verificou-se que a superfície dos corpos de prova apresentava corrosão uniforme, sem corrosão localizada (pites). Portanto, o ensaio de perda de massa da ASTM G1-03 poderia ser aplicado para verificar a corrosão do material.

Para a análise gravimétrica, as curvas de decapagem foram construídas com base nos ciclos de limpeza realizados nos corpos de prova 1, 15, 39 e 49, respectivamente nas retiradas de t_1 , t_2 , t_3 e t_4 . Por meio das curvas, obteve-se o tempo de decapagem a ser aplicado para os demais corpos de prova: 60 segundos para os corpos de prova de t_1 , 100 segundos para os de t_2 , 90 segundos para os de t_3 e 50 segundos para os de t_4 (Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17).

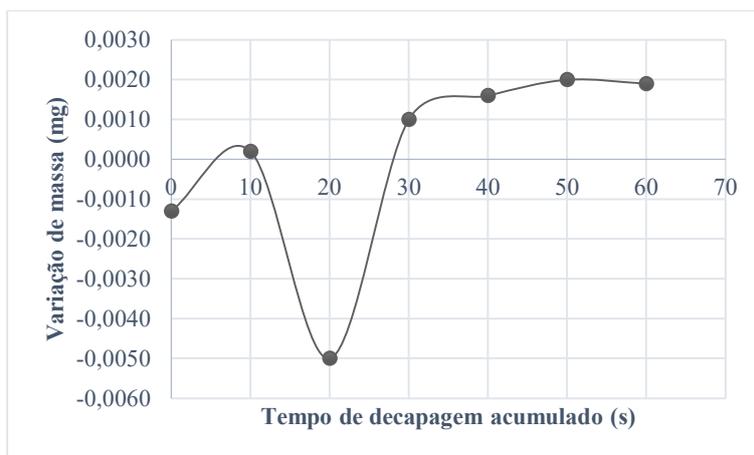


Figura 14 – Curva de decapagem do corpo de prova 1 (CP 1), em t_1 .

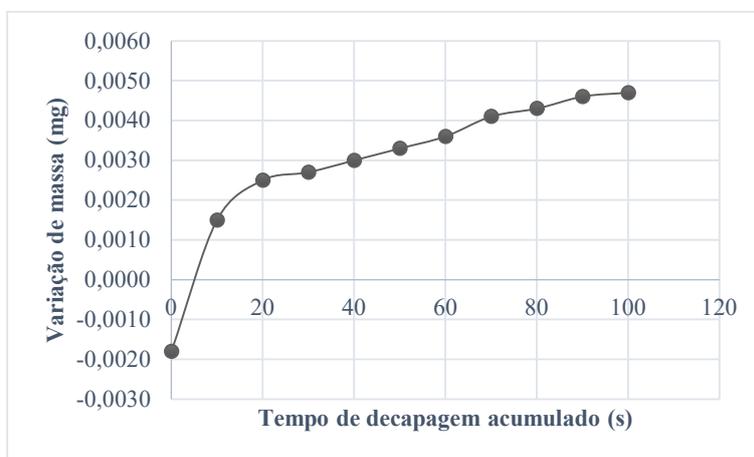


Figura 15 – Curva de decapagem do corpo de prova 15 (CP 15), em t_2 .

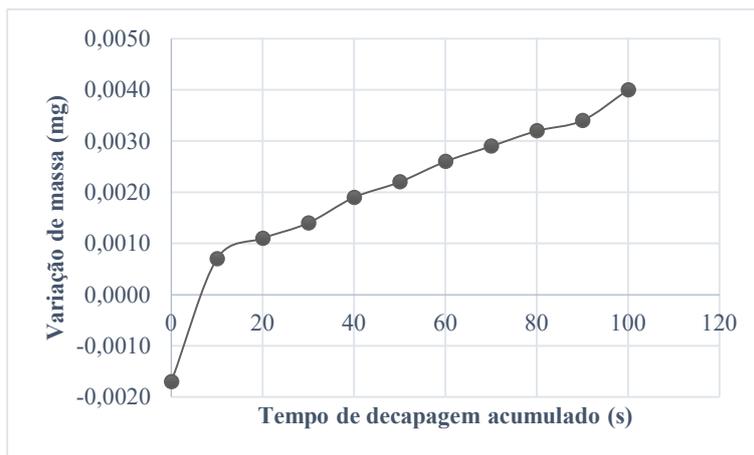


Figura 16 – Curva de decapagem do corpo de prova 39 (CP 39), em t_3 .

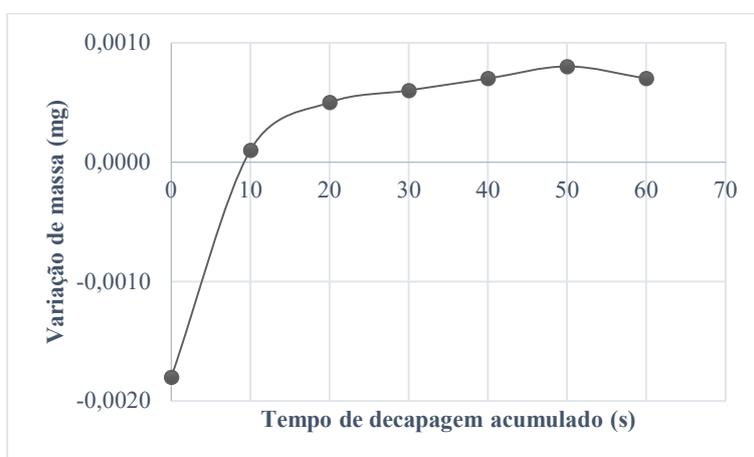


Figura 17 – Curva de decapagem do corpo de prova 49 (CP 49), em t_4 .

Na curva de decapagem do corpo de prova 1, CP 1 (Figura 14), é possível verificar que há um ponto ao longo da decapagem em que a massa do corpo de prova aumenta, gerando uma diferença de massa negativa. Este fenômeno é comum e pode ocorrer porque a superfície do material se torna tão reativa que pode reagir até mesmo com a atmosfera, de forma que sua massa aumenta, porém, ao se dar continuidade ao ciclo de limpeza, ela volta a reduzir.

Na curva de decapagem do corpo de prova 39, CP 39 (Figura 16), nota-se que o último ponto medido apresenta perda de massa mais acentuada que a dos pontos anteriores. Possivelmente, neste momento houve não apenas remoção dos produtos de corrosão aderidos ao CP, mas também o próprio material da liga começou a ser corroído. Portanto, foi utilizado o ponto anterior como tempo de decapagem a ser aplicado aos demais CPs de t_3 .

Após efetuar a decapagem nos demais CPs, obteve-se a taxa de corrosão de cada um deles, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados da análise gravimétrica dos corpos de prova de CuNi nos diferentes momentos de coleta de amostra, com taxas de corrosão calculadas para cada CP.

Coleta	Frasco	CP	Área (cm ²)	Massa inicial (mg)	Massa final (mg)	DM (g)	Taxa (mm/ano)
t₁	1	1	17,32	12,8448	12,8429	0,0000019	0,001600
	2	3	18,54	13,5977	13,5973	0,0000004	0,000315
	3	5	18,88	14,2069	14,2059	0,0000010	0,000772
	4	7	18,69	14,2394	14,2376	0,0000018	0,001404
	5	9	19,17	14,2885	14,2877	0,0000008	0,000608
	6	11	19,04	14,7145	14,7142	0,0000003	0,000230
	7	13	19,97	14,8743	14,8736	0,0000007	0,000511
	9	17	19,71	14,8921	14,8916	0,0000005	0,000370
	Média						
t₂	8	15	19,72	14,8908	14,8861	0,0000047	0,001737
	10	20	21,74	17,1217	17,1208	0,0000009	0,000302
	11	22	21,44	16,8611	16,8599	0,0000012	0,000408
	12	23	19,98	15,0990	15,0983	0,0000007	0,000255
	13	25	19,99	15,1367	15,1349	0,0000018	0,000656
	14	27	19,69	15,1638	15,1630	0,0000008	0,000296
	15	29	19,87	15,1718	15,1701	0,0000017	0,000624
Média							0,000611
t₃	16	32	21,18	16,5201	16,5183	0,0000018	0,000413
	17	34	21,18	16,5138	16,5132	0,0000006	0,000138
	18	36	21,15	16,4917	16,4909	0,0000008	0,000184
	19	37	19,99	15,3776	15,3775	0,0000001	0,000024
	20	39	20,29	15,3875	15,3841	0,0000034	0,000815
	21	42	21,56	16,4307	16,4301	0,0000006	0,000135
	22	43	20,55	15,5063	15,5057	0,0000006	0,000142
Média							0,000264
t₄	25	49	20,55	15,5458	15,5450	0,0000008	0,000142
	27	54	20,76	16,0451	16,0439	0,0000012	0,000211
	28	56	20,67	16,0211	16,0197	0,0000014	0,000247
	30	60	20,59	15,8002	15,8001	0,0000001	0,000018
	31	61	20,54	15,6449	15,6446	0,0000003	0,000053
	32	63	20,37	15,6764	15,6744	0,0000020	0,000358
	33	65	20,61	15,7175	15,7165	0,0000010	0,000177
34	67	20,11	15,7210	15,7201	0,0000009	0,000163	
Média							0,000171

Apesar de fazer parte do grupo de CPs da coleta t₁, o CP 1 foi representado separadamente na tabela 7 porque pertence ao frasco 1 (F1), cujo conteúdo não foi misturado ao dos demais para a obtenção da mistura QAV-5 t₁. Desta forma, o resultado do CP 1 não foi contabilizado na taxa de corrosão média de t₁.

A fim de facilitar a visualização, o gráfico de dispersão da Figura 18 ilustra a taxa de corrosão para cada CP, discriminando-os por tempo de retirada de amostra.

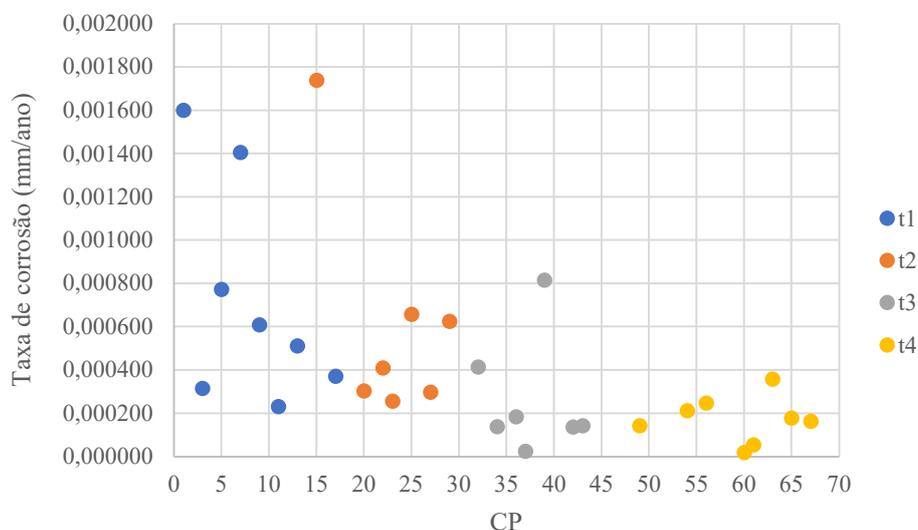


Figura 18 – Taxa de corrosão para cada corpo de prova (CP) de CuNi, nos diferentes momentos de coleta de amostra (t₁ - 4 semanas, t₂ - 8 semanas, t₃ - 12 semanas e t₄ -16 semanas).

É possível verificar, pelas taxas médias de corrosão apresentadas na Tabela 7 e na Figura 18, que as taxas de corrosão são inesperadamente menores para os CPs de t₃ e t₄ em relação às observadas para os CPs de t₁ e t₂. Uma hipótese que explicaria tal fato seria um maior teor de ácidos orgânicos nas amostras de QAV-5 retiradas em t₁ e t₂, uma vez que estes ácidos atuam como ligantes metálicos e têm grande influência na solubilização do cobre no combustível (ver item 3.6.3, página 52). Outra possível explicação estaria atrelada aos tempos de decapagem: os tempos obtidos para t₃ e t₄ foram menores que o de t₂, quando em verdade se esperaria o contrário pois, em teoria, a exposição mais longa dos CPs ao QAV-5 em t₃ e t₄ levaria à formação de maior camada de produtos de corrosão, conseqüentemente requerendo maior tempo para sua limpeza. Estes tempos de decapagem foram determinados com base na curva de um único CP, e então aplicados aos demais. Portanto, o tempo de decapagem determinado para o CP selecionado pode não ter sido representativo do grupo, ou seja, pode ter sido menor que o necessário para efetivamente realizar a limpeza química das superfícies metálicas dos outros CPs. Assim, a pesagem pós decapagem teria sido feita em superfícies que ainda continham resquícios de produtos de corrosão aderidos e, portanto, a massa final obtida para os CPs seria maior que a real, mascarando os valores das taxas de corrosão.

É ainda inesperado que o nível de corrosão dos CPs de t₄ tenha sido tão baixo, uma vez que as respectivas amostras notadamente tinham o aspecto mais oxidado ao longo de quase todo

o armazenamento em estufa. Ao se confirmar que as amostras de t_4 efetivamente estavam mais degradadas (a ser analisado em ensaios laboratoriais, item 5.3, página 80), tal fato constitui indicativo de que houve outro fator decisivo para o envelhecimento dessas amostras, que não a solubilização do cobre proveniente da corrosão dos CPs.

Numa avaliação das amostras individuais, nota-se que as taxas de corrosão do CP 1 e do CP 15 são as mais altas de t_1 e t_2 , respectivamente. Como os frascos 1 (F1) e 8 (F8) foram notadamente os de aparência mais oxidada destas retiradas (Figura 8 e Figura 9), tais taxas de corrosão estão coerentes com os aspectos visuais das amostras. No caso da coleta em t_3 , no entanto, o frasco 19 (F19) foi o que apresentava aspecto mais degradado (Figura 11), porém seu CP foi o que sofreu menor corrosão. Tal fato será confirmado através de análise microscópica no item 5.2.3 (página 77). Já para a retirada em t_4 , as amostras apresentavam aspecto similar entre si (Figura 13) e observou-se uma aleatoriedade de resultados das taxas de corrosão dos seus CPs.

5.2.2 Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES)

A espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) foi realizada nas amostras de querosene dos frascos 1, F1 (QAV-5 amarelo) e 6, F6 (QAV-5 incolor), para t_1 . Já para t_3 , a espectrometria foi realizada nos frascos 19, F19 (QAV-5 amarelo) e 22, F22 (QAV-5 incolor). Os resultados destas amostras, bem como do QAV-5 original, não submetido a envelhecimento acelerado, encontram-se listados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da análise elementar, por ICP-AES, das amostras de QAV-5 original e dos frascos 1 (F1), 6 (F6), 19 (F19) e 22 (F22).

Elemento	Concentração (ppm)				
	QAV-5 original	F1	F6	F19	F22
Ag	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Al	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
B	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3
Ba	3,2	3,4	3,5	3,3	3,1
Ca	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cr	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cu	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fe	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Mg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Mn	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Mo	0,6	0,8	0,7	0,8	0,7
Na	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ni	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pb	3,3	3,7	2,1	4,0	4,2
Si	6,8	14,1	50,8	8,0	6,8
Sn	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ti	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
V	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Zn	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

A partir dos resultados apresentados na Tabela 8, observa-se que as concentrações de cobre em todas as amostras de QAV-5 analisadas ficaram abaixo do limite de detecção de 0,1 ppm. Portanto, não é possível correlacionar os diferentes níveis de oxidação das amostras com as diferenças na concentração deste metal, visto que mesmo em concentração abaixo de 0,1 ppm o cobre pode ser prejudicial à estabilidade do querosene (ver item 3.6.3, página 52).

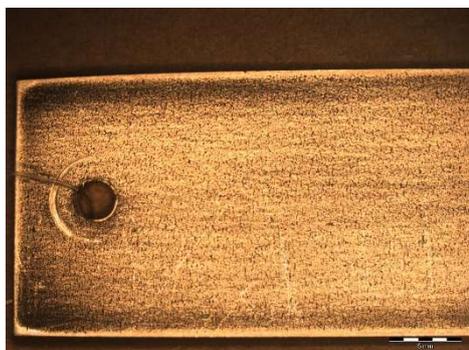
O único elemento que apresenta diferença significativa em sua concentração, entre as amostras, é o silício. Contudo, o mais alto teor de silício foi identificado na amostra incolor de t₁ (F6), portanto, este elemento não é o responsável por causar o aspecto oxidado do querosene. Para os demais elementos, pouca ou nenhuma diferença de concentração foi observada.

O molibdênio é o único elemento cuja concentração varia acompanhando o aspecto de degradação da amostra, isto é, está presente em maior teor nas amostras de QAV-5 amarelado. No entanto, não foram identificados, na literatura, estudos que apontem uma relação direta entre o teor de molibdênio dissolvido em querosene de aviação e a degradação deste combustível. De fato, na literatura, há evidências de que o contato de querosene de aviação com molibdênio metálico sob temperaturas moderadas (115 a 140 °C) não produz efeitos deletérios no combustível (SMITH, 1967). Quando em contato com ligas com teor mais elevado de molibdênio (16%), o querosene produz apenas moderada quantidade de depósitos, cerca de um quinto da massa de depósitos produzida quando o QAV está em contato com liga de CuNi 70/30 (FAITH; ACKERMAN; HENDERSON, 1971).

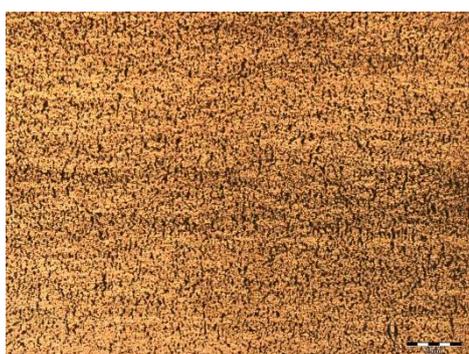
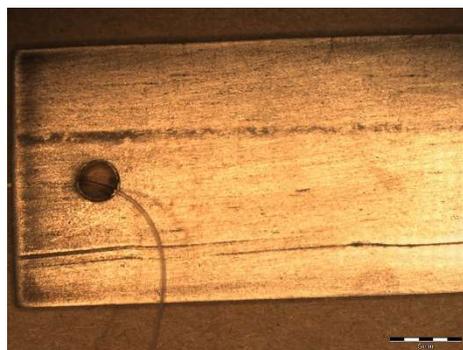
Vale ressaltar a possibilidade de que, para os elementos em teor abaixo do limite de detecção do equipamento, sua concentração tenha variado no nível de ppb, porém não tenha sido detectada. Assim, não é possível concluir sobre elementos específicos que tenham sido responsáveis pela oxidação das amostras.

5.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

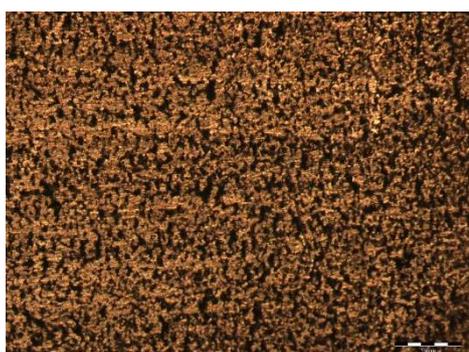
Para t_1 , a microscopia eletrônica de varredura foi realizada nos CPs 2 e 12, os quais foram retirados dos frascos 1, F1 (QAV-5 amarelo) e 6, F6 (QAV-5 incolor), respectivamente (Figura 19).



A – Lente de aumento de 4 vezes



B – Lente de aumento de 8 vezes



C – Lente de aumento de 20 vezes

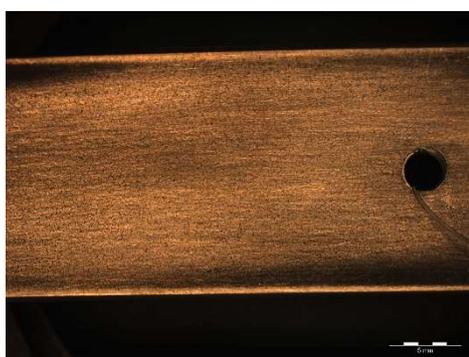


Figura 19 – Imagens de MEV para o CP 2 (à esquerda) e CP 12 (à direita), com lentes de aumento de 4 (A), 8 (B) e 20 (C) vezes.

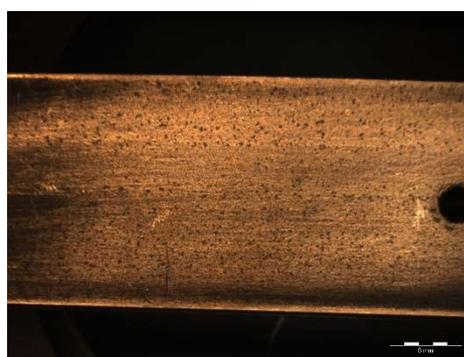
A partir dos resultados apresentados na Figura 19, visivelmente, a corrosão do CP 2 foi mais severa que a do CP 12, o que está de acordo com as aparências das respectivas amostras de QAV-5. Acredita-se que a corrosão mais intensa da liga de CuNi no frasco 1, F1 (CP 2) levou a uma maior concentração de cobre no querosene deste frasco, o que pode ter acelerado o processo oxidativo deste combustível e ocasionado sua coloração significativamente mais

amarela que a das demais amostras. Vale ressaltar que o outro CP imerso no frasco 1, F1 – o CP 1 – também apresentou alto nível de corrosão, tendo a maior taxa de corrosão de t_1 (Tabela 7, página 73). Assim, verifica-se que a corrosão da liga de CuNi ocorrida tanto no CP 1 quanto no CP 2, provocada pelo contato com o QAV-5 contido no frasco 1 (F1), foi, de fato, mais severa que a observada nas demais amostras. Ou seja, as imagens de MEV corroboram o resultado da análise gravimétrica para t_1 .

Para t_3 , a microscopia eletrônica de varredura foi realizada nos CPs 38 e 44, retirados dos frascos 19, F19 (QAV-5 amarelo) e 22, F22 (QAV-5 incolor), respectivamente (Figura 20).



A – Lente de aumento de 4 vezes



B – Lente de aumento de 8 vezes



C – Lente de aumento de 20 vezes



Figura 20 – Imagens de MEV para o CP 38 (à esquerda) e CP 44 (à direita), com lentes de aumento de 4 (A), 8 (B) e 20 (C) vezes.

Neste caso, observa-se um fenômeno interessante: o CP 38, que estava imerso no frasco com QAV-5 significativamente mais amarelo, apresentou menor corrosão. Novamente, os resultados de MEV corroboram aquele encontrado na análise gravimétrica, no qual a taxa de corrosão obtida para o CP 37 (também proveniente do frasco 19, F19) foi baixa – a menor de t_3 (Tabela 7, página 73).

Apesar de coerentes entre si, esses resultados vão de encontro com o esperado, uma vez que o aspecto mais oxidado do QAV-5 no frasco 19 (F19) deveria estar atrelado a um maior nível de corrosão da liga de CuNi em contato com o combustível. Tais resultados indicam que a aparente oxidação da amostra do frasco 19 (F19) não foi causada predominantemente pela dissolução do cobre proveniente da corrosão do CuNi, mas sim por conta de um dos seguintes fatores ou uma combinação deles:

a) distribuição não homogênea de calor na prateleira do meio da estufa, de forma que o frasco 19 (F19) pode ter sido sujeito a uma temperatura mais elevada que os demais frascos e, assim, sofrido oxidação acelerada em relação a eles. Esta hipótese é reforçada pelo fato de que a amostra do frasco 20 (F20), que se encontrava ao lado do frasco 19 (F19) na estufa, também estava mais amarelada que as demais (Figura 11), indicando uma possível concentração de calor na região onde tais frascos se encontravam armazenados;

b) diferenças de composição no QAV-5 do frasco 19 (F19), que levaram o combustível a degradar mais rapidamente – um maior teor de compostos heteroatômicos ou de metais catalisadores já presentes no combustível, por exemplo, contribuiria para a maior degradação do querosene (ver item 3.6.1.1, página 41). Os compostos heteroatômicos mais relevantes neste processo são aqueles que contêm átomos de enxofre, nitrogênio ou oxigênio. Contudo, não se pode afirmar sobre seu teor na amostra do frasco 19 (F19), visto que a espectrometria não identifica a concentração de tais elementos. A análise elementar realizada por espectrometria também não permite afirmar sobre o maior teor de metais catalisadores nas amostras de aparência mais oxidada, conforme discutido no item 5.2.2 (página 75). No entanto, uma vez que o QAV-5 distribuído em todos os frascos foi obtido de um volume homogêneo coletado na Marinha, ressalta-se que esta hipótese é pouco provável; e/ou

c) ocorrência de um mecanismo de catálise superficial, de forma que o processo oxidativo no querosene tenha ocorrido no contato com a superfície dos CPs, mesmo sem a solubilização do cobre. Ressalta-se, entretanto, que estudos prévios demonstram que os efeitos

do cobre são significativamente mais prejudiciais na forma de metal dissolvido, conforme elucidado no item 3.6.3 (página 52).

5.3 O ESTADO DE DEGRADAÇÃO DO QAV-5

Os certificados de ensaio de JFTOT e goma atual se encontram nos Anexos A e B, respectivamente. Os resultados de JFTOT e goma atual para as misturas de QAV-5 de cada retirada demonstram a degradação do combustível ao longo de seu armazenamento (Tabela 9).

Tabela 9 – Resultados dos ensaios de JFTOT e goma atual para as amostras QAV-5 em t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄.

Características	Limites	t ₀	t ₁ (4 semanas)	t ₂ (8 semanas)	t ₃ (12 semanas)	t ₄ (16 semanas)
Estabilidade à oxidação térmica (JFTOT):						
Queda de pressão, mmHg, máx.	25	0,02	0,00	0,19	0,00	0,07
Depósito no tubo	<3 ⁽¹⁾	<1	<1	<1	<1	>4 P ⁽²⁾
Goma atual, mg/100ml, máx.	7	0,6	3,4	4,2	2,6	16,5

(1) Para combustível em tanques que abastecem diretamente aeronaves.

(2) “P” denota a presença de depósito de cor “pavão” (multicolorida).

Tanto o QAV-5 original quanto a mistura de amostras das 3 primeiras coletas ficaram dentro dos limites de especificação para o JFTOT e a goma atual. Após envelhecimento acelerado por 16 semanas, entretanto, obteve-se a amostra QAV-5 t₄ fora da especificação prevista pela Resolução n° 895 de 2022, da ANP.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 9, observa-se uma tendência crescente para a goma atual com o tempo de armazenamento do combustível, à exceção da amostra de t₃. De fato, tanto a goma atual quanto o JFTOT de t₃ são notadamente de um combustível menos degradado que os de t₁ e t₂ e indicam que o QAV-5 t₃ não sofreu degradação conforme esperado. Reforça-se, assim, a hipótese de distribuição não homogênea de calor entre as prateleiras da estufa, uma vez que todas as amostras que constituíram a mistura QAV-5 t₃ foram retiradas da mesma prateleira (do meio). Vale ressaltar ainda que, mesmo no desligamento da estufa em t₄, o único frasco remanescente na prateleira do meio ainda se manteve incolor, sem aparência de processo oxidativo (Figura 12, página 69). Já as amostras da prateleira inferior se mostraram mais amareladas desde t₂ (Figura 9, página 67; Figura 10, página 68; Figura 12, página 69). Portanto, apesar de o QAV-5 apenas ter saído de especificação ao final do estudo, seria possível

que ele tivesse saído de especificação antes, na retirada após 12 semanas (t_3), caso tais amostras tivessem degradado à mesma velocidade que as demais.

A estabilidade térmica do QAV-5 foi significativamente degradada em t_4 , conforme pode ser observado pela formação de depósito com coloração mais intensa (>4) que o padrão de cor limite do JFTOT, além da formação de depósito do tipo “pavão” (multicolorida) no tubo de aquecimento deste ensaio. Tais resultados indicam que o combustível não pode mais cumprir seu papel como refrigerante para sistemas de aeronaves e não terá desempenho aceitável nas condições térmicas da turbina. Além disso, a amostra de t_4 ficou fora de especificação quanto à goma atual, com formação de goma em teor maior que o dobro do limite máximo, o que pode ocasionar a formação de lacas ou vernizes nos pontos quentes do sistema de combustível. Assim, o QAV 5 t_4 não pode ser utilizado no reabastecimento de aeronaves, tanto pelos critérios de JFTOT quanto pelo critério de goma atual. Portanto, o envelhecimento acelerado correspondente ao armazenamento por aproximadamente 32 meses, à temperatura ambiente (20 °C), foi eficaz na obtenção de amostra de QAV-5 degradado, fora de especificação.

Com isso, é possível ainda retomar a discussão levantada na avaliação da análise gravimétrica (item 5.2.1, página 71): uma vez que se confirmou que as amostras de t_4 efetivamente estavam mais degradadas, apesar das baixas taxas de corrosão dos seus CPs, confirma-se a hipótese de que houve outro fator decisivo para o envelhecimento dessas amostras, que não a solubilização do cobre proveniente da corrosão dos CPs. Dentre os possíveis fatores, estão os anteriormente discutidos: distribuição não homogênea de calor entre as prateleiras da estufa; diferenças na composição do querosene de aviação, como maior teor de compostos heteroatômicos ou metais catalisadores; ou ocorrência de mecanismo de catálise superficial nos CPs - sendo a hipótese de distribuição não homogênea de calor a mais provável.

Por fim, o resultado do ensaio de goma atual realizado à parte no querosene do frasco 1 (F1) indicou um teor de goma atual de 7,3 mg/100mL, valor acima do limite máximo de 7 mg/100mL. Tal resultado permite concluir que esta amostra estava, de fato, em estado de degradação significativamente mais avançado que as demais coletadas em t_1 . Assim, corroborase que a cor amarelada do QAV-5 estava correlacionada ao estado de oxidação desta amostra.

5.4 A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE QAV-5 NO ODM

Os certificados de ensaio emitidos por laboratórios externos com as análises das características requeridas para o ODM encontram-se nos Anexos B e C. Os resultados das

análises do ODM (P1) no momento inicial, bem como das misturas de ODM e QAV-5 (P2, P3 e P4) e do QAV-5 puro (P5), em cada retirada de amostras, permitem verificar o impacto da adição deste querosene no diesel marítimo em diversas características: cor, índice de cetano, teor de enxofre, viscosidade, ponto de fluidez, lubricidade e massa específica (Tabela 10, Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14). As entradas marcadas em vermelho evidenciam os resultados que ficaram fora da especificação do ODM.

Tabela 10 – Resultados das análises das amostras P1, P2, P3, P4 e P5, em t₀, quanto às características requeridas para o ODM.

Características	Limites	Método	P1 (0% QAV-5)	P2 (25% QAV-5)	P3 (50% QAV-5)	P4 (75% QAV-5)	P5 (100% QAV-5)
Aspecto ⁽¹⁾	LII	Visual	LII	LII	LII	LII	LII
Cor ASTM, máx.	3	ABNT NBR 14483 ASTM D1500	1,4	1,2	0,9	0,6	0,2
Cinzas, % massa, máx.	0,010	ASTM D482	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Índice de cetano, mín.	40	ASTM D4737	49,0	47,9	45,5	44,2	42,5
Resíduo de Carbono no resíduo dos 10% finais de destilação, % massa, máx.	0,30	ASTM D4530	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Enxofre, % massa, máx.	0,5	ASTM D5453	0,0286	0,0217	0,0150	0,0105	0,0023
Estabilidade à oxidação, mg/100mL, máx	2,5	ASTM D2274	1,6	0,3	1,4	0,2	0,3
Viscosidade a 40 °C, mm ² /s (cSt)	2,0 – 6,0	ASTM D445	2,8	2,5	2,0	2,3	1,8
Ponto de fluidez, °C, máx.:							
Inverno	-6	ASTM D97	-18	-24	-27	-45	-48
Verão	0						
Lubricidade, NTU, mín	20 - 30	FLHT	552,6	396,8	198,6	64,44	5,15
Número de acidez, mgKOH/g, máx.	0,5	ASTM D664	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ponto de fulgor, °C, mín.	60	ASTM D93	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
Massa específica a 20 °C, kg/m ³ , máx.	876,8	ABNT NBR 7148/14065 ASTM D1298/D4052	836,3	830,2	823,5	817,5	810,7

(1) “LII” se refere a combustível límpido e isento de impurezas

Tabela 11 – Resultados das análises das amostras P2, P3, P4 e P5, em t₁, quanto às características requeridas para o ODM.

Características	Limites	Método	P2 (0% QAV-5)	P3 (25% QAV-5)	P4 (50% QAV-5)	P5 (75% QAV-5)
Aspecto ⁽¹⁾	LII	Visual	LII	LII	LII	LII
Cor ASTM, máx.	3	ABNT NBR 14483 ASTM D1500	1,2	1,0	0,7	0,2
Cinzas, % massa, máx.	0,010	ASTM D482	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Índice de cetano, mín.	40	ASTM D4737	47,2	45,5	43,8	42,5
Resíduo de Carbono no resíduo dos 10% finais de destilação, % massa, máx.	0,30	ASTM D4530	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Enxofre, % massa, máx.	0,5	ASTM D5453	0,0231	0,0161	0,0090	0,0021
Estabilidade à oxidação, mg/100mL, máx	2,5	ASTM D2274	0,3	0,3	1,0	0,4
Viscosidade a 40 °C, mm ² /s (cSt)	2,0 – 6,0	ASTM D445	2,8	2,8	2,7	2,4
Ponto de fluidez, °C, máx.:						
Inverno	-6	ASTM D97	-21	-27	-45	-48
Verão	0					
Lubricidade, NTU, mín	20 – 30	FLHT	414,6	202,8	51,07	3,60
Número de acidez, mgKOH/g, máx.	0,5	ASTM D664	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ponto de fulgor, °C, mín.	60	ASTM D93	65,0	65,0	65,0	65,0
Massa específica a 20 °C, kg/m ³ , máx.	876,8	ABNT NBR 7148/14065 ASTM D1298/D4052	830,2	823,7	817,3	810,8

(1) “LII” se refere a combustível límpido e isento de impurezas

Tabela 12 – Resultados das análises das amostras P2, P3, P4 e P5, em t₂, quanto às características requeridas para o ODM.

Características	Limites	Método	P2 (0% QAV-5)	P3 (25% QAV-5)	P4 (50% QAV-5)	P5 (75% QAV-5)
Aspecto ⁽¹⁾	LII	Visual	LII	LII	LII	LII
Cor ASTM, máx.	3	ABNT NBR 14483 ASTM D1500	1,4	1,3	1,1	0,9
Cinzas, % massa, máx.	0,010	ASTM D482	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Índice de cetano, mín.	40	ASTM D4737	47,8	45,9	44,8	42,4

Resíduo de Carbono no resíduo dos 10% finais de destilação, % massa, máx.	0,30	ASTM D4530	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Enxofre, % massa, máx.	0,5	ASTM D5453	0,0206	0,0141	0,0086	0,0020
Estabilidade à oxidação, mg/100mL, máx	2,5	ASTM D2274	0,6	0,4	0,6	0,5
Viscosidade a 40 °C, mm ² /s (cSt)	2,0 – 6,0	ASTM D445	2,8	2,9	2,9	2,8
Ponto de fluidez, °C, máx.:						
Inverno	-6	ASTM D97	-21	-30	-45	-48
Verão	0					
Lubricidade, NTU, mín	20 - 30	FLHT	361,1	220,2	51,77	1,41
Número de acidez, mgKOH/g, máx.	0,5	ASTM D664	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ponto de fulgor, °C, mín.	60	ASTM D93	65,0	66,0	65,0	66,0
Massa específica a 20 °C, kg/m ³ , máx.	876,8	ABNT NBR 7148/14065 ASTM D1298/D4052	830,4	823,9	817,0	811,4

(1) “LII” se refere a combustível límpido e isento de impurezas

Tabela 13 – Resultados das análises das amostras P2, P3, P4 e P5, em t3, quanto às características requeridas para o ODM.

Características	Limites	Método	P2 (0% QAV-5)	P3 (25% QAV-5)	P4 (50% QAV-5)	P5 (75% QAV-5)
Aspecto ⁽¹⁾	LII	Visual	LII	LII	LII	LII
Cor ASTM, máx.	3	ABNT NBR 14483 ASTM D1500	1,4	1,3	1,2	1,1
Cinzas, % massa, máx.	0,010	ASTM D482	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Índice de cetano, mín.	40	ASTM D4737	47,7	46,0	43,8	42,5
Resíduo de Carbono no resíduo dos 10% finais de destilação, % massa, máx.	0,30	ASTM D4530	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Enxofre, % massa, máx.	0,5	ASTM D5453	0,0212	0,0153	0,0091	0,0021
Estabilidade à oxidação, mg/100mL, máx	2,5	ASTM D2274	0,7	0,8	0,8	0,8
Viscosidade a 40 °C, mm ² /s (cSt)	2,0 – 6,0	ASTM D445	2,8	2,1	2,3	2,2
Ponto de fluidez, °C, máx.:						
Inverno	-6	ASTM D97	-21	-27	-45	-48
Verão	0					

Lubricidade, NTU, mín	20 – 30	FLHT	395,9	261,6	63,94	3,24
Número de acidez, mgKOH/g, máx.	0,5	ASTM D664	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ponto de fulgor, °C, mín.	60	ASTM D93	65,0	66,0	66,0	68,0
Massa específica a 20 °C, kg/m ³ , máx.	876,8	ABNT NBR 7148/14065 ASTM D1298/D4052	830,7	824,3	818,0	811,5

(1) “LII” se refere a combustível límpido e isento de impurezas

Tabela 14 – Resultados das análises das amostras P2, P3, P4 e P5, em t₄, quanto às características requeridas para o ODM.

Características	Limites	Método	P2 (0% QAV-5)	P3 (25% QAV-5)	P4 (50% QAV-5)	P5 (75% QAV-5)
Aspecto ⁽¹⁾	LII	Visual	LII	LII	LII	LII
Cor ASTM, máx.	3	ABNT NBR 14483 ASTM D1500	1,9	2,0	2,0	2,0
Cinzas, % massa, máx.	0,010	ASTM D482	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Índice de cetano, mín.	40	ASTM D4737	48,1	45,8	45,9	42,9
Resíduo de Carbono no resíduo dos 10% finais de destilação, % massa, máx.	0,30	ASTM D4530	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Enxofre, % massa, máx.	0,5	ASTM D5453	0,0211	0,0153	0,0091	0,0023
Estabilidade à oxidação, mg/100mL, máx	2,5	ASTM D2274	0,7	0,8	0,7	0,8
Viscosidade a 40 °C, mm ² /s (cSt)	2,0 – 6,0	ASTM D445	3,2	2,9	3,3	2,5
Ponto de fluidez, °C, máx.:						
Inverno	-6	ASTM D97	-21	-27	-45	-48
Verão	0					
Lubricidade, NTU, mín	20 - 30	FLHT	471,8	296,4	64,28	2,09
Número de acidez, mgKOH/g, máx.	0,5	ASTM D664	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ponto de fulgor, °C, mín.	60	ASTM D93	69,0	66,0	66,0	65,0
Massa específica a 20 °C, kg/m ³ , máx.	876,8	ABNT NBR 7148/14065 ASTM D1298/D4052	830,7	824,4	817,7	811,2

(1) “LII” se refere a combustível límpido e isento de impurezas

A primeira característica com notável alteração é a cor: uma vez que o QAV-5 é originalmente incolor e o ODM é amarelo escuro, as misturas com maiores proporções de

QAV-5 tendem a apresentar menores valores para o ensaio cor ASTM (Figura 21 e Figura 22). No entanto, os resultados de cor ASTM aumentaram a cada retirada de amostras de QAV-5. Tal fato é condizente com a visível mudança na coloração do QAV-5 ao longo do seu armazenamento. Desta forma, a inclinação das curvaturas tende a ser menor com o passar do tempo, pois a cor do QAV-5 oxidado vai se aproximando da cor do ODM. Tal inclinação se modifica até o ponto em que as amostras com maior teor de QAV-5 chegam a ter coloração mais intensa que a mistura com menor teor do querosene, em virtude de sua avançada oxidação (vide curva t_4 da Figura 22).



Figura 21 – Amostras P2 t_1 , P3 t_1 , P4 t_1 e P5 t_1 , da esquerda para a direita, com visível gradiente de cor entre a mistura com maior teor de ODM (P2) e o QAV-5 puro (P5).

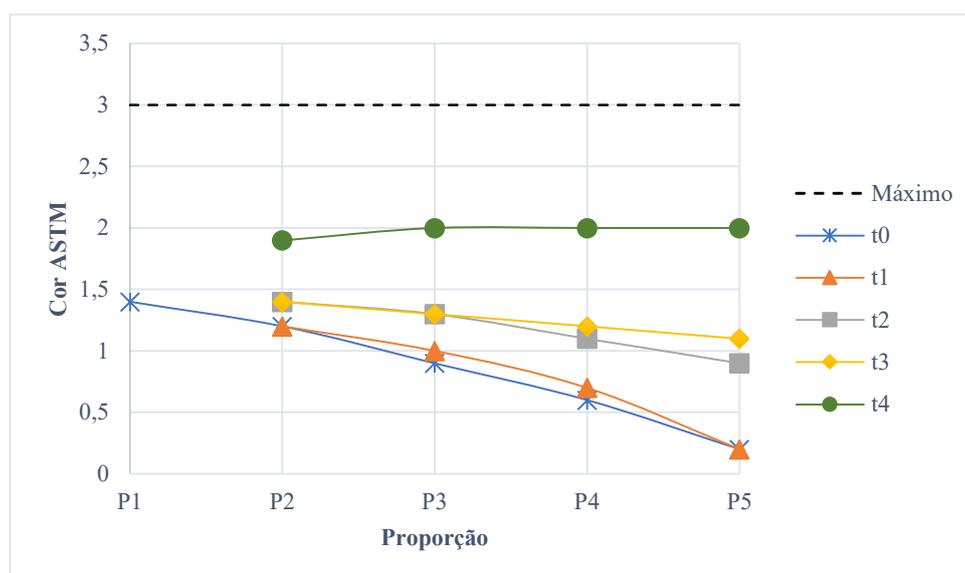


Figura 22 – Cor ASTM de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t_0 , t_1 , t_2 , t_3 e t_4) de retirada de amostras da estufa.

O índice de cetano também reduziu com o aumento do teor de QAV-5, conforme observado na Figura 23 (à exceção de P3 t_4 e P4 t_4 , que se mantiveram praticamente idênticos).

Apesar de não ser um parâmetro controlado para este querosene, já havia a hipótese de que seu índice de cetano fosse inferior ao do ODM, com base em estudos prévios com JP-5 (ver item 3.4, página 32). Observa-se que o índice de cetano do QAV-5 é, em média, 13% menor que o do ODM, considerando os resultados de todas as retiradas de amostras da estufa. A redução no índice de cetano causada pela adição de QAV-5 ao ODM pode acarretar maiores atrasos de ignição nos motores, impactando assim na qualidade de ignição e na durabilidade dos motores. Entretanto, há que se ressaltar que todos os resultados, inclusive o do QAV-5 puro, ainda se mantiveram acima do limite mínimo preconizado para o ODM. Assim, no que diz respeito à qualidade de ignição, não são esperados problemas no sistema a diesel ao se utilizar o QAV-5, mesmo neste estado de degradação, em lugar do ODM.

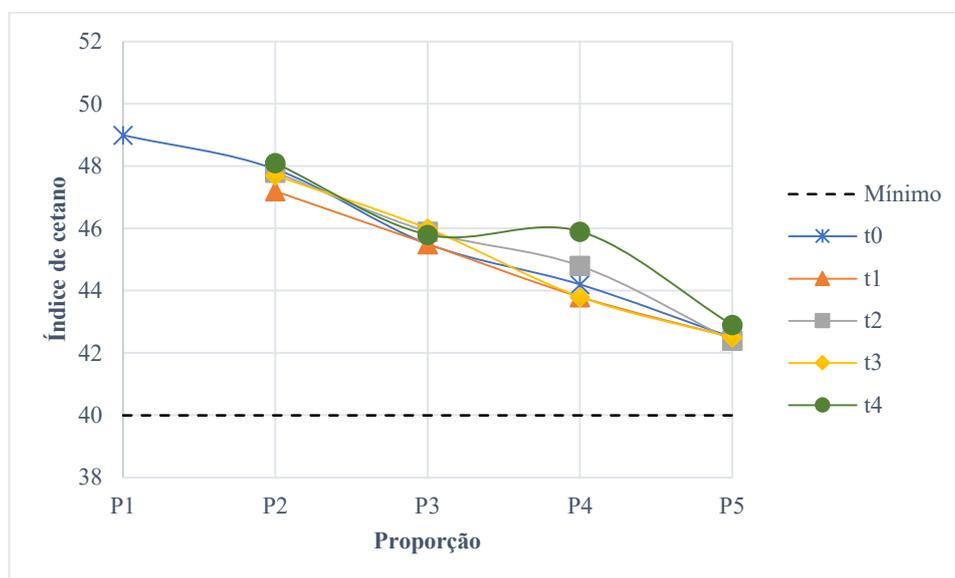


Figura 23 – Índice de cetano de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄) de retirada de amostras da estufa.

Por fim, verifica-se, ainda, que não houve uma tendência clara de alteração do índice de cetano em função do tempo de envelhecimento do QAV-5, de forma que a degradação do querosene neste período, correspondente ao armazenamento por 32 meses à temperatura ambiente (20 °C), não teve impactos significativos nesta propriedade.

Da mesma forma que as propriedades anteriores, o teor de enxofre também reduziu nas amostras com maiores teores de QAV-5 (Figura 24). Vale ressaltar que o limite especificado para o teor de enxofre não está representado no gráfico, pois todos os resultados obtidos ficaram muito abaixo do limite máximo de 0,5% em massa. Assim, constata-se que o ODM fornecido à Marinha está alinhado à tendência global de adoção de combustíveis com baixo nível de enxofre. O uso de óleo diesel marítimo com baixa concentração de enxofre é uma importante contribuição para a redução nas emissões dos poluentes atmosféricos SO_x (óxidos de enxofre),

os quais podem trazer prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública, causando chuvas ácidas e doenças respiratórias na população.

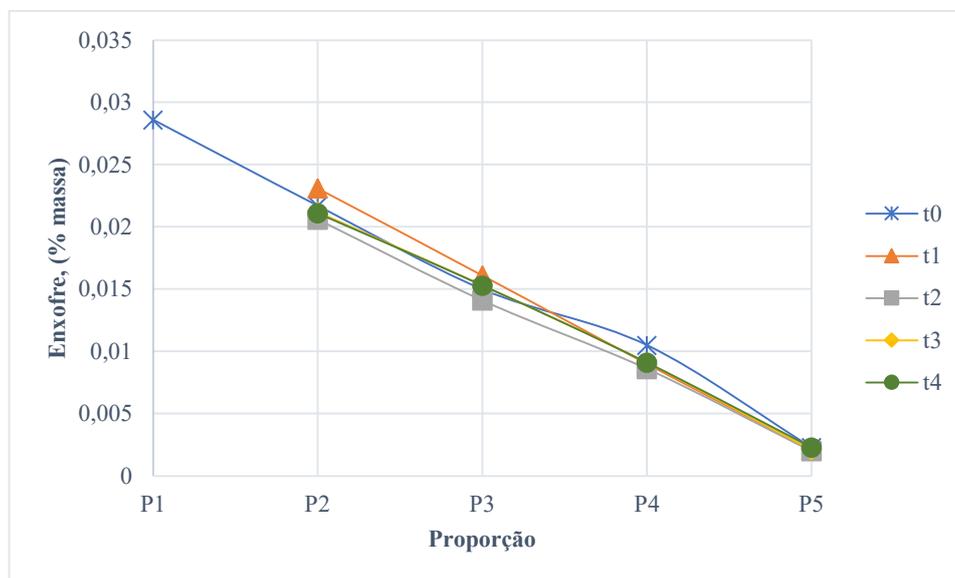


Figura 24 – Teor de enxofre de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄) de retirada de amostras da estufa.

A redução no teor de enxofre, por sua vez, afeta diretamente a lubricidade, uma vez que compostos de enxofre conferem propriedades lubrificantes ao combustível. Desta forma, observa-se uma diminuição da lubricidade no mesmo sentido (Figura 25). Uma vez que o valor limite para a lubricidade, pelo método FLHT com agitação manual, seria em torno de 20 a 30 NTU, utilizou-se o valor mais conservador de 30 NTU como limite mínimo no gráfico. De toda forma, independentemente de se adotar como limite mínimo 20 ou 30 NTU, verifica-se que todos os resultados passam no requisito lubricidade, exceto os do QAV-5 puro (P5), em qualquer estado de degradação.

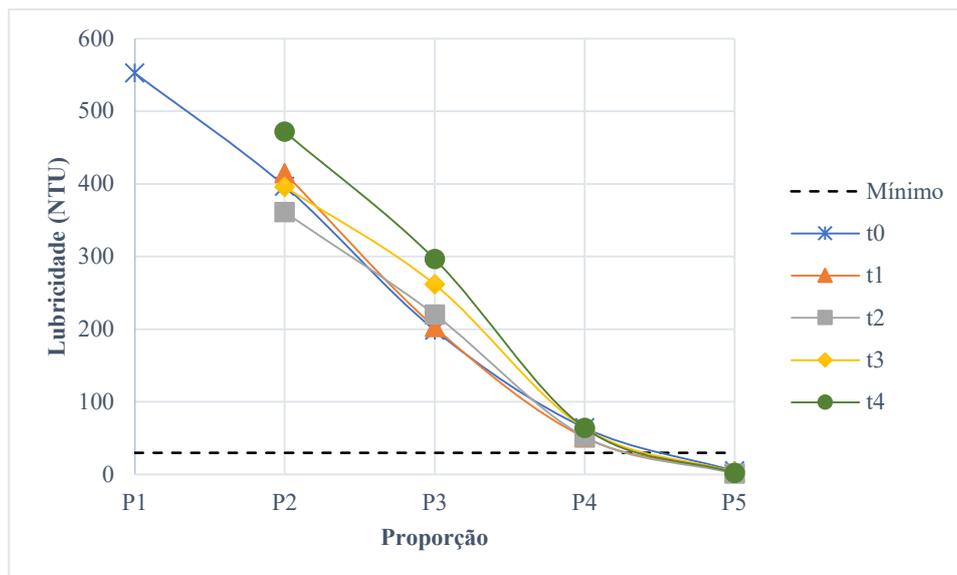


Figura 25 – Lubricidade de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄) de retirada de amostras da estufa.

Os resultados são favoráveis à adição de QAV-5 em ODM, pois verifica-se que é possível adicionar grandes quantidades do querosene no diesel ainda mantendo sua lubricidade dentro do limite desejável: para os estados de degradação do querosene em t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄, o teor de QAV-5 nas misturas com ODM poderia ser de até 89,5%, 86,1%, 85,8%, 89,0% e 88,8% em volume, respectivamente. Nota-se que todos os valores são próximos e, adotando-se um posicionamento conservador, o ideal seria manter o teor de QAV-5 abaixo de 85% nas misturas com ODM. Entretanto, há que se fazer a ressalva que, embora guarde boa correlação com os métodos mecânicos, o FLHT não é o ensaio preconizado na especificação do óleo diesel marítimo para verificar a lubricidade deste combustível. Para se confirmar a adequação das amostras quanto à lubricidade, seria necessário realizar o ensaio de lubricidade pelo método HFRR, especialmente nas amostras P4 e P5 ou em *blends* com proporções intermediárias de QAV-5 e ODM, tendo em vista que o limite de falha estará em misturas com teor acima de 75% em volume de QAV-5.

Por fim, nota-se que o estado de degradação do QAV-5 não impactou de forma direta a lubricidade das misturas. Embora a curva t₄ se inicie em maiores valores de lubricidade, esta diferença reduz à medida que se aumenta o teor de QAV-5 na mistura, até o ponto em que o QAV-5 puro (P5 t₄) possui menor lubricidade que o mesmo querosene em estados menos degradados. Portanto, constata-se que a degradação do QAV-5 não foi a responsável pelo aumento de lubricidade em P2 t₄ e P3 t₄.

O ponto de fluidez, conforme esperado, apresentou significativa redução no sentido de aumento do teor de QAV-5 (Figura 26). Mesmo para o QAV-5, que não possui aditivo

anticongelante, o ponto de fluidez é naturalmente menor que o do ODM, em virtude da menor cadeia carbônica do querosene. Desta forma, a adição de QAV-5 ao ODM é até mesmo desejável em locais de baixas temperaturas, uma vez que reduzem a possibilidade de cristalização do combustível com conseqüente bloqueio das linhas do sistema. Vale lembrar que o baixo ponto de fluidez dos querosenes de aviação foram, inclusive, um dos primeiros motivos pelos quais estes querosenes foram misturados ao óleo diesel no passado (ver item 3.5.1, página 35).

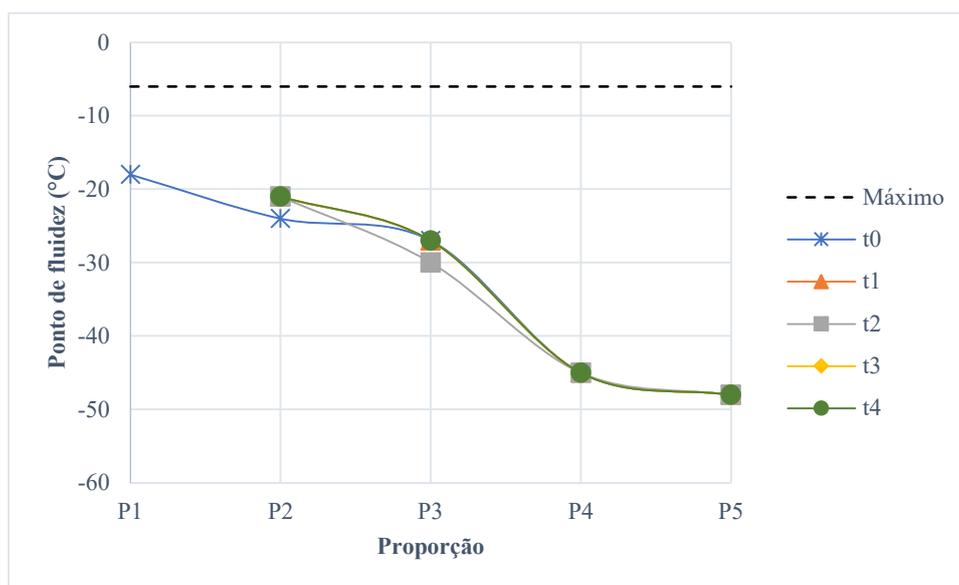


Figura 26 – Ponto de fluidez de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄) de retirada de amostras da estufa.

Muitos dos pontos de fluidez obtidos para cada proporção (P2, P3, P4 e P5) se sobrepõem no gráfico, o que denota que esta propriedade quase não sofreu alteração com o tempo de armazenamento do QAV-5 adicionado à mistura.

Em contraponto, apesar de terem uma contribuição benéfica na redução do ponto de fluidez, as menores cadeias carbônicas do QAV-5 contribuem também para uma redução na sua viscosidade, em relação ao óleo diesel. Assim, em geral, observa-se uma tendência de diminuição da viscosidade com o aumento no teor de QAV-5, de forma que o resultado para o QAV-5 puro chega a ficar até mesmo abaixo do limite mínimo especificado para o ODM (Figura 27). Esta baixa viscosidade pode ocasionar problemas de partida a quente nos motores, bem como vazamentos internos das regiões de alta pressão dos sistemas projetados para operar com óleo diesel, com conseqüente perda de potência nos motores.

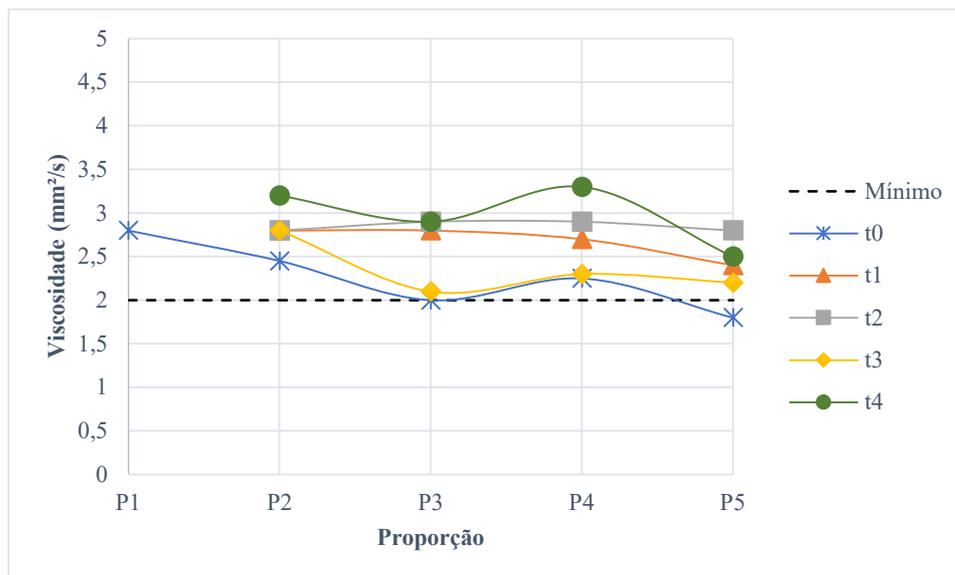


Figura 27 – Viscosidade de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄) de retirada de amostras da estufa.

Nota-se, contudo, que há uma tendência de aumento da viscosidade dos combustíveis e suas misturas, com o avanço do tempo de armazenamento. O aumento de viscosidade é uma mudança comumente observada ao longo do envelhecimento de combustíveis, causada tanto pela perda dos componentes mais leves por vaporização, como pela formação de compostos de cadeias mais longas e complexas, provenientes do processo oxidativo (BALL et al., 2019; ELLIOTT et al., 2012; ZARGHAMI et al., 2016). Tal aumento de viscosidade favorece as misturas com alto teor de QAV-5 e até mesmo este querosene puro, uma vez que o QAV-5 (P5) passa a ficar dentro da faixa aceitável de viscosidade para ODM apenas após envelhecido.

Há que se notar que a curva t₃ constituiu uma exceção à tendência de aumento de viscosidade com o tempo. Esta curva se inicia próxima das curvas t₁ e t₂ para a mistura com maior teor de ODM (P2) e, então, com a adição de QAV-5, ela passa a se aproximar da curva t₀. Este é um importante indício de que o QAV-5 retirado da estufa em t₃ não sofreu envelhecimento na mesma velocidade que as demais amostras. Portanto, tal resultado reforça aqueles obtidos nos ensaios de JFTOT e goma atual, bem como a hipótese para sua causa (ver item 5.3, página 80).

Acompanhando a tendência das características anteriormente avaliadas, a massa específica é a última propriedade na qual se observa redução à medida que se adiciona QAV-5 à mistura (Figura 28). De fato, o limite máximo de 876,8 kg/m³ sequer foi representado no gráfico abaixo, uma vez que os resultados obtidos no presente estudo estão muito abaixo do valor máximo de especificação. Entretanto, vale ressaltar que a substituição de ODM por combustíveis com baixas massas específicas pode acarretar maior consumo nos motores, uma

vez que há menos massa num mesmo volume de combustível a ser injetado para a queima. Desta forma, apesar de a especificação do ODM não prever limite mínimo para a massa específica, é recomendável realizar acompanhamento do consumo de combustível ao se utilizar misturas de ODM com QAV-5, em especial aquelas com maiores teores do querosene.

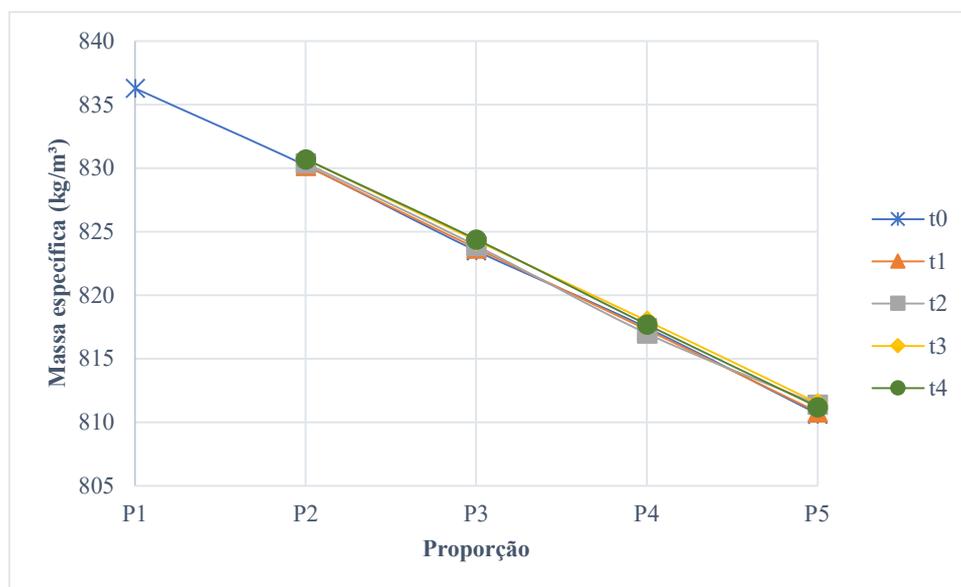


Figura 28 – Massa específica de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄) de retirada de amostras da estufa.

Conforme resultados ilustrados na Figura 28, não foi observada alteração na massa específica em função do envelhecimento do QAV-5 adicionado às misturas com ODM.

A estabilidade à oxidação mede a quantidade de insolúveis formados após um teste no qual o combustível é aquecido e borbulhado com oxigênio, em condições laboratoriais específicas (ver item 3.6.2.1.5, página 49). Portanto, menores valores indicam combustíveis mais estáveis à oxidação. Uma vez que o querosene de aviação tem maior estabilidade térmica e oxidativa do que o óleo diesel, esperar-se-ia que à medida que o teor de QAV-5 na mistura aumentasse, os resultados do ensaio apresentassem menores valores. No entanto, a estabilidade à oxidação oscilou sem uma tendência clara em função do teor de QAV-5 na mistura (Figura 29). Entretanto, é possível observar que a adição de QAV-5 ao ODM melhora a estabilidade oxidativa, visto que o ODM puro gera mais insolúveis que qualquer de suas combinações com o QAV-5.

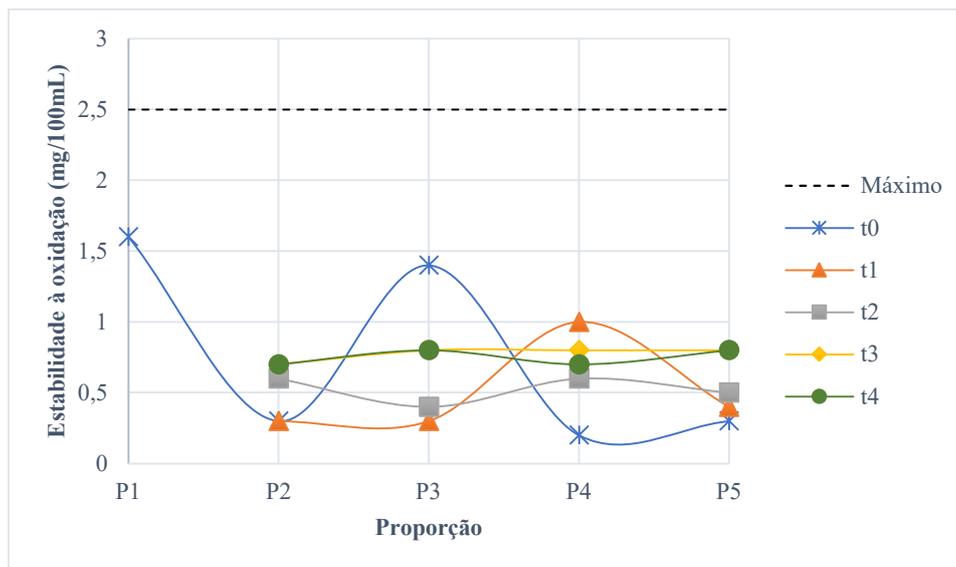


Figura 29 – Estabilidade à oxidação de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄) de retirada de amostras da estufa.

Ademais, há uma tendência geral de aumento da concentração de insolúveis à medida que o QAV-5 envelhece - à exceção dos pontos P3 t₀ e P4 t₁, os quais se encontram visivelmente fora da tendência das respectivas curvas, t₀ e t₁. Esta tendência pode ser melhor visualizada no gráfico nos quais os pontos P3 t₀ e P4 t₁ foram removidos (Figura 30). Tal aumento na concentração de insolúveis é condizente com a maior formação de precursores de depósitos e produtos de degradação devido à oxidação sofrida pelo querosene ao longo de seu armazenamento.

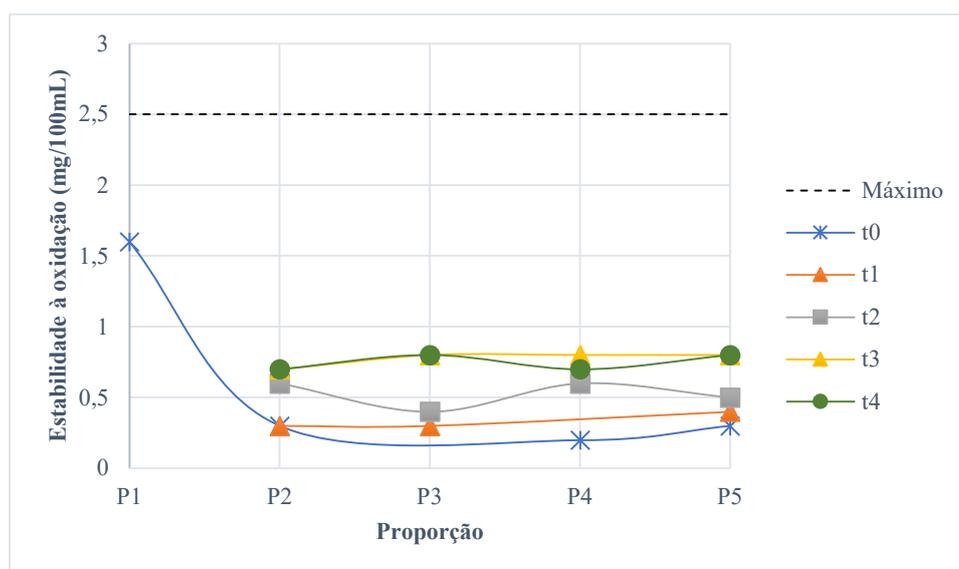


Figura 30 - Estabilidade à oxidação de P1, P2, P3, P4 e P5, em cada momento (t₀, t₁, t₂, t₃ e t₄) de retirada de amostras da estufa, com remoção dos pontos P3 t₀ e P4 t₁.

Por fim, há que se ressaltar que em todas as combinações analisadas, mesmo aquelas nas quais o QAV-5 se encontrava em estado degradado, o combustível atende ao limite de especificação requerido para o ODM. Desta forma, não se espera que a adição de QAV-5 em ODM cause problemas associados à baixa estabilidade oxidativa, tais como maior geração de depósitos e incrustações nos bicos injetores dos motores ou redução no intervalo de substituições de filtros. No entanto, tal constatação se aplica ao QAV-5 em estado de degradação correspondente ao seu armazenamento à temperatura ambiente (20 °C) por até 32 meses. Uma vez que há tendência de deterioração da estabilidade oxidativa à medida que o QAV-5 degrada ao longo do armazenamento, faz-se necessário acompanhar a estabilidade à oxidação do *blend*, caso o QAV-5 a ser adicionado no ODM se encontre em estado de degradação mais avançado que o utilizado neste estudo.

Por fim, não foram observadas alterações significativas para o aspecto visual em termos de limpidez e isenção de impurezas, teor de cinzas, teor de resíduo de carbono nos 10% finais da destilação, número de acidez e ponto de fulgor. Tais propriedades apresentaram pouca ou nenhuma alteração, seja com a adição de QAV-5, seja com o tempo de armazenamento do querosene adicionado às misturas. O aspecto visual se manteve sempre conforme o desejável, límpido e isento de impurezas; os teores de cinzas e de resíduo de carbono e o número de acidez se mantiveram sempre em valores mínimos ou até mesmo abaixo do limite de detecção; e o ponto de fulgor apresentou pouca variação, mantendo-se sempre acima do limite de segurança requerido para os combustíveis armazenados a bordo de navios. Assim, quanto a estas características, quaisquer proporções de mistura de ODM e QAV-5, ou até mesmo o QAV-5 puro, seriam adequadas para uso no sistema de motores a diesel.

6 CONCLUSÕES

O querosene de aviação de alto ponto de fulgor, especial para a Marinha do Brasil (QAV-5) foi submetido à oxidação acelerada, conduzida em estufa à prova de explosão a 50 °C por 16 semanas, simulando o armazenamento do combustível por 32 meses à temperatura ambiente (20 °C). Por meio dos ensaios de *Jet Fuel Thermal Oxidation Test* (JFTOT) e goma atual, realizados a cada 4 semanas, verificou-se que o procedimento de oxidação acelerada foi eficaz e que o QAV-5 sofreu degradação ao longo do armazenamento: o querosene de aviação se tornou inservível para uso em aeronaves ao final do período, apresentando estabilidade térmica comprometida e alta formação de goma após 16 semanas.

O contato com corpos de prova de cuproníquel (CuNi) 90/10 contribuiu para a deterioração do QAV-5, por meio da corrosão da liga metálica e consequente dissolução de cobre no combustível, o qual atua como catalisador do processo oxidativo do querosene. Contudo, em alguns casos, a corrosão dos corpos de prova não foi o fator predominante para a degradação do querosene. Nestes casos, outros fatores, como aquecimento e composição química das amostras, são hipóteses válidas para as causas principais do envelhecimento do QAV-5.

Como impactos da adição do QAV-5 ao óleo diesel marítimo (ODM), observa-se redução nos valores das propriedades: cor ASTM, índice de cetano, teor de enxofre, viscosidade, ponto de fluidez, massa específica e lubricidade. Entretanto, a cor e a viscosidade do QAV-5 tendem a aumentar conforme ele é envelhecido, de forma que esta tendência pode se inverter e, num dado estado de degradação do querosene, as misturas de ODM com QAV-5 possuírem cor mais intensa e maior viscosidade que o ODM puro. As demais propriedades mencionadas não foram afetadas de forma direta pelo envelhecimento do QAV-5.

Não se observou tendência clara de variação da estabilidade à oxidação em função do teor de QAV-5 nas misturas com ODM. Entretanto, todas as misturas com QAV-5 possuem melhor estabilidade oxidativa que o ODM puro. Esta estabilidade, contudo, tende a deteriorar quanto mais oxidado for o QAV-5 utilizado no *blend*.

Não foram observados impactos decorrentes da adição de QAV-5 ao ODM no que diz respeito a: aspecto visual (limpidez e isenção de impurezas), teor de cinzas, resíduo de carbono no resíduo dos 10% finais de destilação, número de acidez e ponto de fulgor.

O QAV-5 puro tem lubricidade muito baixa e não atende à especificação do ODM. A viscosidade do QAV-5 também pode ser menor que a mínima requerida para o ODM, especialmente no querosene de aviação que não sofreu processo oxidativo significativo. Assim, exceto no caso de motores diesel para os quais o emprego de querosene de aviação é expressamente permitido, não é aconselhável a utilização de QAV-5 puro.

Com base nos resultados apresentados neste estudo, conclui-se que QAV-5 armazenado por até 32 meses à temperatura ambiente (20 °C) pode ser utilizado em misturas com ODM num teor de até 85% em volume sem danificar o sistema de combustível de motores marítimos a diesel, uma vez que tais misturas permanecem dentro dos limites de especificação do ODM. Ao se avaliar a lubricidade das misturas de ODM com QAV-5 em diferentes estados de degradação, verificou-se que o teor de QAV-5 nos *blends* poderia ser de até 89,5%, 86,1%, 85,8%, 89,0% e 88,8%, para os estados de degradação do querosene em 0, 4, 8, 12 e 16 semanas de oxidação acelerada, respectivamente. No entanto, deve-se enfatizar que a lubricidade foi medida pelo *Fuel Lubricity Haze Test* (FLHT) neste estudo, ao passo que a especificação do ODM requer medição de lubricidade pelo método mecânico *High-Frequency Reciprocating Rig* (HFRR). Portanto, seria aconselhável investigar lubricidades de misturas de QAV-5 e ODM com teor volumétrico de QAV-5 acima de 75% pelo teste padrão HFRR, a fim de garantir o teor máximo do querosene de aviação que pode ser adicionado ao óleo diesel marítimo sem comprometer a lubricidade da mistura.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como temas para trabalhos futuros, sugere-se:

- Promover a oxidação acelerada de QAV-5 em estufa com distribuição homogênea de calor, preferencialmente com prateleiras vazadas, a fim de possibilitar que todas as amostras de querosene degradem na mesma velocidade;

- Identificar a concentração de metais em QAV-5 no nível de partes por bilhão (ppb), ao longo do armazenamento do combustível, com o objetivo de correlacionar os níveis de oxidação do querosene às diferenças na concentração dos metais provenientes da corrosão do cuproníquel em contato com o QAV-5;

- Acompanhar a estabilidade à oxidação de misturas de ODM com QAV-5 em estado de degradação correspondente ao do querosene armazenado por mais que 32 meses a 20 °C;

- Realizar ensaio de lubricidade pelo método HFRR em misturas de ODM e QAV-5 com mais de 75% em volume do querosene, a fim de comprovar o teor máximo de QAV-5 que pode ser adicionado ao óleo diesel marítimo sem comprometer a lubricidade da mistura, conforme o método padrão exigido pela especificação do ODM; e

- Realizar testes de desempenho utilizando as misturas de ODM e QAV-5 em motores de bancada, a fim de monitorar o consumo de combustível e a potência desenvolvida no motor, para diferentes teores de QAV-5 na mistura.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **ABNT NBR 14525:2012: Combustíveis - Determinação de goma por evaporação.** ABNT Coleção, 2012.

ADAMS, R. K. et al. Chemical Analysis of Jet Fuel Polar, Heteroatomic Species via High-Performance Liquid Chromatography with Electrospray Ionization – Mass Spectrometric Detection. v. 27, p. 19, 2013.

AKSOY, P. et al. Insight into the mechanisms of middle distillate fuel oxidative degradation. Part 2: On the relationship between jet fuel thermal oxidative deposit, soluble macromolecular oxidatively reactive species, and smoke point. **Energy and Fuels**, v. 23, n. 4, p. 2047–2051, 16 abr. 2009.

AMINANE, S. et al. Experimental study of the kinetics of degradation of n-dodecane under thermo-oxidative stress at low temperature and mechanism inferred. **Fuel**, v. 307, p. 121669, 1 jan. 2022.

ANP. **Resolução nº 50, de 23 de dezembro de 2013.** 2013.

ANP. **Óleo Diesel.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/oleo-diesel>>. Acesso em: 14 set. 2022a.

ANP. **Combustíveis de aviação.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/combustiveis-de-aviacao>>. Acesso em: 14 set. 2022b.

ANP. **Resolução Nº 856 de 22 de outubro de 2021.** 2021.

ANP. **Resolução nº 903, de 18 de novembro de 2022.** 2022a.

ANP. **Resolução nº 895, de 18 de novembro de 2022.** 2022b.

ANP. **Síntese Mensal de Comercialização de Combustíveis.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/sinteses/scc/2022/sintese-de-comercializacao-de-combustiveis-junho22-vf.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2022c.

ANP. **Preços médios ponderados semanais praticados por produtores e importadores de derivados de petróleo e biodiesel.** Disponível em:

<<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-produtores-e-importadores-de-derivados-de-petroleo>>. Acesso em: 14 set. 2022d.

ASTM. **ASTM D2274-14: Standard Test Method for Oxidation Stability of Distillate Fuel Oil (Accelerated Method)**. ASTM International, 2014. Disponível em: <www.astm.org>

ASTM. **ASTM G1-03 - Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test**. ASTM International, 2017.

ASTM. **ASTM B111/B111M – Standard Specification for Copper and Copper-Alloy Seamless Condenser Tubes and Ferrule Stock**. ASTM International, 2018. Disponível em: <www.astm.org>

ASTM. **ASTM D7545-14: Standard Test Method for Oxidation Stability of Middle Distillate Fuels-Rapid Small Scale Oxidation Test (RSSOT)**. ASTM International, 2019. Disponível em: <<http://www.iso.org>>

ASTM. **ASTM D93-20: Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester**. ASTM International, 2020a.

ASTM. **ASTM D3241 – 20c Standard Test Method for Thermal Oxidation Stability of Aviation Turbine Fuels**. ASTM International, 2020b. Disponível em: <<http://www.iso.org>>

ASTM. **ASTM D5304-20: Standard Test Method for Assessing Middle Distillate Fuel Storage Stability by Oxygen Overpressure**. ASTM International, 2020c. Disponível em: <www.astm.org>

ASTM. **ASTM D7739-11: Standard Practice for Thermal Oxidative Stability Measurement via Quartz Crystal Microbalance**. ASTM International, 2020d.

ASTM. **ASTM D4625-21: Standard Test Method for Middle Distillate Fuel Storage Stability at 43 °C (110 °F)**. ASTM International, 2021. Disponível em: <www.astm.org>

ASTM. **ASTM D381-22: Standard Test Method for Gum Content in Fuels by Jet Evaporation**. ASTM International, 2022a.

ASTM. **ASTM D6079-22: Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR)**. ASTM International, 2022b. Disponível em: <<http://www.ansi.org>>

ASTM. **ASTM D873-22: Standard Test Method for Oxidation Stability of Aviation Fuels (Potential Residue Method)**. ASTM International, 2022c. Disponível em: <www.astm.org>

BALL, J. C. et al. Oxidation of Soybean Biodiesel Fuel in Diesel Engine Oils. **SAE International Journal of Fuels and Lubricants**, v. 12, n. 3, p. 223–238, 2019.

BEAVER, B. et al. On the mechanisms of formation of thermal oxidative deposits in jet fuels. Are unified mechanisms possible for both storage and thermal oxidative deposit formation for middle distillate fuels? **Energy and Fuels**, v. 19, n. 4, p. 1574–1579, jul. 2005.

BEN AMARA, A.; KAOUBI, S.; STARCK, L. Toward an optimal formulation of alternative jet fuels: Enhanced oxidation and thermal stability by the addition of cyclic molecules. **Fuel**, v. 173, p. 98–105, 1 jun. 2016.

BESSEE, G. B.; WILSON, G. R.; O'BRIEN, S. **STORAGE STABILITY OF JET FUEL NOT CONTAINING ANTI-OXIDANT (AO). INTERIM REPORT TFLRF N° 421**. San Antonio.

BOWDEN, J. N.; OWENS, E. C.; LEPERA, M. E. **JP-8 and JP-5 as Compression Ignition Engine Fuel**. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA150796>>. Acesso em: 9 ago. 2022.

BOWDEN, J. N.; WESTBROOK, S. R.; LEPERA, M. E. Jet Kerosene Fuels for Military Diesel Application. **SAE Transactions**, v. 98, p. 810–832, 1989.

CHATELAIN, K. et al. Structure-Reactivity Relationships in Fuel Stability: Experimental and Kinetic Modeling Study of Isoparaffin Autoxidation. **Energy and Fuels**, v. 32, n. 9, p. 9415–9426, 20 set. 2018.

CHENG, C. P. et al. Spectrophotometric studies of storage stability of jet fuel. **Fuel**, v. 68, n. 2, p. 264–267, 1 fev. 1989.

CLARK, R. H. **The role of a metal deactivator in improving the thermal stability of aviation kerosines**. 3rd International Conference on Stability and Handling of Liquid Fuels.

Anais...1988. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA269893>>. Acesso em: 31 jul. 2023

COLTHORPE, P. **Naval Fuel Oil**. Disponível em: <<https://navyhistory.org.au/naval-fuel-oil/>>. Acesso em: 24 out. 2022.

COMMODO, M. et al. Spectroscopic study of aviation jet fuel thermal oxidative stability. **Energy and Fuels**, v. 24, n. 12, p. 6437–6441, 16 dez. 2010.

DIRETORIA DE ENGENHARIA NAVAL. **ENGENALMARINST Nº 05-10E - Recebimento, armazenagem, manuseio e controle de qualidade em serviço de lubrificantes, fluidos hidráulicos e combustíveis marítimos e aeronavais**. Marinha do Brasil, 2021. Acesso em: 11 ago. 2022

ELLIOTT, D. C. et al. Results of the IEA Round Robin on Viscosity and Aging of Fast Pyrolysis Bio-oils: Long-Term Tests and Repeatability. **Energy & Fuels**, v. 26, n. 12, p. 7362–7366, 20 dez. 2012.

FAITH, L. E.; ACKERMAN, G. H.; HENDERSON, H. T. **Heat sink capability of jet A fuel - Heat transfer and coking studies**. Emeryville. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19710022006>>. Acesso em: 7 set. 2023.

GARRETT, R. K. **Is a Single Fuel on the Battlefield Still a Viable Option?** Washington. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA276757>>. Acesso em: 18 ago. 2022.

GIANNINI, R. M. et al. **SINGLE NAVAL FUEL AT-SEA FEASIBILITY STUDY - PHASE ONE**. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA416087>>. Acesso em: 9 ago. 2022.

GILES, H. N.; FORESTER, DAVID R. **The Significance of Tests for Petroleum Products. Chapter 9: Methods for assessing stability and cleanliness of liquid fuels**. 7. ed. ASTM International, 2010.

HARDY, D. R. et al. Assessing distillate fuel storage stability by oxygen overpressure. **Energy & Fuels**, v. 3, n. 1, p. 20–24, 1989.

HARDY, D. R. **Development of a Fuel Lubricity Haze Test (FLHT) for Naval Applications**. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA495847>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

HARDY, D. R.; WECHTER, M. A. Insoluble Sediment Formation in Middle-Distillate Diesel Fuel: The Role of Soluble Macromolecular Oxidatively Reactive Species. **Energy and Fuels**, v. 4, n. 3, p. 270–274, 1 mai. 1990.

HARDY, D. R.; WECHTER, M. A. Characterization of Soluble Macromolecular Oxidatively Reactive Species (SMORS) from Middle Distillate Diesel Fuels: Their Origin and Role in Instability. **Energy and Fuels**, v. 8, n. 3, p. 782–787, 1 mai. 1994.

HAZLETT, R. N. **Thermal Oxidation Stability of Aviation Turbine Fuels**. American Society for Testing and Materials, 1991.

HENEGHAN, S. P.; ZABARNICK, S. Oxidation of jet fuels and the formation of deposit. **Fuel**, v. 73, n. 1, p. 35–43, 1 jan. 1994.

IMO. **International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) - Chapter II-2 - Fire protection, fire detection and fire extinction**. 1974.

ISO. **ISO 8217:2017: Petroleum products — Fuels (class F) — Specifications of marine fuels**. International Classification for Standards, 2017.

JIMENEZ, E. F.; WALTERS, J. T.; LESSNER, D. P. **Single fuel concept for maritime operations: Effects on tactical and operational readiness and sustainment through simulation and analysis**. Monterey: NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2020.

KABANA, C. **Thermal Oxidative Stability of Middle Distillate Fuels: Chemistry of Deposit Formation & Stabilization**. Pittsburgh: Duquesne University, mai. 2012.

KLAVETTER, E. A.; MARTIN, S. J.; WESSENDORF, K. O. Monitoring Jet Fuel Thermal Stability Using a Quartz Crystal Microbalance. **Energy and Fuels**, v. 7, n. 5, p. 582–588, 1993.

KORRES, D. M. et al. Aviation fuel JP-5 and biodiesel on a diesel engine. **Fuel**, v. 87, n. 1, p. 70–78, 1 jan. 2008.

LI, D. et al. Spectroscopic studies on thermal-oxidation stability of hydrocarbon fuels. **Fuel**, v. 87, n. 15–16, p. 3286–3291, 1 nov. 2008.

LYNN, N. F. et al. **The Past and Future of Navy Ship Fuels**. Marine Fuels. **Anais...**100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959; ASTM

International, 1 jan. 1985. Disponível em: <<http://www.astm.org/doiLink.cgi?STP35273S>>. Acesso em: 25 out. 2022

MAYO, F. R.; LAN, B. Y. Gum and Deposit Formation from Jet Turbine and Diesel Fuels at 130°C. **Industrial and Engineering Chemistry Product Research and Development**, v. 25, n. 2, p. 333–348, 1986.

MAYO, F. R.; LAN, B. Y. Gum and Deposit Formation from Jet Turbine and Diesel Fuels at 100 °C. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 26, n. 2, p. 215–220, 1 fev. 1987.

MORRIS, R. E. et al. Significance of Copper Complex Thermal Stability in the Use of Metal Deactivators at Elevated Temperatures. **Energy & Fuels**, v. 12, n. 2, p. 371–378, 1 mar. 1998.

MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH. **Fluids and Lubricants Specifications: All Commercial MTU Series Diesel Engines (including Marine), DDC S60 Off Highway and Two-Stroke Cycle Engines Excluding mtu Series 1000-1600, 1800**. v. A001061/41E

NAEGELI, D. W. **THERMAL STABILITY OF JET FUELS: KINETICS OF FORMING DEPOSIT PRECURSORS. FINAL REPORT. NASA Contract n° NAG 3-1739**. San Antonio. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19970025575>>.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION. Chapter 15: Fuels, Oils, Lubricants and Petroleum Handling Equipment. Military Fuels and the Single Fuel Concept. Em: **NATO Logistics Handbook**. 3. ed. Bruxelas.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION. **STANAG 3747: Guide Specifications (Minimum Quality Standards) for Aviation Turbine Fuels (F-24, F-27, F-34, F-35, F-37, F-40 and F-44)**. 2017.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION. **STANAG 1385: Guide Specification (Minimum Quality Standards) for Naval Distillate Fuels (F-75 and F-76)**. 2020.

PANDE, S. G.; HARDY, D. R. Effect of Copper, MDA, and Accelerated Aging on Jet Fuel Thermal Stability As Measured by the Gravimetric JFTOT. **Energy and Fuels**, v. 9, n. 1, p. 177–182, 1995.

PANDE, S. G.; HARDY, D. R. Comparison of the effects of storage in the presence of copper using laboratory vs field conditions on jet fuel thermal stability as measured by the gravimetric JFTOT. **Energy and Fuels**, v. 11, n. 5, p. 1019–1025, 1997.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. COMBUSTÍVEIS MARÍTIMOS - Informações Técnicas. 2021.

SERMARINI, J. T. **The Universal Fuel at Sea: Replacing F-76 with JP-5**. Monterey: Naval Postgraduate School, 1 jun. 2000.

SHI, Z. et al. Optical diagnostics of low-temperature ignition and combustion characteristics of diesel/kerosene blends under cold-start conditions. **Applied Energy**, v. 251, 1 out. 2019.

SICARD, M. et al. **Oxidation stability of jet fuel model molecules evaluated by rapid small scale oxidation tests**. 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON STABILITY, HANDLING AND USE OF LIQUID FUELS. **Anais...**Rhodes: 6 out. 2013.

SMITH, J. D. The Effect of Metals and Alloys on the Thermal Stability of Avtur 50: An evaluation of the effects of the materials used in fuel distribution systems on the thermal stability of the fuel and their importance in relation to supersonic transport requirements. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, v. 39, n. 4, p. 19–26, 1 abr. 1967.

SOBKOWIAK, M. et al. Insight into the mechanisms of middle distillate fuel oxidative degradation. Part 1: On the role of phenol, indole, and carbazole derivatives in the thermal oxidative stability of fischer-tropsch/petroleum jet fuel blends. **Energy and Fuels**, v. 23, n. 4, p. 2041–2046, 16 abr. 2009.

SONG, C. et al. Pyrolytic Degradation Studies of a Coal-Derived and a Petroleum-Derived Aviation Jet Fuel. **Energy and Fuels**, v. 7, n. 2, p. 234–243, 1993.

STAVINOHA, L. L.; WESTBROOK, S. R. Accelerated Stability Test Techniques for Middle Distillate Fuels. Em: STAVINOHA, L. L.; HENRY, C. P. (Eds.). **Distillate Fuel Stability and Cleanliness**. ASTM STP 751 ed. ASTM International, 1981. p. 3–21.

TAYLOR, W. F. Kinetics of deposit formation from hydrocarbons. III. Heterogeneous and homogeneous metal effects. **Journal of Applied Chemistry**, v. 18, n. 8, p. 251–254, 4 mai. 2007.

TOSH, J. D.; MOULTON, D. S.; MOSES, C. A. **NAVY FUEL SPECIFICATION STANDARDIZATION**. San Antonio. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA248542>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

UNITED KINGDOM MINISTRY OF DEFENCE. **Defence Standard 02-319: Requirements for Aviation Fuel Systems in HM Surface Ships**. United Kingdom Standardization Management Information System, 14 mar. 2020.

UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE. **MIL-DTL-16884N. DETAIL SPECIFICATION: FUEL, NAVAL DISTILLATE**. Qualified Product Listing, 2014. Disponível em: <http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-16884N_50645/>. Acesso em: 19 set. 2022

UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE. **MIL-DTL-83133J. DETAIL SPECIFICATION: TURBINE FUEL, AVIATION, KEROSENE TYPE, JP-8 (NATO F-34), NATO F-35, and JP-8+100 (NATO F-37)**. 2015. Disponível em: <http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-83133J_53582/>. Acesso em: 19 set. 2022

UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE. **MIL-DTL-5624W. DETAIL SPECIFICATION: TURBINE FUEL, AVIATION, GRADES JP-4 AND JP-5**. 2016. Disponível em: <http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-5624W_55741/>. Acesso em: 19 set. 2022

WEST, Z. J.; ADAMS, R. K.; ZABARNICK, S. Homogeneous Catalysis of Liquid-Phase Hydroperoxide Decomposition in Hydrocarbons. **Energy & Fuels**, v. 25, n. 3, p. 897–904, 17 mar. 2011.

ZABARNICK, S. et al. Studies of the Role of Heteroatomic Species in Jet Fuel Thermal Stability: Model Fuel Mixtures and Real Fuels. **Energy and Fuels**, v. 33, n. 9, p. 8557–8565, 19 set. 2019.

ZARGHAMI, M. et al. Effects of Fuel Aging on the Combustion Performance and Emissions of a Pyrolysis Liquid Biofuel and Ethanol Blend in a Swirl Burner. **Energy & Fuels**, v. 30, n. 3, p. 2209–2215, 17 mar. 2016.

ANEXO A – CERTIFICADOS DE ENSAIO DA CHRONION ANÁLISES QUÍMICAS E COMÉRCIO LTDA.



CHRONION ANÁLISES QUÍMICAS E COMÉRCIO LTDA.
 Rua Nilo Fávaro, 89 - Centro
 CEP 83420-000 - Quatro Barras - PR
 email: chronion@uol.com.br - www.chronion.com.br
 fone: (41) 3672 1367 - whatsapp: (41) 98421 0456

CERTIFICADO DE ENSAIO

PRODUTO:	QUEROSENE DE AVIAÇÃO JP-5		
DATA DA AMOSTRAGEM:	26/07/2023	Nº. CERTIFICADO:	1130/23
DATA DO RECEBIMENTO:	31/07/2023	ANALISTA:	Katia
PERÍODO DE ANÁLISE:	31/07 a 03/08/23	AMOSTRADO POR:	CLIENTE
DATA DE EMISSÃO:	03/08/2023	(C.P) - LACRE Nº.:	0056859
SOLICITANTE:	FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA JOSÉ BONIFÁCIO		
ORIGEM:	TEMPO 00		

ENSAIOS	RESULTADOS	LIMITES (*)	MÉTODOS
Estab. Térmica - Depósito cor no tubo (2)	Ause	AUSE (1)	ASTM D3241
Estab. Térm.- Queda de pressão filtro (2)	0,02	25,0 mmHg - máx.	ASTM D3241
Estab. Térm.- Deposito no Tubo (2)	<1	<3	ASTM D3241

Observações:

Produto atende às especificações, relativamente aos ensaios realizados.

- (1) Sem depósito de cor anormal ou de pavão.
 (2) Estabilidade Térmica à 260°C. (JFTOT)

Este certificado refere-se à amostra especificada acima, conforme origem identificada pelo cliente, possuindo Contra prova lacrada em poder da Chronion por 30 dias, a partir da data de emissão deste.

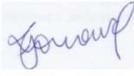
JOSÉ LOURENÇO JUNIOR
 CRQ 09400075 - 9a. Região

ENSAIOS EM COMBUSTÍVEIS E DERIVADOS DE PETRÓLEO



CHRONION ANÁLISES QUÍMICAS E COMÉRCIO LTDA.
 Rua Nilo Fávaro, 89 - Centro
 CEP 83420-000 - Quatro Barras - PR
 email: chronion@uol.com.br - www.chronion.com.br
 fone: (41) 3672 1367 - whatsapp: (41) 98421 0456

CERTIFICADO DE ENSAIO

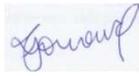
PRODUTO:		QUEROSENE DE AVIAÇÃO JP-5	
DATA DA AMOSTRAGEM:	26/07/2023	Nº. CERTIFICADO:	1131/23
DATA DO RECEBIMENTO:	31/07/2023	ANALISTA:	Katia
PERÍODO DE ANÁLISE:	31/07 a 03/08/23	AMOSTRADO POR:	CLIENTE
DATA DE EMISSÃO:	03/08/2023	(C.P) - LACRE Nº.:	0056860
SOLICITANTE:	FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA JOSÉ BONIFÁCIO		
ORIGEM:	TEMPO 01		
ENSAIOS	RESULTADOS	LIMITES (*)	MÉTODOS
Estab. Térmica - Depósito cor no tubo (2)	Ause	AUSE (1)	ASTM D3241
Estab. Térm.- Queda de pressão filtro (2)	0,00	25,0 mmHg - máx.	ASTM D3241
Estab. Térm.- Deposito no Tubo (2)	<1	<3	ASTM D3241
Observações:			
Produto atende às especificações, relativamente aos ensaios realizados.			
(1) Sem depósito de cor anormal ou de pavão. (2) Estabilidade Térmica à 260°C. (JFTOT)			
Este certificado refere-se à amostra especificada acima, conforme origem identificada pelo cliente, possuindo Contra prova lacrada em poder da Chronion por 30 dias, a partir da data de emissão deste.		JOSÉ LOURENÇO JUNIOR CRQ 09400075 - 9a. Região	

ENSAIOS EM COMBUSTÍVEIS E DERIVADOS DE PETRÓLEO



CHRONION ANÁLISES QUÍMICAS E COMÉRCIO LTDA.
 Rua Nilo Fávaro, 89 - Centro
 CEP 83420-000 - Quatro Barras - PR
 email: chronion@uol.com.br - www.chronion.com.br
 fone: (41) 3672 1367 - whatsapp: (41) 98421 0456

CERTIFICADO DE ENSAIO

PRODUTO:		QUEROSENE DE AVIAÇÃO JP-5	
DATA DA AMOSTRAGEM:	26/07/2023	Nº. CERTIFICADO:	1132/23
DATA DO RECEBIMENTO:	31/07/2023	ANALISTA:	Katia
PERÍODO DE ANÁLISE:	31/07 a 03/08/23	AMOSTRADO POR:	CLIENTE
DATA DE EMISSÃO:	03/08/2023	(C.P) - LACRE Nº.:	0056861
SOLICITANTE:	FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA JOSÉ BONIFÁCIO		
ORIGEM:	TEMPO 02		
ENSAIOS	RESULTADOS	LIMITES (*)	MÉTODOS
Estab. Térmica - Depósito cor no tubo (2)	Ause	AUSE (1)	ASTM D3241
Estab. Térm.- Queda de pressão filtro (2)	0,19	25,0 mmHg - máx.	ASTM D3241
Estab. Térm.- Deposito no Tubo (2)	<1	<3	ASTM D3241
Observações:			
Produto atende às especificações, relativamente aos ensaios realizados.			
(1) Sem depósito de cor anormal ou de pavão. (2) Estabilidade Térmica à 260°C. (JFTOT)		 JOSÉ LOURENÇO JUNIOR CRQ 09400075 - 9a. Região	
Este certificado refere-se à amostra especificada acima, conforme origem identificada pelo cliente, possuindo Contra prova lacrada em poder da Chronion por 30 dias, a partir da data de emissão deste.			

ENSAIOS EM COMBUSTÍVEIS E DERIVADOS DE PETRÓLEO



CHRONION ANÁLISES QUÍMICAS E COMÉRCIO LTDA.
 Rua Nilo Fávaro, 89 - Centro
 CEP 83420-000 - Quatro Barras - PR
 email: chronion@uol.com.br - www.chronion.com.br
 fone: (41) 3672 1367 - whatsapp: (41) 98421 0456

CERTIFICADO DE ENSAIO

PRODUTO:	QUEROSENE DE AVIAÇÃO JP-5		
DATA DA AMOSTRAGEM:	26/07/2023	Nº. CERTIFICADO:	1133/23
DATA DO RECEBIMENTO:	31/07/2023	ANALISTA:	Katia
PERÍODO DE ANÁLISE:	31/07 a 03/08/23	AMOSTRADO POR:	CLIENTE
DATA DE EMISSÃO:	03/08/2023	(C.P) - LACRE Nº.:	0056862
SOLICITANTE:	FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA JOSÉ BONIFÁCIO		
ORIGEM:	TEMPO 03		

<u>ENSAIOS</u>	<u>RESULTADOS</u>	<u>LIMITES (*)</u>	<u>MÉTODOS</u>
Estab. Térmica - Depósito cor no tubo (2)	Ause	AUSE (1)	ASTM D3241
Estab. Térm.- Queda de pressão filtro (2)	0,00	25,0 mmHg - máx.	ASTM D3241
Estab. Térm.- Deposito no Tubo (2)	<1	<3	ASTM D3241

Observações:

Produto atende às especificações, relativamente aos ensaios realizados.

(1) Sem depósito de cor anormal ou de pavão.

(2) Estabilidade Térmica à 260°C. (JFTOT)

Este certificado refere-se à amostra especificada acima, conforme origem identificada pelo cliente, possuindo Contra prova lacrada em poder da Chronion por 30 dias, a partir da data de emissão deste.

JOSÉ LOURENÇO JUNIOR
 CRQ 09400075 - 9a. Região

ENSAIOS EM COMBUSTÍVEIS E DERIVADOS DE PETRÓLEO



CHRONION ANÁLISES QUÍMICAS E COMÉRCIO LTDA.
 Rua Nilo Fávaro, 89 - Centro
 CEP 83420-000 - Quatro Barras - PR
 email: chronion@uol.com.br - www.chronion.com.br
 fone: (41) 3672 1367 - whatsapp: (41) 98421 0456

CERTIFICADO DE ENSAIO

PRODUTO:		QUEROSENE DE AVIAÇÃO JP-5	
DATA DA AMOSTRAGEM:	26/07/2023	Nº. CERTIFICADO:	1134/23
DATA DO RECEBIMENTO:	31/07/2023	ANALISTA:	Katia
PERÍODO DE ANÁLISE:	31/07 a 03/08/23	AMOSTRADO POR:	CLIENTE
DATA DE EMISSÃO:	03/08/2023	(C.P) - LACRE Nº.:	0056862
SOLICITANTE:	FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA JOSÉ BONIFÁCIO		
ORIGEM:	TEMPO 04		
ENSAIOS	RESULTADOS	LIMITES (*)	MÉTODOS
Estab. Térmica - Depósito cor no tubo (2)	Code P (**)	AUSE (1)	ASTM D3241
Estab. Térm.- Queda de pressão filtro (2)	0,07	25,0 mmHg - máx.	ASTM D3241
Estab. Térm.- Deposito no Tubo (2)	>4	<3	ASTM D3241
Observações:			
Estabilidade térmica, fora de especificação. (**) Com depósito de cor pavão no tubo.			
(1) Sem depósito de cor anormal ou de pavão. (2) Estabilidade Térmica à 260°C. (JFTOT)			
Este certificado refere-se à amostra especificada acima, conforme origem identificada pelo cliente, possuindo Contra prova lacrada em poder da Chronion por 30 dias, a partir da data de emissão deste.			
			 JOSÉ LOURENÇO JUNIOR CRQ 09400075 - 9a. Região

ENSAIOS EM COMBUSTÍVEIS E DERIVADOS DE PETRÓLEO

ANEXO B – CERTIFICADOS DE ENSAIO DO DEPCMRJ

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
	CERTIFICADO DE ANÁLISES	Pág.: 01 de 01

OM Solicitante	Produto	Número de amostras	
DEN	ODM	02	
Número do SAC	Data da Amostragem	Data do Recebimento	
N/I	12/03/2023	13/03/2023	
Amostrador	Número do certificado	Condições Ambientais	Propósito
N/I	159/2023	20°C	ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados				
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	P1	P1	-	-	
				[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	-	-	
Aparência	Aspecto	-				[c] ^[1]	[c] ^[1]	-	-	
	Água Livre	-	NBR 14954	ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
	Sedimentos	-			AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-	
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	1,4 ^[1]	1,4 ^[1]	-	-	
Massa específica a 20°C	kg/m ³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/D4052	-	876,8	836,2 ^[1]	836,4 ^[1]	-	-	
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	65,0 ^[1]	65,0 ^[1]	-	-	
Viscosidade a 40°C	mm ² /s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	3,2 ^[1]	2,4 ^[1]	-	-	

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[c] = O produto deve ser limpo em temperatura ambiente normal.

Analista: [1] – CB-QI JARAL HUANA FARIAS DO ESPÍRITO SANTO

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

RESULTADO:

A amostra P1, proveniente da DEN, enquadra-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão: 05/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

RENATA MAYER BARBOSA FERNANDES
Primeiro-Tenente (RM2-T)
Encarregada da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 01

OM Solicitante	Produto	Número de amostras	
DEN	ODM	02	
Número do SAC	Data da Amostragem	Data do Recebimento	
N/I	12/03/2023	13/03/2023	
Amostrador	Número do certificado	Condições Ambientais	Propósito
N/I	160/2023	20°C	ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados				
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	P2	P2	-	-	
Aparência	Aspecto	-		[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	-	-	
	Água Livre	-	NBR 14954	ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
	Sedimentos	-			AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-	
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	1,2 ^[1]	1,2 ^[1]	-	-	
Massa específica a 20°C	kg/m ³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/D4052	-	876,8	830,1 ^[1]	830,3 ^[1]	-	-	
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	65,0 ^[1]	65,0 ^[1]	-	-	
Viscosidade a 40°C	mm ² /s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	2,6 ^[1]	2,3 ^[1]	-	-	

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[c] = O produto deve ser limpo em temperatura ambiente normal.

Analista: [1] – CB-QI JARAL HUANA FARIAS DO ESPÍRITO SANTO

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

RESULTADO:

A amostra P2, proveniente da DEN, enquadra-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão: 05/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

RENATA MAYER BARBOSA FERNANDES
Primeiro-Tenente (RM2-T)
Encarregada da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 01

OM Solicitante	Produto	Número de amostras	
DEN	ODM	02	
Número do SAC	Data da Amostragem	Data do Recebimento	
N/I	12/03/2023	13/03/2023	
Amostrador	Número do certificado	Condições Ambientais	Propósito
N/I	161/2023	20°C	ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados				
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	P3	P3	-	-	
Aparência	Aspecto	-		[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	-	-	
	Água Livre	-	NBR 14954	ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
	Sedimentos	-			AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-	
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	0,9 ^[1]	0,9 ^[1]	-	-	
Massa específica a 20°C	kg/m ³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/D4052	-	876,8	823,4 ^[1]	823,6 ^[1]	-	-	
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	65,0 ^[1]	65,0 ^[1]	-	-	
Viscosidade a 40°C	mm ² /s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	1,8 ^[1]	2,1 ^[1]	-	-	

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

[c] = O produto deve ser limpo em temperatura ambiente normal.

Analista: [1] – CB-QI JARAL HUANA FARIAS DO ESPÍRITO SANTO

RESULTADO:

A amostra P3, proveniente da DEN, não se enquadra na ENGENALMARINST 05-10E quanto à viscosidade da primeira amostra.

Data da emissão: 05/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

RENATA MAYER BARBOSA FERNANDES
Primeiro-Tenente (RM2-T)
Encarregada da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO	REVISÃO 00
	Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	17/12/2021
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 01

OM Solicitante	Produto	Número de amostras	
DEN	ODM	02	
Número do SAC	Data da Amostragem	Data do Recebimento	
N/I	12/03/2023	13/03/2023	
Amostrador	Número do certificado	Condições Ambientais	Propósito
N/I	162/2023	20°C	ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados				
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	P4	P4	-	-	
				[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	-	-	
Aparência	Aspecto	-				[c] ^[1]	[c] ^[1]	-	-	
	Água Livre	-	NBR 14954	ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
	Sedimentos	-			AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-	
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	0,6 ^[1]	0,6 ^[1]	-	-	
Massa específica a 20°C	kg/m ³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/D4052	-	876,8	817,3 ^[1]	817,6 ^[1]	-	-	
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	64,0 ^[1]	65,0 ^[1]	-	-	
Viscosidade a 40°C	mm ² /s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	1,8 ^[1]	2,7 ^[1]	-	-	

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[c] = O produto deve ser limpo em temperatura ambiente normal.

Analista: [1] – CB-QI JARAL HUANA FARIAS DO ESPÍRITO SANTO

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

RESULTADO:

A amostra P4, proveniente da DEN, não se enquadra na ENGENALMARINST 05-10E quanto à viscosidade da primeira amostra.

Data da emissão: 05/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

RENATA MAYER BARBOSA FERNANDES
Primeiro-Tenente (RM2-T)
Encarregada da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO	REVISÃO 00 17/12/2021
	Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 01

OM Solicitante	Produto	Número de amostras	
DEN	ODM	02	
Número do SAC	Data da Amostragem	Data do Recebimento	
N/I	12/03/2023	13/03/2023	
Amostrador	Número do certificado	Condições Ambientais	Propósito
N/I	163/2023	20°C	ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados				
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	P5	P5	-	-	
				[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	-	-	
Aparência	Aspecto	-				[c] ^[1]	[c] ^[1]	-	-	
	Água Livre	-	NBR 14954	ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
	Sedimentos	-			AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-	
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	0,2 ^[1]	0,2 ^[1]	-	-	
Massa específica a 20°C	kg/m ³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/ D4052	-	876,8	810,7 ^[1]	810,6 ^[1]	-	-	
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	65,0 ^[1]	65,0 ^[1]	-	-	
Viscosidade a 40°C	mm ² /s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	1,7 ^[1]	1,9 ^[1]	-	-	

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[c] = O produto deve ser limpo em temperatura ambiente normal.

Analista: [1] – CB-QI JARAL HUANA FARIAS DO ESPÍRITO SANTO

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

RESULTADO:

A amostra P5, proveniente da DEN, enquadra-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão: 05/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

RENATA MAYER BARBOSA FERNANDES
Primeiro-Tenente (RM2-T)
Encarregada da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	JP-5
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
	CERTIFICADO DE ANÁLISES	Pág.: 01 de 02

OM Solicitante		Produto		Número de amostras				
DEN		JP-5		01				
Número do SAC		Data da Amostragem		Data do Recebimento				
N/I		12/03/2023		13/03/2023				
Amostrador		Número do certificado		Condições Ambientais		Propósito		
N/I		164/2023		20°C		ENGENALMARINST 05-10E		
Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		N/I	-	-
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx			
Água livre ^[a]	ppm	Hidrokit		-	30,0	-	-	-
Aparência	Aspecto	Visual		[c]	[c]	-	-	-
	Água Livre			AUS		-	-	-
	Sedimentos			AUS		-	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-
Cor Saybolt	-		ASTM D156 /6045	Anotar		-	-	-
Corrosividade ao Cu 100°C, 2h	-	NBR 14359	ASTM D130	-	1b	-	-	-
Densidade a 15°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	785,0	848,0	-	-	-
Densidade a 20°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	Anotar		-	-	-
Destilação (ponto final) ^[a]	°C	NBR 9619	ASTM D86	-	290,0	-	-	-
Estabilidade à oxidação térmica (JFTOT) ^[b]	-	-	ASTM D3241	-	3,0 [#]	-	-	-
				25 mmHg (queda de pressão)		-	-	-
Goma atual	mg/100ml	NBR 14525	ASTM D381	-	7,0	0,6^[1]	-	-
Ponto de congelamento	°C	NBR 7975	ASTM D2386	-	-47,0	-	-	-
Ponto de fulgor	°C	NBR 7974	ASTM D56/3828	60,0	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	-	ASTM D2276	-	8,0 ^{##}	-	-	-
MSEP ou WSIM, sem dissipador de carga estática, min* ^[b]	-	-	ASTM D3948	85,0	-	-	-	-

Consulte a tabela D.2 do Apêndice IV da ENGENALMARINST 05-10E para realizar análises periodicamente no QAv.

[a] = Análise necessária quando há presença de água livre. [b] = A análise não está sendo realizada.

[c] = Claro e Límpido em temperatura ambiente normal.

[*] = Consultar a legenda nº 6 da tabela J.1 da ENGENALMARINST 05-10E.

[AUS.] = Ausente

[PRES.] = Presente

(#) Para tanques que não abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para depósito no tubo é de 1,0 e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo é de 3,0, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

(##) Para tanques que não abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 8,0 ppm e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 1,0 ppm, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

Data de fabricação: 26/03/2022

Analista: [1] – CB-QI- GABRIELE CATARINE SANTANA BARBOSA

	MARINHA DO BRASIL DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	JP-5 REVISÃO 00 17/12/2021
	CERTIFICADO DE ANÁLISES	Pág.: 02 de 02

RESULTADO:

A amostra, proveniente da DEN, enquadra-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão: 05/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20.

RENATA MAYER BARBOSA FERNANDES
Primeiro-Tenente (RM2-T)
Encarregada da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	JP-5
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO	REVISÃO 00
	Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	17/12/2021
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 02

OM Solicitante		Produto		Número de amostras				
DEN		JP-5		01				
Número do SAC		Data da Amostragem		Data do Recebimento				
N/I		N/I		10/05/2023				
Amostrador		Número do certificado		Condições Ambientais		Propósito		
CT- Camila Louzeiro		213/2023		20°C		ENGENALMARINST 05-10E		
						Resultados		
Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		JP-5 F1	JP-5	-
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx			
Água livre ^[a]	ppm	Hidrokit		-	30,0	-	-	-
Aparência	Aspecto	Visual		[c]	[c]	-	-	-
	Água Livre			AUS		-	-	-
	Sedimentos			AUS		-	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-
Cor Saybolt	-		ASTM D156 /6045	Anotar		-	-	-
Corrosividade ao Cu 100°C, 2h	-	NBR 14359	ASTM D130	-	1b	-	-	-
Densidade a 15°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	785,0	848,0	-	-	-
Densidade a 20°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	Anotar		-	-	-
Destilação (ponto final) ^[a]	°C	NBR 9619	ASTM D86	-	290,0	-	-	-
Estabilidade à oxidação térmica (JFTOT) ^[b]	-	-	ASTM D3241	-	3,0 [#]	-	-	-
				25 mmHg (queda de pressão)		-	-	-
Goma atual	mg/100ml	NBR 14525	ASTM D381	-	7,0	7,3 ^[1]	3,4 ^[1]	-
Ponto de congelamento	°C	NBR 7975	ASTM D2386	-	-47,0	-	-	-
Ponto de fulgor	°C	NBR 7974	ASTM D56/3828	60,0	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	-	ASTM D2276	-	8,0 ^{##}	-	-	-
MSEP ou WSIM, sem dissipador de carga estática, min* ^[1]	-	-	ASTM D3948	85,0	-	-	-	-

Consulte a tabela D.2 do Apêndice IV da ENGENALMARINST 05-10E para realizar análises periodicamente no QAv.

[a] = Análise necessária quando há presença de água livre.

[b] = A análise não está sendo realizada.

[c] = Claro e Limpido em temperatura ambiente normal.

[*] = Consultar a legenda nº 6 da tabela J.1 da ENGENALMARINST 05-10E.

[AUS.] = Ausente

[PRES.] = Presente

(#) Para tanques que **não** abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para depósito no tubo é de 1,0 e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo é de 3,0, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

(##) Para tanques que **não** abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 8,0 ppm e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 1,0 ppm, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

OBS: Verificar data de fabricação do JP-5 no laudo de fornecimento.
Analista: [1] – CB-QI- GABRIELE CATARINE SANTANA BARBOSA

	MARINHA DO BRASIL DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	JP-5 REVISÃO 00 17/12/2021
	CERTIFICADO DE ANÁLISES	Pág.: 02 de 02

RESULTADO:

A amostra proveniente do JP-5 F1 não se enquadra na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório, devido ao valor da análise de goma atual.

A amostra proveniente do JP-5 enquadra-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão: 29/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
 Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
 Divisão Técnica – DepCMRJ-20.

RENATA MAYER BARBOSA FERNANDES
 Primeiro-Tenente (RM2-T)
 Encarregada da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO	REVISÃO 00
	Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	17/12/2021
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 01

OM Solicitante	Produto	Número de amostras	
DEN	ODM	04	
Número do SAC	Data da Amostragem	Data do Recebimento	
N/I	10/05/2023	10/05/2023	
Amostrador	Número do certificado	Condições Ambientais	Propósito
CT Camila	214/2023	20°C	ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados			
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	P2	P3	P4	P5
				[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]
Aparência	Aspecto	-		[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]
	Água Livre	-	NBR 14954	ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]
	Sedimentos	-			AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	1,2 ^[1]	1,0 ^[1]	0,7 ^[1]	0,2 ^[1]
Massa específica a 20°C	kg/m ³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/D4052	-	876,8	830,2 ^[1]	823,7 ^[1]	817,3 ^[1]	810,8 ^[1]
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	65,0 ^[1]	65,0 ^[1]	65,0 ^[1]	65,0 ^[1]
Viscosidade a 40°C	mm ² /s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	2,8 ^[1]	2,8 ^[1]	2,7 ^[1]	2,4 ^[1]

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[c] = O produto deve ser limpo em temperatura ambiente normal.

Analista: [1] – CB-QI LUCAS DA CRUZ NASCIMENTO MÓ

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

RESULTADO:

As amostras P2, P3, P4 e P5, provenientes da DEN, enquadram-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão: 05/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

RENATA MAYER BARBOSA FERNANDES
Primeiro-Tenente (RM2-T)
Encarregada da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
	CERTIFICADO DE ANÁLISES	Pág.: 01 de 01

OM Solicitante DEN	Produto ODM	Número de amostras 04
Número do SAC N/I	Data da Amostragem N/I	Data do Recebimento 30/06/2023
Amostrador CT Camila Louzeiro	Número do certificado xx/2023	Condições Ambientais 20°C
		Propósito ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados			
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	P2-T2	P3-T2	P4-T2	P5-T2
				[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]
Aparência	Aspecto	-				[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]
	Água Livre	-	NBR 14954	ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]
	Sedimentos	-			AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	1,4 ^[1]	1,3 ^[1]	1,1 ^[1]	0,9 ^[1]
Massa específica a 20°C	kg/m ³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/D4052	-	876,8	830,4 ^[1]	823,9 ^[1]	817,0 ^[1]	811,4 ^[1]
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	65,0 ^[1]	66,0 ^[1]	65,0 ^[1]	66,0 ^[1]
Viscosidade a 40°C	mm ² /s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	2,8 ^[1]	2,9 ^[1]	2,9 ^[1]	2,8 ^[1]

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[c] = O produto deve ser limpo em temperatura ambiente normal.

Analista: [1] – CB-QI HENRIQUE BITTENCOURT PAIVA

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

RESULTADO:

As amostras P2-T2, P3-T2, P4-T2 e P5-T2 provenientes da DEN, enquadram-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão:

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

No emp'to 3ºSG-QI-BAC089/236
SANTHIAGO SCHERER SIMÕES
Primeiro-Tenente (EN)
Encarregado da Divisão Técnica

	MARINHA DO BRASIL	JP-5
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO	REVISÃO 00 17/12/2021
	Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 02

OM Solicitante	Produto	Número de amostras	
DEN	JP-5	01	
Número do SAC	Data da Amostragem	Data do Recebimento	
N/I	N/I	30/06/2023	
Amostrador	Número do certificado	Condições Ambientais	Propósito
CT Camila Louzeiro	xx4/2023	20°C	ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados		
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	T2	-	-
Água livre ^[a]	ppm	Hidrokit		-	30,0	-	-	-
Aparência	Aspecto	Visual		[c]	[c]	-	-	-
	Água Livre			AUS		-	-	-
	Sedimentos			AUS		-	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-
Cor Saybolt	-		ASTM D156 /6045	Anotar		-	-	-
Corrosividade ao Cu 100°C, 2h	-	NBR14359	ASTM D130	-	1b	-	-	-
Densidade a 15°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	785,0	848,0	-	-	-
Densidade a 20°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	Anotar		-	-	-
Destilação (ponto final) ^[b]	°C	NBR 9619	ASTM D86	-	290,0	-	-	-
Estabilidade à oxidação térmica (JFTOT) ^[b]	-	-	ASTM D3241	-	3,0 [#]	-	-	-
				25 mmHg (queda de pressão)		-	-	-
Goma atual	mg/100ml	NBR 14525	ASTM D381	-	7,0	4,2 ^[1]	-	-
Ponto de congelamento	°C	NBR 7975	ASTM D2386	-	-47,0	-	-	-
Ponto de fulgor	°C	NBR 7974	ASTM D56/3828	60,0	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	-	ASTM D2276	-	8,0 ^{##}	-	-	-
MSEP ou WSIM, sem dissipador de carga estática, min* ^[a]	-	-	ASTM D3948	85,0	-	-	-	-

Consulte a tabela D.2 do Apêndice IV da ENGENALMARINST 05-10E para realizar análises periodicamente no QAv.

[a] = Análise necessária quando há presença de água livre.

[b] = A análise não está sendo realizada.

[c] = Claro e Limpido em temperatura ambiente normal.

[*] = Consultar a legenda nº 6 da tabela J.1 da ENGENALMARINST 05-10E.

[AUS.] = Ausente

[PRES.] = Presente

[#] Para tanques que não abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para depósito no tubo é de 1,0 e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo é de 3,0, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

[##] Para tanques que não abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 8,0 ppm e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 1,0 ppm, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

Data de fabricação: 26/03/2022

Analista: [1] – CB-QI- HENRIQUE BITTENCOURT PAIVA

	MARINHA DO BRASIL	JP-5
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
	CERTIFICADO DE ANÁLISES	Pág.: 02 de 02

RESULTADO:

A amostra T2, proveniente da DEN, enquadra-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão:

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20.

No imppto 3ºSG-QI-BARBOSA
SANTHAGO SCHERER SIMÕES
Primeiro-Tenente (EN)
Encarregado da Divisão Técnica

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
	CERTIFICADO DE ANÁLISES	Pág.: 01 de 01

OM Solicitante DEN	Produto ODM	Número de amostras 04
Número do SAC N/I	Data da Amostragem N/I	Data do Recebimento 30/06/2023
Amostrador CT Camila Louzeiro	Número do certificado xx2/2023	Condições Ambientais 20°C
		Propósito ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados			
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	P2-T3	P3-T3	P4-T3	P5-T3
Aparência	Aspecto	-				[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]
	Água Livre	-	NBR 14954	ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]
	Sedimentos	-			AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	1,4 ^[1]	1,3 ^[1]	1,2 ^[1]	1,1 ^[1]
Massa específica a 20°C	kg/m³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/D4052	-	876,8	830,7 ^[1]	824,3 ^[1]	818,0 ^[1]	811,5 ^[1]
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	65,0 ^[1]	66,0 ^[1]	66,0 ^[1]	68,0 ^[1]
Viscosidade a 40°C	mm²/s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	2,8 ^[1]	2,1 ^[1]	2,3 ^[1]	2,2 ^[1]

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[c] = O produto deve ser límpido em temperatura ambiente normal.

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

Analista: [1] – Analista: [1] – CB-QI HENRIQUE BITTENCOURT PAIVA

RESULTADO:

As amostras P2-T3, P3-T3, P4-T3 e P5-T3 provenientes da DEN, enquadram-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão:

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

No emp. 336-QI-BARBOSA

SANTHIAGO SCHERER SIMÕES
Primeiro-Tenente (EN)
Encarregado da Divisão Técnica

	MARINHA DO BRASIL	JP-5
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO	REVISÃO 00 17/12/2021
	Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	Pág.: 01 de 02
CERTIFICADO DE ANÁLISES		

OM Solicitante DEN	Produto JP-5	Número de amostras 01
Número do SAC NI	Data da Amostragem NI	Data do Recebimento 30/06/2023
Amostrador CT Camila Louzeiro	Número do certificado xx3/2023	Condições Ambientais 20°C
		Propósito ENGENALMARINST 05-10E

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados		
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	T3	-	-
Água livre ^[a]	ppm	Hidrokit		-	30,0	-	-	-
Aparência	Aspecto	Visual		[c]	[c]	-	-	-
	Água Livre			AUS		-	-	-
	Sedimentos			AUS		-	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-
Cor Saybolt	-		ASTM D156 /6045	Anotar		-	-	-
Corrosividade ao Cu 100°C, 2h	-	NBR14359	ASTM D130	-	1b	-	-	-
Densidade a 15°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	785,0	848,0	-	-	-
Densidade a 20°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	Anotar		-	-	-
Destilação (ponto final) ^[a]	°C	NBR 9619	ASTM D86	-	290,0	-	-	-
Estabilidade à oxidação térmica (JFTOT) ^[a]	-	-	ASTM D3241	-	3,0*	-	-	-
				25 mmHg (queda de pressão)		-	-	-
Goma atual	mg/100ml	NBR 14525	ASTM D381	-	7,0	2,6^[1]	-	-
Ponto de congelamento	°C	NBR 7975	ASTM D2386	-	-47,0	-	-	-
Ponto de fulgor	°C	NBR 7974	ASTM D56/3828	60,0	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	-	ASTM D2276	-	8,0 ^{##}	-	-	-
MSEP ou WSIM, sem dissipador de carga estática, min* ^[a]	-	-	ASTM D3948	85,0	-	-	-	-

Consulte a tabela D.2 do Apêndice IV da ENGENALMARINST 05-10E para realizar análises periodicamente no QAv.

[a] = Análise necessária quando há presença de água livre. [b] = A análise não está sendo realizada.

[c] = Claro e Limpido em temperatura ambiente normal.

[*] = Consultar a legenda nº 6 da tabela J.1 da ENGENALMARINST 05-10E.

[AUS.] = Ausente

[PRES.] = Presente

(#) Para tanques que não abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para depósito no tubo é de 1,0 e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo é de 3,0, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

(##) Para tanques que não abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 8,0 ppm e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 1,0 ppm, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

Data de fabricação: 26/03/2022

Analista: [1] – CB-QI- HENRIQUE BITTENCOURT PAIVA

	MARINHA DO BRASIL	JP-5
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 02 de 02

RESULTADO:

A amostra T3, proveniente da DEN, enquadra-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão:

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20.

No impeto 3°50-QI - BARBOSA
SANTHAGO SCHERER SIMÕES
Primeiro-Tenente (EN)
Encarregado da Divisão Técnica

	MARINHA DO BRASIL	JP-5
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO	REVISÃO 00
	Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	17/12/2021
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 02

OM Solicitante		Produto		Número de amostras				
DEN		JP-5		01				
Número do SAC		Data da Amostragem		Data do Recebimento				
N/I		27/07/2023		27/07/2023				
Amostrador		Número do certificado		Condições Ambientais		Propósito		
CT (EN) Camila Louzeiro		321/2023		20°C		ENGENALMARINST 05-10E		
						Resultados		
Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		T4	-	-
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx			
Água livre ^[a]	ppm	Hidrokit		-	30,0	-	-	-
Aparência	Aspecto	-	Visual	[c]	[c]	-	-	-
	Água Livre	-		AUS	-	-	-	-
	Sedimentos	-		AUS	-	-	-	-
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-
Cor Saybolt	-		ASTM D156 /6045	Anotar		-	-	-
Corrosividade ao Cu 100°C, 2h	-	NBR 14359	ASTM D130	-	1b	-	-	-
Densidade a 15°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	785,0	848,0	-	-	-
Densidade a 20°C	kg/m ³	NBR 7148	ASTM D1298/D4052	Anotar		-	-	-
Destilação (ponto final) ^[a]	°C	NBR 9619	ASTM D86	-	290,0	-	-	-
Estabilidade à oxidação térmica (JFTOT) ^[b]	-	-	ASTM D3241	-	3,0 [#]	-	-	-
				25 mmHg (queda de pressão)		-	-	-
Goma atual	mg/100ml	NBR 14525	ASTM D381	-	7,0	16,5^[1]	-	-
Ponto de congelamento	°C	NBR 7975	ASTM D2386	-	-47,0	-	-	-
Ponto de fulgor	°C	NBR 7974	ASTM D56/3828	60,0	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	-	ASTM D2276	-	8,0 ^{##}	-	-	-
MSEP ou WSIM, sem dissipador de carga estática, min* ^[b]	-	-	ASTM D3948	85,0	-	-	-	-

Consulte a tabela D.2 do Apêndice IV da ENGENALMARINST 05-10E para realizar análises periodicamente no QAv.

[a] = Análise necessária quando há presença de água livre. [b] = A análise não está sendo realizada.

[c] = Claro e Límpido em temperatura ambiente normal.

[*] = Consultar a legenda nº 6 da tabela J.1 da ENGENALMARINST 05-10E.

[AUS.] = Ausente

[PRES.] = Presente

(#) Para tanques que não abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para depósito no tubo é de 1,0 e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo é de 3,0, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

(##) Para tanques que não abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 8,0 ppm e para tanques que abasteçam diretamente aeronaves o limite máximo para sólidos totais é de 1,0 ppm, de acordo com a ENGENALMARINST 05-10E.

Data de fabricação: 26/03/2022

Analista: [1] – CB-QI- LUCAS NOGUEIRA GUIMARÃES E CB-QI- LUCAS DA CRUZ NASCIMENTO MÓ

	MARINHA DO BRASIL DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	JP-5 REVISÃO 00 17/12/2021
	CERTIFICADO DE ANÁLISES	Pág.: 02 de 02

RESULTADO:

A amostra T4 , proveniente da DEN, não se enquadra na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório, devido ao valor de Goma Atual.

Data da emissão: 04/08/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20.

SANTHIAGO SCHERER SIMÕES
Primeiro-Tenente (EN)
Encarregado da Divisão Técnica
ASSINADO DIGITALMENTE

	MARINHA DO BRASIL	ODM
	DEPÓSITO DE COMBUSTÍVEIS DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO Praia da Bica, nº 1361, Jardim Guanabara – Ilha do Governador Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21931-076	REVISÃO 00 17/12/2021
CERTIFICADO DE ANÁLISES		Pág.: 01 de 01

OM Solicitante DEN	Produto ODM	Número de amostras 04
Número do SAC N/I	Data da Amostragem 27/07/2023	Data do Recebimento 27/07/2023
Amostrador CT (EN) Camila Louzeiro	Número do certificado 322/2023	Condições Ambientais 20°C
Propósito ENGENALMARINST 05-10E		

Ensaio	Unidades	Método(s)		Limites		Resultados			
		Nacional	Estrangeiro	Mín	Máx	T4- P2	T4- P3	T4- P4	T4- P5
				[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]
Aparência	Aspecto	-		[c]	[c]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]	[c] ^[1]
	Água Livre	-	NBR 14954 ASTM D4176	AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]
	Sedimentos	-		AUS	AUS	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]	AUS. ^[1]
Cloreto ^[a]	-	Método de Mohr		Ausente		-	-	-	-
Cor ASTM	-	NBR14483	ASTM D1500	-	3,0	1,9 ^[1]	2,0 ^[1]	2,0 ^[1]	2,0 ^[1]
Massa específica a 20°C	kg/m ³	NBR 7148/14065	ASTM D1298/ D4052	-	876,8	830,7 ^[1]	824,4 ^[1]	817,7 ^[1]	811,2 ^[1]
Ponto de fulgor	°C	NBR 14598	ASTM D93	60,0	-	69,0 ^[1]	66,0 ^[1]	66,0 ^[1]	65,0 ^[1]
Viscosidade a 40°C	mm ² /s (cSt)	NBR 10441	ASTM D445	2,0	6,0	3,2 ^[1]	2,9 ^[1]	3,3 ^[1]	2,5 ^[1]

[a] = Análise feita quando há presença de água livre na amostra.

[c] = O produto deve ser limpo em temperatura ambiente normal.

Analista: [1] – CB-QI LUCAS DA CRUZ NASCIMENTO MÓ

[PRES.] = Presente

[AUS.] = Ausente

RESULTADO:

As amostras T4- P2, T4- P3, T4- P4 e T4- P5 provenientes da DEN, enquadram-se na ENGENALMARINST 05-10E quanto aos ensaios realizados por este laboratório.

Data da emissão: 04/08/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se as amostras ensaiadas.
Dúvidas, sugestões ou reclamações, favor contatar o responsável pela aprovação deste documento.
Divisão Técnica – DepCMRJ-20

SANTHIAGO SCHERER SIMÕES
Primeiro-Tenente (EN)
Encarregado da Divisão Técnica

ASSINADO DIGITALMENTE

ANEXO C - CERTIFICADOS DE ENSAIO DO COPPECOMB

RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	16
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	0,05

Observações:


Beatriz Cohen Chaves
 Responsável Técnico
 CRQ 3ª - 033017198
 Emissão: 24/05/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
 Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.
 UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb
 Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão
 CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 002/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)		
Data da Solicitação		
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590		
03/05/2023		
Identificação da amostra: P2 MISTURA (25% JP5 / 75% ODM)		
Volume recebido: 500 mL		
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m³)	ASTM D2274	3
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações:		
 Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 24/05/2023		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 003/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	03/05/2023	
Identificação da amostra: P3 MISTURA (50% JP5 / 50% ODM)	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	14
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 24/05/2023 </div>		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

Características		Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)		ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)		ASTM D2274	2
Número de Acidez, mgKOH/g		ASTM D664	<0,05

Observações:


Beatriz Cohen Chaves
 Responsável Técnico
 CRQ 3ª - 033017198
 Emissão: 24/05/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
 Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.
 UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb
 Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão
 CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 005/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	03/05/2023	
Identificação da amostra: P5 100% JP5	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	3
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 24/05/2023 </div>		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

Características		Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)		ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)		ASTM D2274	3
Número de Acidez, mgKOH/g		ASTM D664	<0,05

Observações:


Beatriz Cohen Chaves
 Responsável Técnico
 CRQ 3ª - 033017198
 Emissão: 07/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
 Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.
 UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb
 Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão
 CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 007/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	10/05/2023	
Identificação da amostra: P3 T1	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	3
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 07/06/2023 </div>		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 008/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	10/05/2023	
Identificação da amostra: P4 T1	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	10
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 07/06/2023 </div>		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 009/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	10/05/2023	
Identificação da amostra: P5 T1	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	4
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 07/06/2023 </div>		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

Características		Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)		ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)		ASTM D2274	6
Número de Acidez, mgKOH/g		ASTM D664	<0,05

Observações:


Beatriz Cohen Chaves
 Responsável Técnico
 CRQ 3ª - 033017198
 Emissão: 27/06/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
 Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.
 UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb
 Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão
 CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 011/2023 <small>Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1</small>		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	02/06/2023	
Identificação da amostra: P3 T2 (50% ODM)	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	4
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 27/06/2023 </div>		
<small>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento. UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</small>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 012/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	02/06/2023	
Identificação da amostra: P4 T2 (25% ODM)	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	6
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 27/06/2023 </div>		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 013/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	02/06/2023	
Identificação da amostra: P5 T2 (JP5)	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	5
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 27/06/2023 </div>		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 014/2023 <small>Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1</small>		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)		
Data da Solicitação		
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590		
29/06/2023		
Identificação da amostra: P2 T3 (95% ODM)		
Volume recebido: 500 mL		
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	7
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 04/09/2023 </div>		
<small>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</small>		
<small>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</small>		
<small>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</small>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 015/2023 <small>Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1</small>		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	29/06/2023	
Identificação da amostra: P3 T3 (50% ODM)	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	8
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 04/09/2023 </div>		
<small>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</small> <small>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</small> <small>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</small>		

Características		Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)		ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)		ASTM D2274	8
Número de Acidez, mgKOH/g		ASTM D664	<0,05

Observações:


Beatriz Cohen Chaves
 Responsável Técnico
 CRQ 3ª - 033017198
 Emissão: 04/09/2023

Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada.
 Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.
 UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb
 Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão
 CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 017/2023 <small>Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1</small>		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)		
Data da Solicitação		
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590		
27/07/2023		
Identificação da amostra: P5 T3 (QAV 5)		
Volume recebido: 500 mL		
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	8
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 04/09/2023 </div>		
<small>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</small>		
<small>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</small>		
<small>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</small>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 018/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	27/07/2023	
Identificação da amostra: P2 T4 (75% ODM)	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	7
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 04/09/2023 </div>		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 019/2023 <small>Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1</small>		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)	Data da Solicitação	
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590	27/07/2023	
Identificação da amostra: P3 T4 (50% ODM)	Volume recebido: 500 mL	
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	8
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações: <div style="text-align: center;">  Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 04/09/2023 </div>		
<small>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</small> <small>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</small> <small>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</small>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 020/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)		Data da Solicitação
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590		27/07/2023
Identificação da amostra: P4 T4 (25% ODM)		Volume recebido: 500 mL
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	7
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações:		
 Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 04/09/2023		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		

 		
Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo e Combustíveis CERTIFICADO DE ENSAIO CAMILA ROCHA 021/2023		
Emissão: 10/02/2010 REV00 Pág. 1de1		
SOLICITANTE: Camila Rocha (LabCom)		Data da Solicitação
Endereço: R. Moniz de Aragão - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ. CEP: 21941-590		27/07/2023
Identificação da amostra: P5 T4 (QAV)		Volume recebido: 500 mL
RESULTADO		
Características	Norma Utilizada	Resultado
Resíduo de carbono , (%m)	ASTM D4530	< 0,1
Estabilidade à oxidação,(g/m ³)	ASTM D2274	8
Número de Acidez, mgKOH/g	ASTM D664	<0,05
Observações:		
 Beatriz Cohen Chaves Responsável Técnico CRQ 3ª - 033017198 Emissão: 04/09/2023		
<p>Os resultados reportados neste documento referem-se a amostra ensaiada. Dúvidas e sugestões, favor contactar o responsável pela aprovação deste documento.</p> <p>UFRJ/COPPE/PEQ/COPPEComb</p> <p>Av. Pedro Calmon, 35 - Prédio da Geotecnia - Anexo ao Centro de Tecnologia - Cidade Universitária - Ilha do Fundão CEP.: 21949-900 Telefone: 3938-8153</p>		