

# ANÁLISE DE FLUÍDOS ALTERNATIVOS NÃO INFLAMÁVEIS NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL

Érico Caridá Casadei<sup>1</sup>

ORCID: 0009-0002-6379-7187

## RESUMO

Atualmente, nos principais fabricantes de aeronaves ou de componentes utilizados em tanques e sistemas de combustível, os ensaios de desenvolvimento são integralmente realizados com o próprio fluido combustível, ou seja, querosene de aviação (QAV1), cujo ponto de fulgor é de 38°C, característico de fluidos altamente inflamáveis. Esse estudo visa a análise de viabilidade da utilização de um fluido com ponto de fulgor elevado, da ordem de 90°C ou mais, possibilitando uma expressiva redução de custos e riscos, pois o tratamento das instalações elétricas nesses ambientes poderá ser consideravelmente abrandado e, principalmente, o risco ocupacional dos empregados envolvidos na atividade, eliminado.

## Palavras-chave

Combustível, Fluidos Alternativos, Sistema de Combustível.

## Analysis of Alternative Non-Flammable Fluids in Fuel Systems Development

## ABSTRACT

Currently, in the main manufacturers of aircraft or components used in fuel tanks and systems, development tests are carried out entirely with the fuel fluid itself, that is, aviation kerosene (QAV1), whose flash point is 38°C, characteristic of highly flammable fluids. This study aims to analyze the feasibility of using a fluid with a high flash point, around 90°C or more, allowing a significant reduction in costs and risks, since the treatment of electrical installations in these environments can be considerably delayed and, mainly, the occupational risk of employees involved in the activity, eliminated.

## Keywords

Fuel, Alternative Fluid, Fuel System.

Submetido em: 15/07/2023 – Aprovado em: 18/08/2023 – Publicado em: 21/08/2023

<sup>1</sup> Engenheiro, Pós graduado em Gestão de Projetos/FAAP, MBA Gestão Empresarial/FGV – ericocasadei@gmail.com



## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo desse estudo é analisar fluidos alternativos, com ponto de fulgor acima de 90°C, para utilizá-lo nos ensaios de desenvolvimento de componentes e sistemas de combustível com intuito de eliminar o risco ocupacional dos funcionários no manuseio de inflamáveis, reduzir o investimento com equipamentos elétricos para áreas classificadas e minimizar a exposição da Empresa ou Laboratórios de Pesquisas perante ações trabalhistas.

Serão avaliados quatro tipos de fluidos, cujas especificações possuem muitas similaridades com as propriedades do Querosene de Aviação (QAV1), a saber:

- a) AXAREL 3000 (100%);
- b) SOLBRAX ECO270/310 (100%);
- c) Mistura AXAREL 3000 – QAV1 (50%);
- d) Mistura SOLBRAX ECO270/310 – QAV1 (50%).

As avaliações das propriedades e desempenho dos fluidos serão feitas comparando-os com o Querosene de Aviação (QAV1) através de testes em dispositivos montados em bancada, cuja configuração será estritamente controlada e mantida.

Basicamente, serão avaliadas as características de Performance, Densidade, Indicação e Compatibilidade dos fluidos.

Para os testes de Performance, serão usadas dois tipos de bombas de combustível, uma de corrente alternada (AC) e outra de corrente contínua (DC), em ambientes controlados, tendo apenas as variáveis de Temperatura e Vazão sendo alteradas.

Para cada ensaio, serão monitorados e gravados os parâmetros de Densidade, Vazão e Pressão, os quais farão parte dos gráficos comparativos e permitirão a análise de cada fluido.

Para o teste de Densidade, todos os fluidos também serão submetidos às condições idênticas, utilizando-se o mesmo equipamento de medição, onde – mais uma vez – a única variável será a Temperatura.

No teste de Indicação, será usado um instrumento chamado “Probe Capacitiva”, muito comum de ser encontrada em tanques de combustível de aeronaves, por exemplo, e que são usados para medir o nível de combustível no interior destes tanques.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO LEGAL

De acordo com o artigo 193 da CLT (Lei nº 6514 de 22/12/1977), “são consideradas atividades ou operações perigosas, na forma da regulamentação aprovada pelo Ministério do Trabalho, aquelas que, por sua natureza ou métodos de trabalho, impliquem o contato permanente com inflamáveis ou explosivos em condições de risco acentuado.

§ 1º - O trabalho em condições de periculosidade assegura ao empregado um adicional de 30% (trinta por cento) sobre o salário sem os acréscimos resultantes de gratificações, prêmios ou participações nos lucros da empresa.”

Ainda de acordo com o artigo 200 da CLT, “cabe ao Ministério do Trabalho estabelecer disposições complementares às normas de que trata este Capítulo, tendo em vista as peculiaridades de cada atividade ou setor de trabalho, especialmente sobre:

II - depósitos, armazenagem e manuseio de combustíveis, inflamáveis e explosivos, bem como trânsito e permanência nas áreas respectivas.”

A Norma Regulamentadora 16 (NR-16) “regulamenta as atividades e as operações legalmente consideradas perigosas, estipulando as recomendações preventivistas correspondentes, especificamente no que diz respeito ao Anexo nº 02: Atividades e Operações Perigosas com Inflamáveis, que considera atividades ou operações perigosas, aquelas realizadas:

Anexo 2/Quadro 3/item b: No transporte e armazenagem de inflamáveis líquidos e gasosos liquefeitos e de vasilhames vazios não-desgaseificados ou decantados.

Anexo 2/Quadro 3/item d,e: Nos locais de carregamento e descarga de navios-tanques, vagões-tanques e caminhões-tanques e enchimento de vasilhames, com inflamáveis líquidos ou gasosos liquefeitos.

Anexo 2 / Quadro 3 / item f: Nos serviços de operações e manutenção de navios-tanque, vagões-tanques, caminhões-tanques, bombas e vasilhames, com inflamáveis líquidos ou gasosos liquefeitos, ou vazios não-desgaseificados ou decantados.”

A Norma Regulamentadora 20 (NR-20) “estabelece as disposições regulamentares acerca da caracterização do fluido inflamável, seu armazenamento, manuseio e transporte, a saber:

20.3.1 Líquidos inflamáveis: são líquidos que possuem ponto de fulgor  $\leq 60^{\circ}\text{C}$ .

20.7.3 Nas operações de transferência de inflamáveis, enchimento de recipientes ou de tanques, devem ser adotados procedimentos para:

- a) eliminar ou minimizar a emissão de vapores e gases inflamáveis;
- b) controlar a geração, acúmulo e descarga de eletricidade estática.

20.12.5 Os tanques que armazenam líquidos inflamáveis e combustíveis devem possuir sistemas de contenção de vazamentos ou derramamentos, dimensionados e construídos de acordo com as normas técnicas nacionais.

20.12.5.1 No caso de bacias de contenção, é vedado o armazenamento de materiais, recipientes e similares em seu interior, exceto nas atividades de manutenção e inspeção.

20.17.1 Os tanques para armazenamento de líquidos inflamáveis somente poderão ser instalados no interior dos edifícios sob a forma de tanque enterrado e destinados somente a óleo diesel.”

A norma IEC60079-10 (*Electrical apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Classification of Hazardous Areas*) tem por objetivo quantificar a área de risco em uma planta. As áreas de risco são divididas em Zonas 0, 1, 2 e não classificadas:

“Zona 0: A atmosfera explosiva está sempre presente. Nessa região só são permitidos equipamentos de segurança intrínseca Ex-ia;

Zona 1: A probabilidade de se encontrar uma atmosfera explosiva é elevada. Nessa região são permitidas as proteções Ex-d, Ex-e, Ex-ib, Ex-o, Ex-q, Ex-m, Ex-p, além das permitidas para a Zona 0;

Zona 2: É improvável a existência de uma atmosfera explosiva. O aparecimento de uma atmosfera potencialmente explosiva poderá inadvertidamente ocorrer durante uma operação de manutenção ou funcionamento anormal da instalação. Nessa região são permitidos o uso da proteção Ex-n e de equipamentos industriais, desde que não produzam arcos ou superfícies quentes.”

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA

Nos desenvolvimentos de sistemas de combustível, normalmente os ensaios são realizados com o próprio fluido combustível ou, em raros casos, com certos tipos de fluidos especificados pela norma PD-680. Essa norma foi atualizada sob a denominação MIL-PRF-6802. Após análise das exigências dessa norma, o fluido encontrado no mercado capaz de atendê-las foi o AXAREL 3000, que possui ponto de fulgor em 96°C.

O AXAREL 3000 serviu também como referência para a especificação de outro fluido, o SOLBRAX ECO 270/310, da Petrobras, que possui ponto de fulgor de 120°C. Para ambos os fluidos alternativos, as principais características analisadas para a comparação de desempenho estão especificadas na Tabela 1:

**Tabela 1** Comparativo das Propriedades dos Fluidos

Temperaturas Específicas (°C)	JET A1	SOLBRAX ECO	
		270/310	AXAREL 3000
Auto-ignição	220°C	240°C	ND
Ponto de Fulgor	38°C	120°C	96°C
Ponto de Ebulição Inicial	150°C	281°C	241°C
Ponto de Ebulição Final	300°C	315°C	264°C
<b>Limites de Explosividade no Ar (%)</b>			
Limite Inferior (LIE)	1%	2,5%	ND
Limite Superior (LSE)	6%	16%	ND
<b>Densidades</b>			
Específica @ 25°C (H2O=1)	0,8	0,81	0,83
Vapor (ar=1)	>5	>7,2	ND
<b>Viscosidade (cSt)</b>			
@ -20°C	8 cSt	ND	ND
@ 25°C	ND	7 cSt	2,2 cSt
@ 40°C	2 cSt	3,5 cSt	ND

Fonte Autor

Tomando-se como base um sistema genérico e, mantida todas as demais variáveis constantes, pretende-se realizar simulações em modelos virtuais para verificação do desempenho do querosene de aviação (QAV1) neste sistema. As mesmas simulações deverão ser repetidas com os fluidos alternativos AXAREL 3000 e SOLBRAX ECO 270/310, além de misturas compostas pelos três fluidos.

Os resultados destas simulações indicarão algumas diferenças de performance entre os fluidos, fornecendo uma excelente base de comparação prévia. Faz parte também do escopo a realização de testes com os fluidos em um sistema real, ainda a ser definido em data posterior, onde se espera obter resultados que permitam levantar curvas comparativas entre os fluidos e fornecer dados para a validação e refinamento dos modelos computacionais utilizados.

Alguns componentes críticos, tais como bombas e válvulas, deverão também ter suas curvas de performance levantadas e analisadas individualmente, sendo os modelos computacionais realimentados com essas informações, caso necessário.

Ao final, deverão ser providenciados testes de compatibilidade de materiais, tais como os tipos de elastômeros e metais comumente encontrados em uma instalação do sistema de combustível.

Essa proposta não pretende sugerir a substituição completa do querosene de aviação (QAV1) utilizado nos laboratórios de desenvolvimento por um fluido alternativo. A intenção é

dispor de meios que comprovem a representatividade na utilização de um fluido alternativo apenas em determinados ensaios que são comumente realizados nesses laboratórios.

Para isso, a tabela abaixo apresenta as propriedades mais relevantes dos fluidos para cada tipo de ensaio, comumente realizado em processos de desenvolvimento.

**Tabela 2** Propriedades Relevantes dos Fluidos Para Cada Ensaio

ENSAIO	PROPRIEDADES RELEVANTES	QAV1	AXAREL	SOLBRAX
- <i>Pressure Refueling</i>	Densidade @ 25°C	0,8	0,83	0,81
- <i>Defuelling Performance</i>	Viscosidade	@ - 20°C	8	ND
- <i>Surge Pressure</i>		@ 25°C	ND	7
- <i>Ventilation Performance</i>		@ 45°C	2	3,5
- <i>Capacity</i> - <i>Undrainable</i> - <i>Unusable</i>	Densidade @ 25°C	0,8	0,83	0,81
- <i>Calibration</i>	Constante Dielétrica	ND	ND	ND
	Densidade @ 25°C	0,8	0,83	0,81

*Fonte Autor*

Os ensaios serão realizados em um dispositivo cuja configuração será controlada e mantida inalterada durante todo o processo, de forma que as análises comparativas possam se basear exclusivamente nas características dos fluidos testados.

Para a realização dos ensaios, foi montado um dispositivo composto por dois reservatórios contendo as bombas DC e AC, linhas de transferência e instrumentação, conforme mostrado na Figura 1.

**Figura 1** Dispositivo de Ensaio



*Fonte Autor*

Transdutores de pressão, medidores de vazão e termopares foram apropriadamente instalados de forma a possibilitar a aquisição dos dados necessários para a análise de desempenho das bombas e, para assegurar a repetibilidade, os incrementos de perda de carga foram obtidos através da utilização de restritores calibrados.

Abaixo estão listados os códigos e números de série, quando aplicável, dos componentes que constituem a bancada de testes.

**Tabela 3** Componentes Relevantes Instalados

<b>Part Number</b>	<b>Nº Série</b>	<b>Descrição</b>
1C27-29	SN 9BG90	Bomba DC Parker
9C148-4	SN 11BG205	Bomba AC Parker
020-240-027	SN 0005	Probe
1502B21FG	-	Transdutor de Pressão 0-50 psig
1502B21FG	-	Transdutor de Pressão 0-50 psig
4110543	-	Medidor de vazão 0-25 gpm
DPI-705	-	Manômetro Digital 0-100 psig

DPI-705	-	Manômetro Digital 0-100 psig
Quantum X	-	HBM Quantum
HH-99J	-	Termopar
DMA 35n	-	Densímetro

*Fonte Autor*

#### 4 DESCRIÇÃO DO ENSAIO BOMBA DC

1. O combustível deverá ser testado a  $T^1=20\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $T^2=35\pm 2^\circ\text{C}$  e  $T^3=45\pm 2^\circ\text{C}$ ;
2. Abastecer os tanques com querosene de aviação QAV1 e garantir que não haja vazamentos;
3. Manter a válvula da linha da bomba DC totalmente aberta e travada nesta posição;
4. Manter a válvula da linha da bomba AC totalmente fechada e travada nesta posição;
5. Garantir que não haja restritores instalados nas linhas;
6. Ligar o sistema de aquisição de dados;
7. Medir a densidade e temperatura do querosene contido nos tanques;
8. Ligar a bomba DC e aguardar a estabilização do fluxo;
9. Iniciar a gravação dos dados a uma taxa de 10Hz por aproximadamente 2 minutos;
10. Encerrar a gravação e desligar a bomba DC;
11. Instalar o restritor de 16 mm e repetir os passos nº5 até 9;
12. Substituir restritor de 16 mm pelo restritor 14 mm e repetir os passos nº5 até 9;
13. Substituir restritor de 14 mm pelo restritor 7 mm e repetir os passos nº5 até 9;
14. Substituir restritor de 7 mm pelo restritor 5 mm e repetir os passos nº5 até 9;
15. Aquecer combustível conforme descrito no passo nº1 e repetir os passos nº2 até 15

Após a realização dos ensaios com querosene de aviação (QAV1), o dispositivo deverá ser drenado e seco, garantindo a eliminação de qualquer resquício de querosene.

Os tanques deverão ser abastecidos com AXAREL 3000 e os passos citados acima serão repetidos em sua totalidade, permanecendo constantes as demais condições. Da mesma forma será feito com o SOLBRAX ECO270/310.

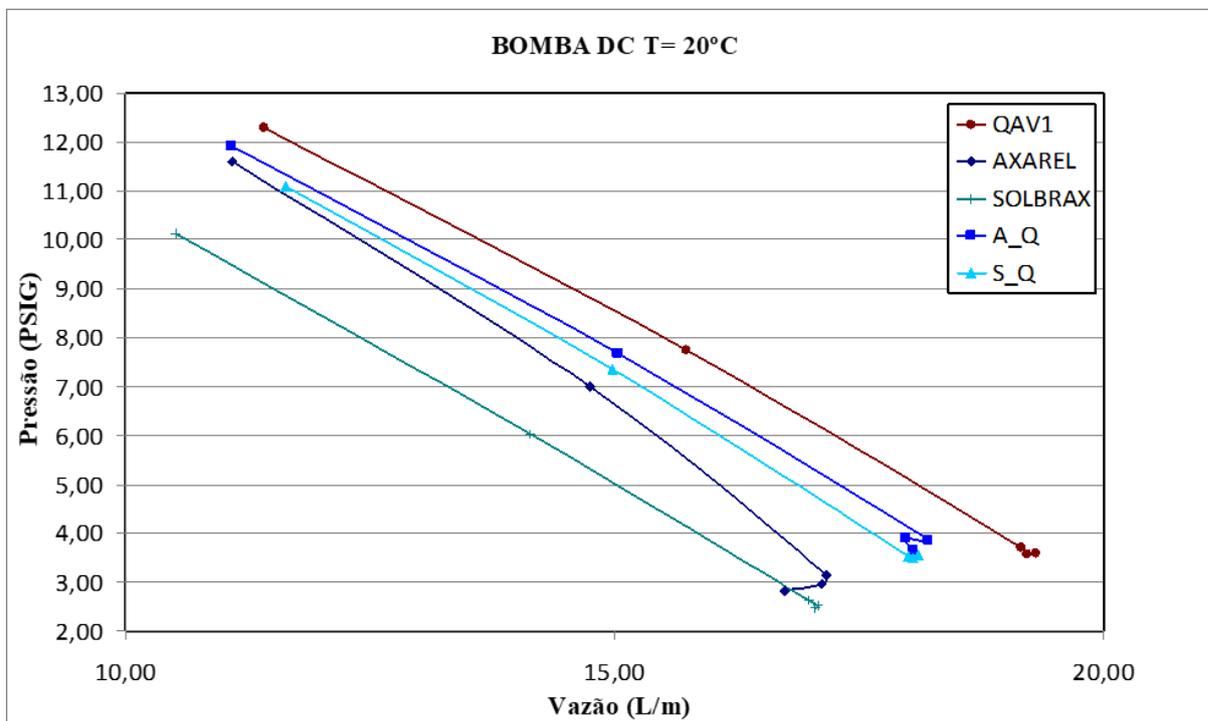
## 5 RESULTADOS DO ENSAIO BOMBA DC

**Tabela 4** Desempenho da Bomba DC para 20°C

<b>Valores Médios Para Bomba DC - T=20°C</b>										
Condição	QAV1		Axarel		Solbrax		50%Axarel 50%QAV1		50%Solbrax 50%QAV1	
	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)
Sem Restritor	19,31	3,60	16,74	2,82	17,05	2,46	18,05	3,65	18,10	3,56
16mm	19,22	3,57	17,11	2,97	17,07	2,53	17,98	3,91	18,05	3,49
14mm	19,15	3,71	17,17	3,14	16,99	2,64	18,20	3,86	18,01	3,54
7mm	15,73	7,76	14,75	7,01	14,14	6,04	15,03	7,69	14,98	7,36
5mm	11,42	12,29	11,09	11,61	10,51	10,13	11,09	11,93	11,64	11,08

Fonte Autor

**Figura 2** Gráfico Pressão x Vazão (Bomba DC para 20°C)



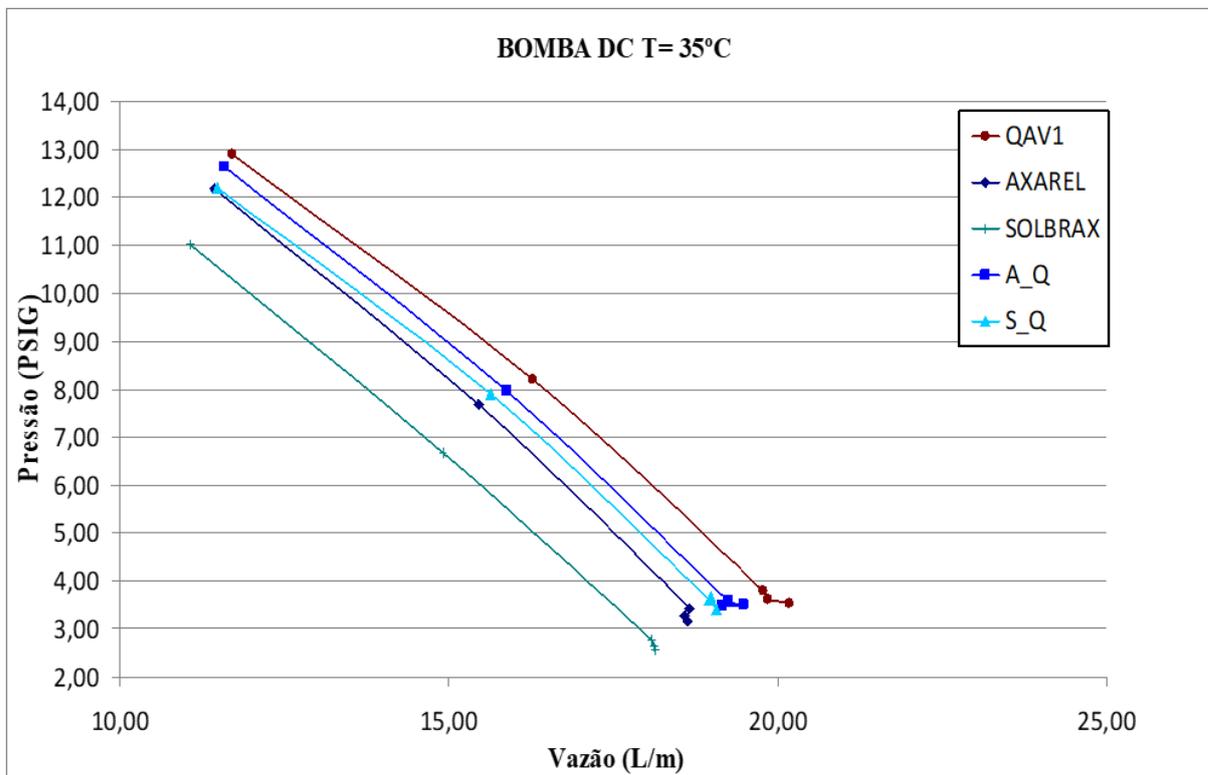
Fonte Autor

**Tabela 5** Desempenho da Bomba DC para 35°C

<b>Valores Médios Para Bomba DC - T=35°C</b>										
Condição	QAV1		Axarel		Solbrax		50%Axarel 50%QAV1		50%Solbrax 50%QAV1	
	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)
Sem Restritor	20,17	3,55	18,63	3,17	18,14	2,57	19,15	3,49	18,98	3,66
16mm	19,85	3,62	18,59	3,26	18,12	2,64	19,47	3,52	19,07	3,41
14mm	19,78	3,79	18,65	3,44	18,09	2,76	19,24	3,60	18,95	3,60
7mm	16,27	8,20	15,45	7,68	14,91	6,67	15,88	7,98	15,63	7,89
5mm	11,71	12,90	11,43	12,18	11,07	11,01	11,59	12,64	11,48	12,20

Fonte Autor

**Figura 3** Gráfico Pressão x Vazão (Bomba DC para 35°C)



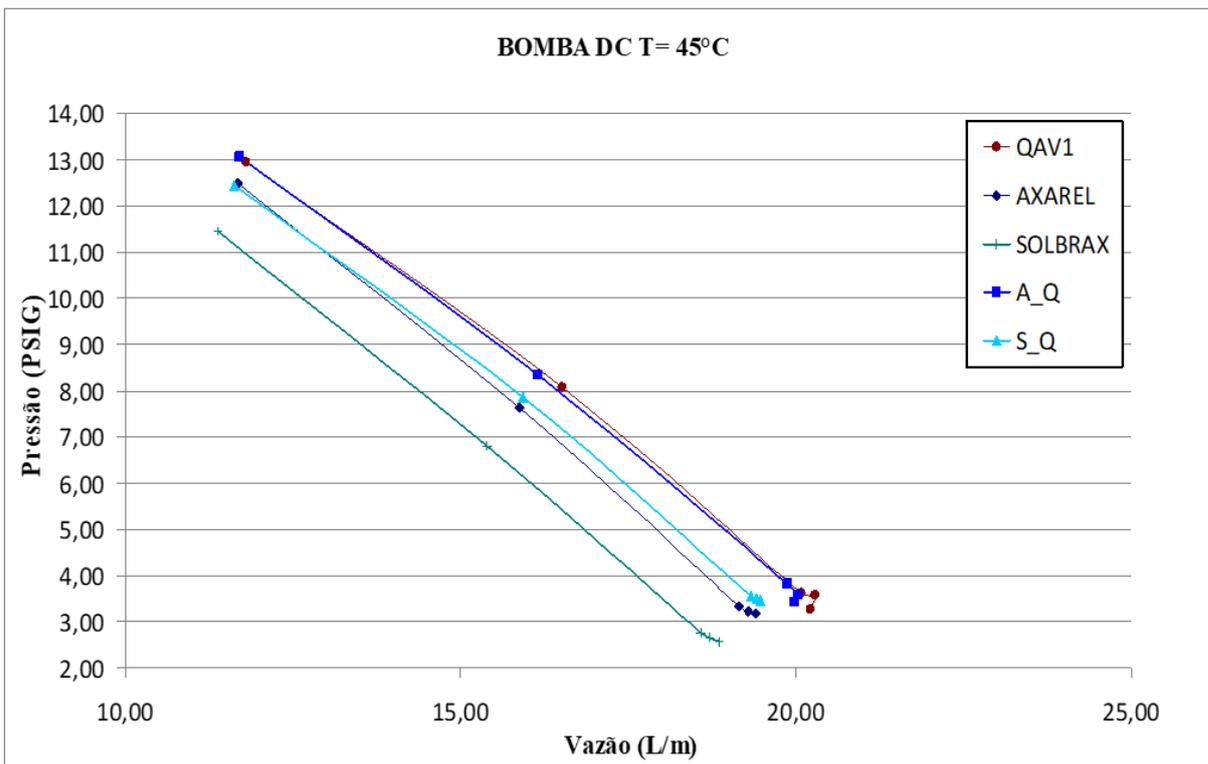
Fonte Autor

**Tabela 6** Desempenho da Bomba DC para 45°C

<b>Valores Médios Para Bomba - DC T=45°C</b>										
Condição	QAV1		Axarel		Solbrax		50%Axarel 50%QAV1		50%Solbrax 50%QAV1	
	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)
Sem Restritor	20,22	3,28	19,39	3,19	18,86	2,56	19,98	3,43	19,47	3,48
16mm	20,29	3,59	19,29	3,23	18,71	2,66	20,02	3,57	19,41	3,52
14mm	20,08	3,63	19,15	3,33	18,58	2,76	19,87	3,82	19,34	3,55
7mm	16,51	8,08	15,88	7,65	15,39	6,80	16,16	8,34	15,94	7,87
5mm	11,80	12,95	11,69	12,48	11,39	11,46	11,71	13,06	11,63	12,44

Fonte Autor

**Figura 4** Gráfico Pressão x Vazão (Bomba DC para 45°C)



Fonte Autor

## 6 DESCRIÇÃO DO ENSAIO BOMBA AC

1. O combustível deverá ser testado a  $T^1=20\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $T^2=35\pm 2^\circ\text{C}$  e  $T^3=45\pm 2^\circ\text{C}$ ;
  2. Abastecer os tanques com querosene de aviação QAV1 e garantir que não haja vazamentos;
  3. Manter a válvula da linha da bomba AC totalmente aberta e travada nesta posição;
  4. Manter a válvula da linha da bomba DC totalmente fechada e travada nesta posição;
  5. Garantir que não haja restritores instalados nas linhas;
  6. Ligar o sistema de aquisição de dados;
  7. Medir a densidade e temperatura do querosene contido nos tanques;
  8. Ligar a bomba AC e aguardar a estabilização do fluxo;
  9. Iniciar a gravação dos dados a uma taxa de 10Hz por aproximadamente 2 minutos;
  10. Encerrar a gravação e desligar a bomba AC;
  11. Instalar o restritor de 16 mm e repetir os passos nº5 até 9;
  12. Substituir restritor de 16 mm pelo restritor 14 mm e repetir os passos nº5 até 9;
  13. Substituir restritor de 14 mm pelo restritor 7 mm e repetir os passos nº5 até 9;
  14. Substituir restritor de 7 mm pelo restritor 5 mm e repetir os passos nº5 até 9;
  15. Aquecer combustível conforme descrito no passo nº1 e repetir os passos nº2 até 15
- Após a realização dos ensaios com querosene de aviação (QAV1), o dispositivo deverá ser drenado e seco, garantindo a eliminação de qualquer resquício de querosene.

Os tanques deverão ser abastecidos com AXAREL 3000 e os passos citados acima serão repetidos em sua totalidade, permanecendo constantes as demais condições. Da mesma forma será feito com o SOLBRAX ECO270/310.

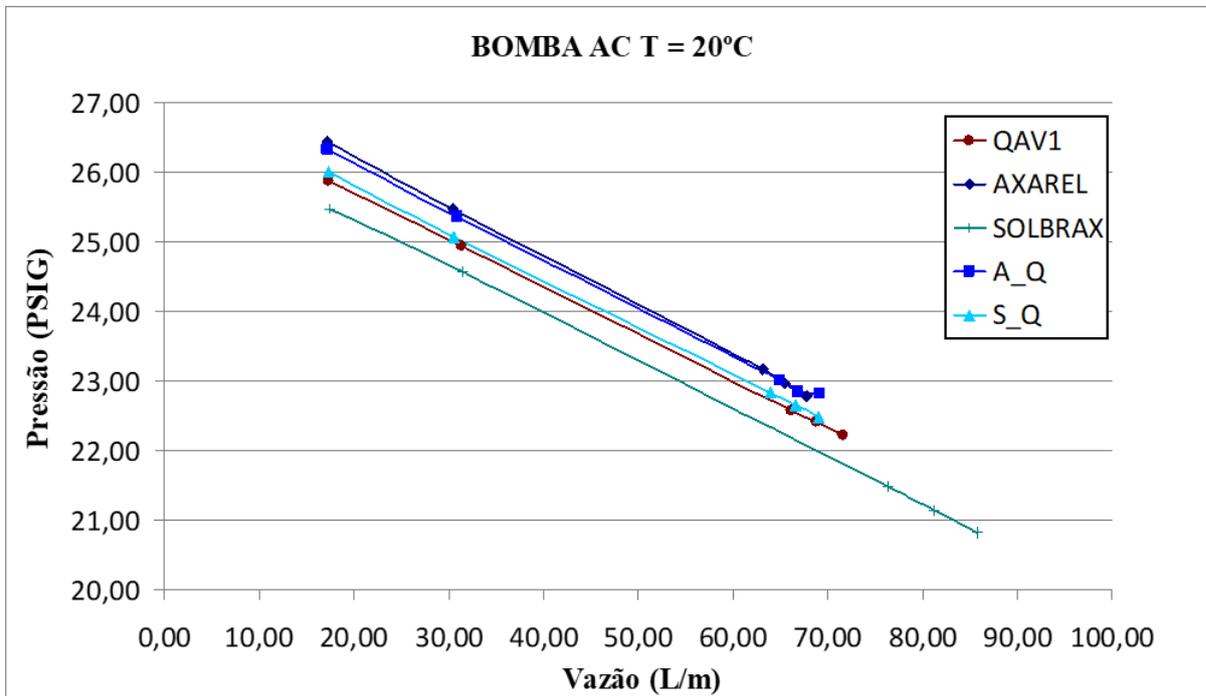
## 7 RESULTADOS DO ENSAIO BOMBA AC

**Tabela 7** Desempenho da Bomba AC para 20°C

<b>Valores Médios Para Bomba - AC T=20°C</b>										
<b>Condição</b>	<b>QAV1</b>		<b>Axarel</b>		<b>Solbrax</b>		<b>50%Axarel 50%QAV1</b>		<b>50%Solbrax 50%QAV1</b>	
	<b>Vazão (l/m)</b>	<b>Pressão (psig)</b>	<b>Vazão (l/m)</b>	<b>Pressão (psig)</b>	<b>Vazão (l/m)</b>	<b>Pressão (psig)</b>	<b>Vazão (l/m)</b>	<b>Pressão (psig)</b>	<b>Vazão (l/m)</b>	<b>Pressão (psig)</b>
<b>Sem Restritor</b>	71,57	22,21	67,72	22,78	85,76	20,82	69,20	22,81	68,99	22,48
<b>16mm</b>	68,83	22,41	65,40	22,97	81,17	21,15	66,83	22,84	66,57	22,65
<b>14mm</b>	66,09	22,58	63,10	23,18	76,31	21,49	64,96	23,01	63,96	22,83
<b>7mm</b>	31,35	24,94	30,36	25,48	31,43	24,57	30,90	25,36	30,54	25,07
<b>5mm</b>	17,30	25,87	17,13	26,44	17,41	25,47	17,15	26,33	17,23	26,00

Fonte Autor

**Figura 5** Gráfico Pressão x Vazão (Bomba AC para 20°C)



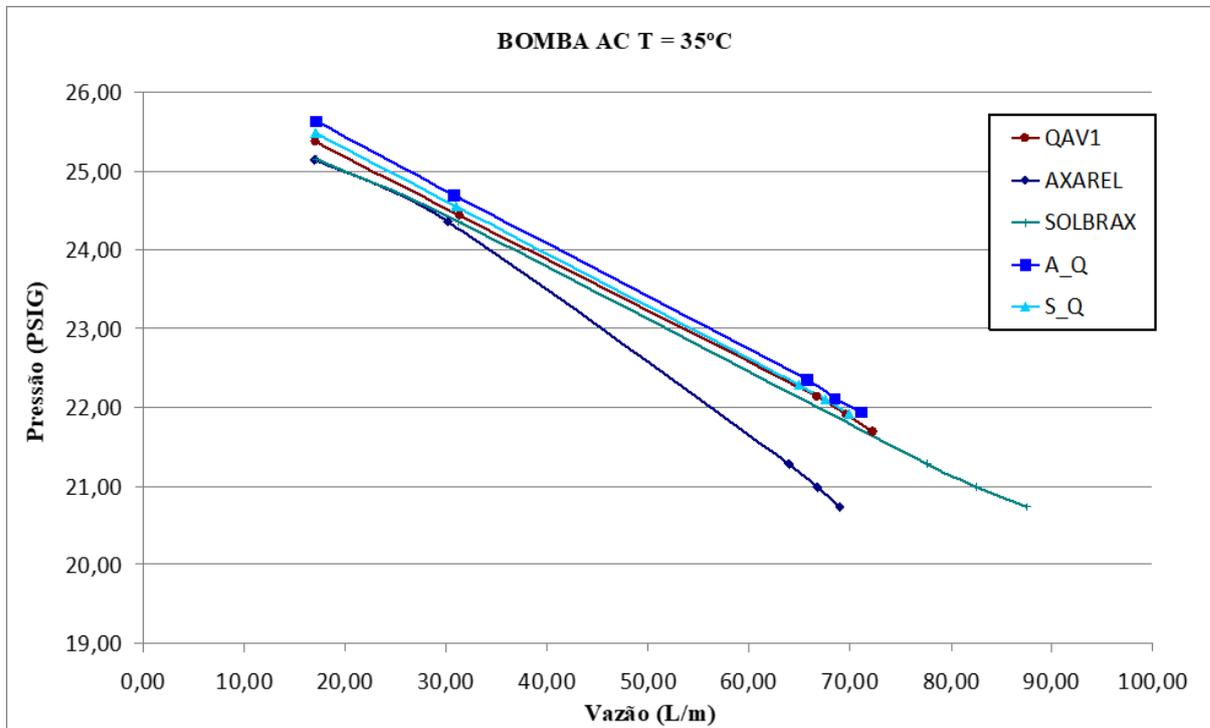
Fonte Autor

**Tabela 8** Desempenho da Bomba AC para 35°C

<b>Valores Médios Para Bomba - AC T = 35°C</b>										
Condição	QAV1		Axarel		Solbrax		50%Axarel 50%QAV1		50%Solbrax 50%QAV1	
	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)
Sem Restritor	72,29	21,70	69,05	22,42	87,54	20,73	71,11	21,94	69,94	21,92
16mm	69,62	21,91	66,74	22,60	82,55	20,98	68,50	22,12	67,55	22,10
14mm	66,78	22,14	63,99	22,77	77,58	21,28	65,78	22,36	64,98	22,28
7mm	31,39	24,44	30,17	25,23	31,25	24,36	30,67	24,70	30,96	24,55
5mm	17,06	25,37	17,02	26,08	17,29	25,14	17,03	25,63	17,12	25,49

Fonte Autor

**Figura 6** Gráfico Pressão x Vazão (Bomba AC para 35°C)



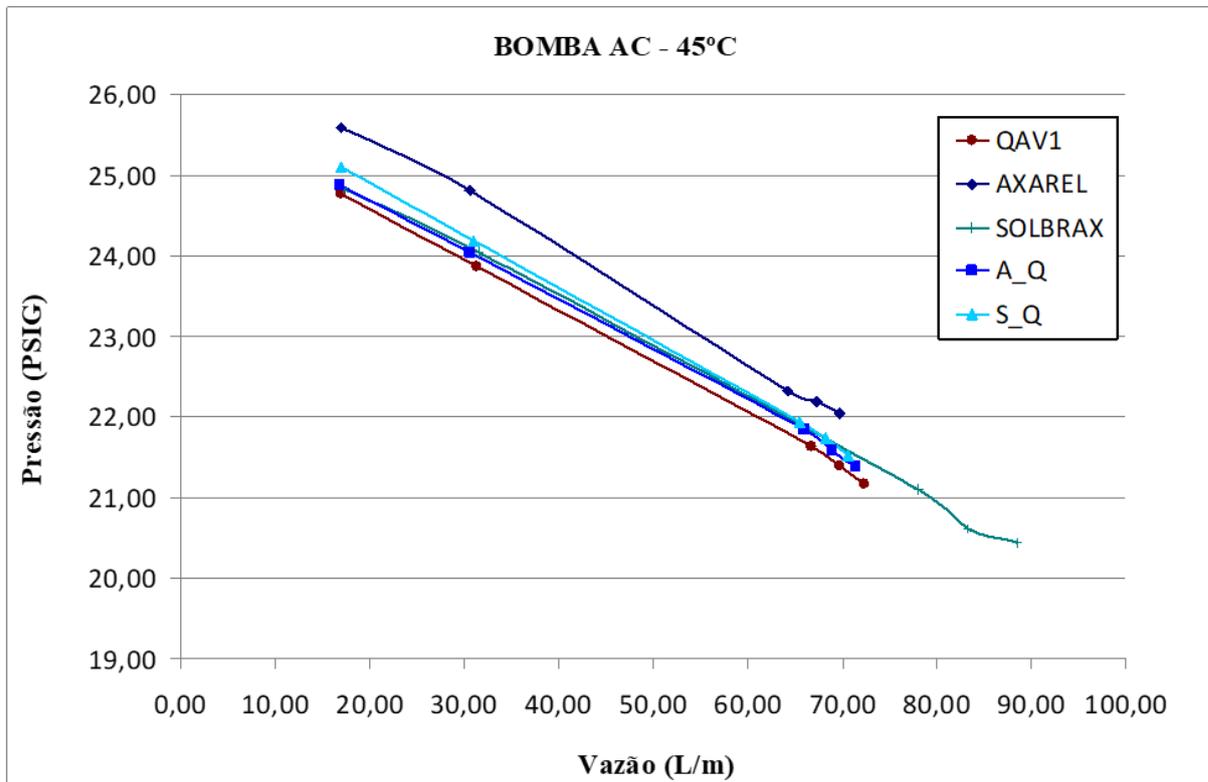
Fonte Autor

**Tabela 9** Desempenho da Bomba AC para 45°C

<b>Valores Médios Para Bomba AC T=45°C</b>										
Condição	QAV1		Axarel		Solbrax		50%Axarel 50%QAV1		50%Solbrax 50%QAV1	
	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)	Vazão (l/m)	Pressão (psig)
Sem Restritor	72,33	21,17	69,69	22,05	88,49	20,44	71,40	21,38	70,63	21,53
16mm	69,74	21,39	67,31	22,19	83,24	20,61	68,93	21,58	68,23	21,74
14mm	66,72	21,64	64,23	22,32	78,05	21,10	65,95	21,84	65,47	21,94
7mm	31,30	23,87	30,69	24,81	31,57	24,04	30,61	24,04	31,00	24,19
5mm	16,98	24,77	16,92	25,59	17,19	24,84	16,80	24,87	17,01	25,10

Fonte Autor

**Figura 7** Gráfico Pressão x Vazão (Bomba AC para 45°C)

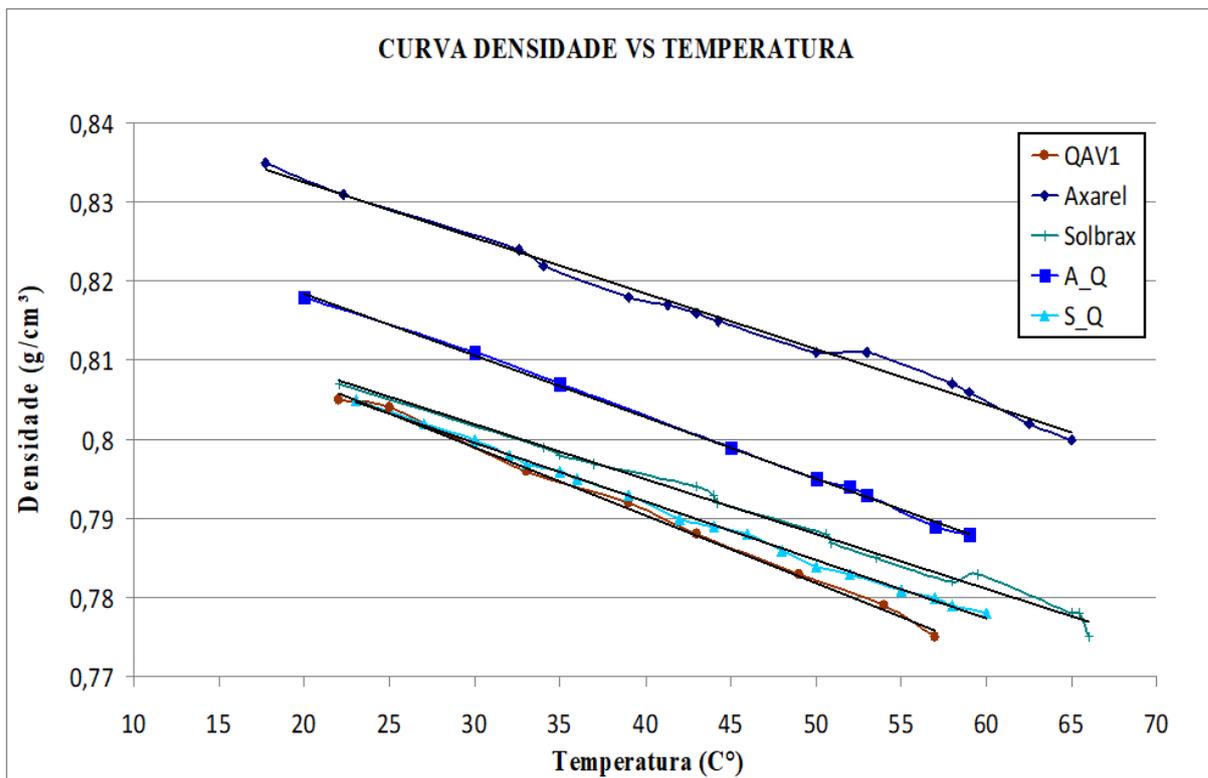


Fonte Autor

## 8 VARIAÇÃO DE DENSIDADE DOS FLUÍDOS

Durante a execução dos ensaios foi feito um levantamento dos valores de densidade dos fluídos, possibilitando a criação de linhas de tendência conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 Comparativo de Densidade x Temperatura



Fonte Autor

## 9 TESTE DE INDICAÇÃO DE CAPACITÂNCIA

Tomando-se como base um sistema de indicação genérico e, mantida todas as demais variáveis constantes, pretende-se realizar comparações para verificação do desempenho dos diferentes fluídos neste sistema.

Para a realização do ensaio de indicação, o tanque mostrado na Figura 1 foi equipado com uma probe capacitiva, comumente utilizada no interior de tanques de aeronaves.

O ensaio consiste em colocar diversos volumes conhecidos dos fluídos alternativos e efetuar a leitura dos sinais fornecidos ao DACS – Data Acquisition System, pela probe de indicação, variando não só as quantidades como também a temperatura dos mesmos, obedecendo aos procedimentos abaixo:

1. Garantir que o tanque esteja limpo e seco;
2. Zerar a balança;
3. Estabilizar a temperatura do fluido inicialmente em  $T = 25^{\circ}\text{C}$ ;
4. Com auxílio de uma proveta, abastecer o tanque com 01 litro do fluido em questão e anotar o valor lido através do DACS;
5. Repetir os passos 3. e 4. até que o nível do tanque esteja acima da “probe” de indicação;
6. Após, drenar o tanque e secá-lo;
7. Repetir o procedimento acima para  $T = 45^{\circ}\text{C}$ .

## 10 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INDICAÇÃO

**Tabela 10** Valores de Indicação Capacitiva para  $25^{\circ}\text{C}$

Leituras da <i>Probe</i> de Indicação para $T = 25^{\circ}\text{C}$								
QAV1			QAV1/ SOLBRAX			QAV1 / AXAREL		
Massa (Kg)	PR	Leitura	Massa (Kg)	PR	Leitura	Massa (Kg)	PR	Leitura
4	0	71,6	4	0	71,7	4	0	71,7
5	0	72,6	5	0	72,6	5	0	72,7
7	0	74,4	7	0	74,4	7	0	74,5
8	10	76,4	8	10	76,2	9	10	76,7
10	20	78,5	10	20	78,6	10	20	79
12	30	80,7	11	30	80,6	12	30	81,2
13	40	82,6	13	40	82,6	13	40	83,3
15	50	84,7	15	40	84,8	15	50	85,6
16	60	86,9	16	50	87	17	60	88
18	60	89	18	60	89	18	70	90,1
19	70	91	19	70	91	20	80	92,4
21	80	93,1	21	80	93,2	21	90	94,9
23	90	95,2	22	90	95,5	23	100	97,1

24	100	97,3	24	100	97,3	25	110	99,6
26	110	99,6	26	110	99,6	26	120	101,8
27	120	101,8	27	120	101,8	28	130	104,3
29	130	103,9	29	130	103,8	29	150	106,6
30	140	106	30	140	106	21	160	108,9
32	150	108,2	32	150	108	33	170	111,2
34	160	110,4	33	160	110,3	34	180	113,6
35	170	112,5	35	170	112,4	36	190	115,9
37	180	114,6	37	180	114,5	37	200	118,2
38	190	116,8	38	190	116,7	39	210	120,6
40	200	118,9	40	200	118,8	41	210	122,9
42	210	121	41	200	120,9	42	220	125,2
43	210	123,1	43	210	122,9	44	230	127,6
45	220	125,2	45	220	124,9	46	230	129,9
46	230	127,5	46	220	127	47	240	132,2
48	230	129,5	48	230	128,9	49	250	134,5
49	240	131,4	49	240	131,2	50	250	136,6
51	240	133,4	51	240	133,4	52	250	138,9
53	250	135,6	52	240	135,2	53	260	141,1
54	250	137,6	54	250	137,2	55	260	143,5
56	250	139,5	56	250	139,2	56	260	144

*Fonte Autor*

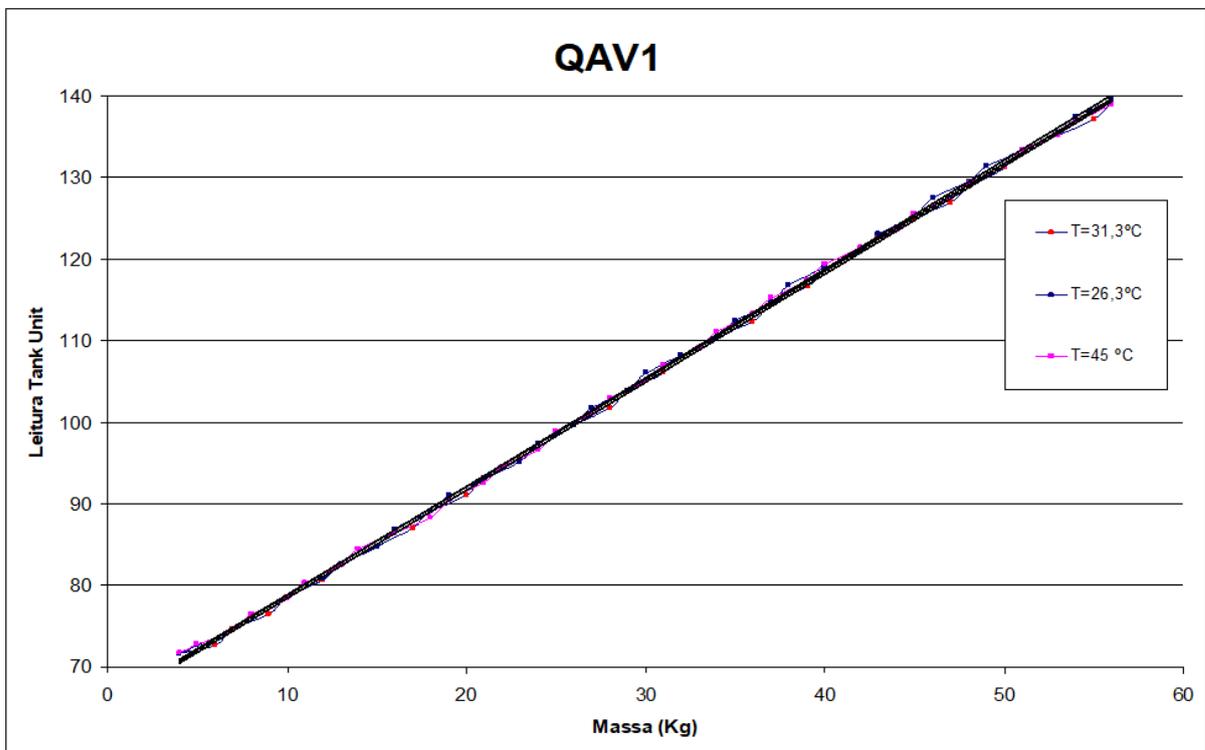
**Tabela 11** Valores de Indicação Capacitiva para 45°C

Leituras da <i>Probe</i> de Indicação para T = 45°C								
QAV1			QAV1/ SOLBRAX			QAV1 / AXAREL		
Massa (Kg)	PR	Leitura	Massa (Kg)	PR	Leitura	Massa (Kg)	PR	Leitura
4	0	71,7	4	0	71,7	4	0	71,7
5	0	72,7	5	0	72,6	5	0	72,7
7	0	74,5	7	0	74,4	7	0	74,4
8	10	76,5	8	10	76,4	9	10	76,5
10	20	78,4	10	20	78,1	10	20	78,6
11	30	80,3	11	20	80	12	30	80,7
13	30	82,4	13	30	82	13	40	82,7
14	40	84,4	14	40	84,1	15	50	84,9
16	50	86,4	16	50	86,1	17	60	87,2
18	60	88,3	17	60	88	18	70	89,4
19	70	90,4	19	70	90	20	80	91,4
21	80	92,5	21	80	92	21	90	93,2
22	90	94,6	22	90	94	23	100	96
24	100	96,6	24	100	96	25	110	98,2
25	110	98,8	25	110	98,1	26	120	100,6
27	120	101	27	120	100,2	28	130	102,9
28	130	103	28	130	102,3	29	140	105,3
30	140	105	30	130	104,2	31	150	107,4
31	150	107	31	140	106,2	33	160	109,5
33	160	109,2	33	150	108,3	34	170	111,8
34	170	111,2	34	160	110,4	36	180	114,1
36	180	113,3	36	170	112,5	37	190	116,2
37	190	115,3	38	180	114,4	39	200	118,7

39	190	117,4	39	190	116,6	40	210	120,9
40	200	119,4	41	200	118,5	42	210	123
42	210	121,5	42	210	120,6	44	220	125,1
44	220	123,6	44	210	122,6	45	230	127,5
45	220	125,5	45	220	124,6	47	230	129,6
47	230	127,6	47	220	126,6	48	240	131,9
48	230	129,4	48	230	128,5	50	240	134
50	240	131,4	50	240	130,6	52	250	136
51	240	133,4	52	240	132,6	53	250	138
53	250	135,3	53	240	134,3	55	260	140
54	250	137	55	250	136,2	56	260	141,1

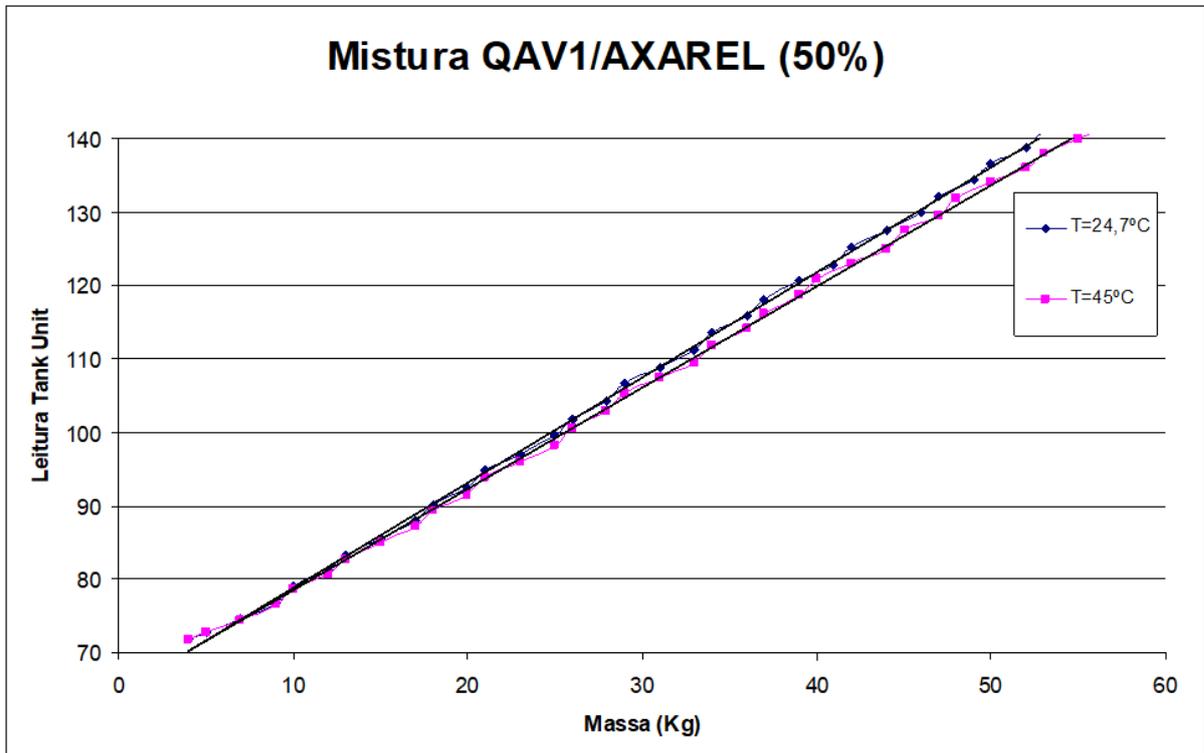
Fonte Autor

**Figura 9** Comparativo de Massa x Indicação Capacitiva para o QAV1



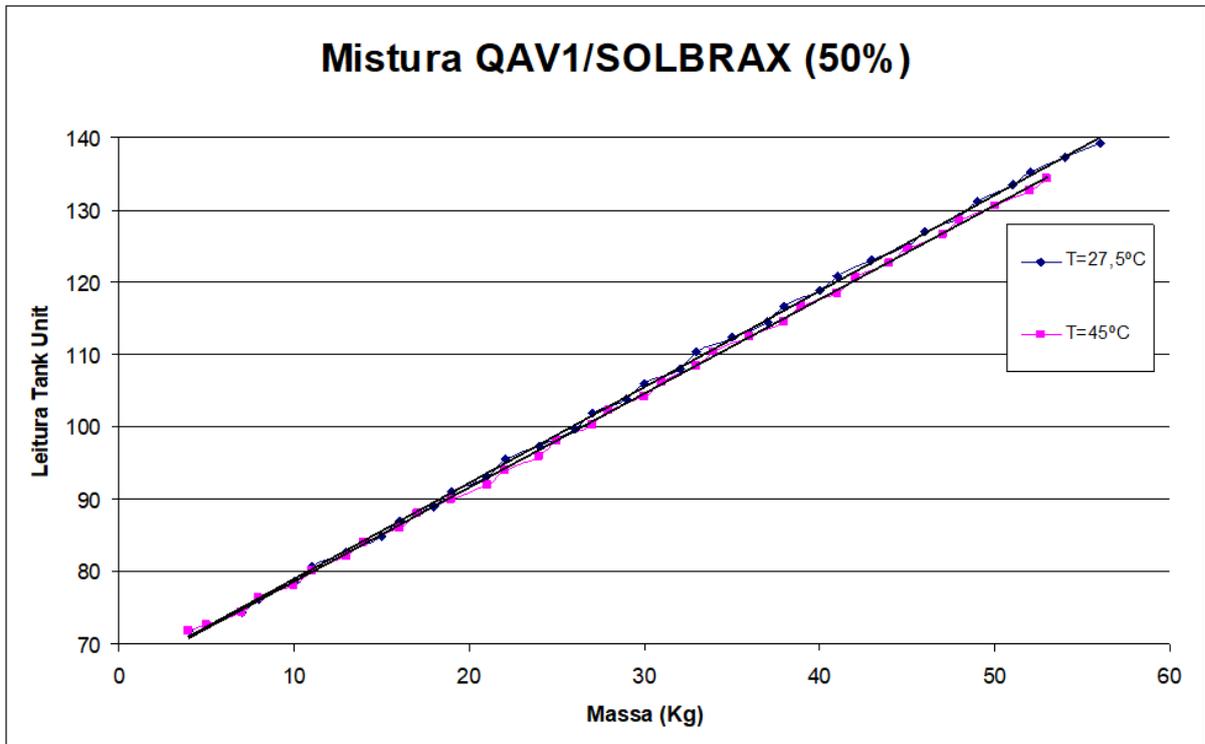
Fonte Autor

Figura 10 Comparativo de Massa x Indicação Capacitiva para Mistura QAV1/Axarel



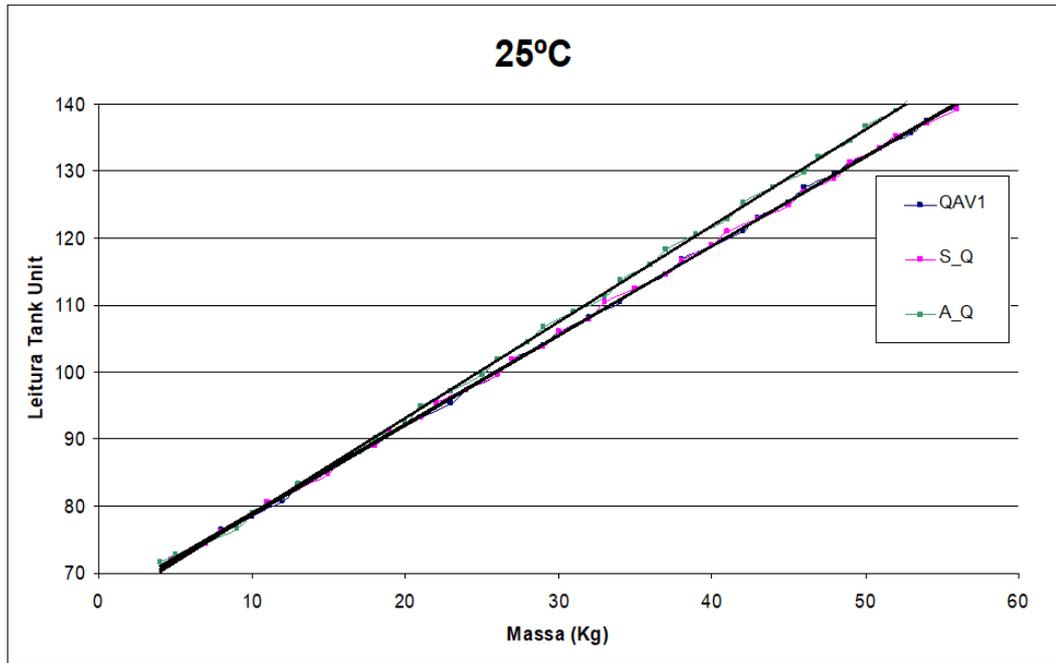
Fonte Autor

**Figura 11** Comparativo de Massa x Indicação Capacitiva para Mistura QAV1/Solbrax



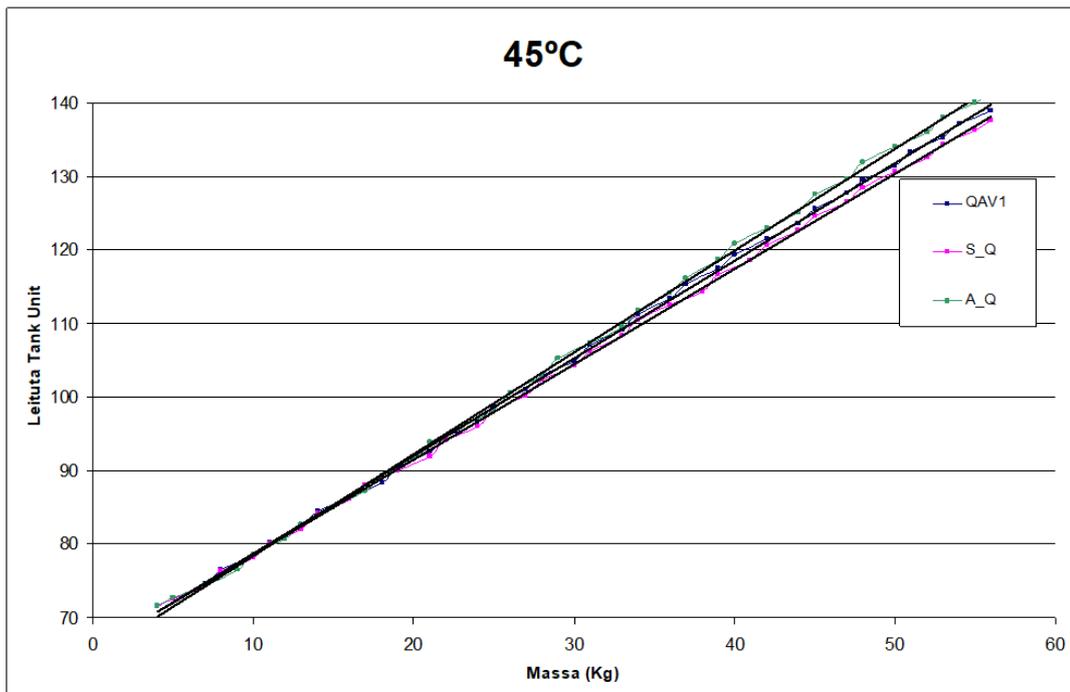
Fonte Autor

Figura 12 Comparativo das Indicações dos Fluidos a 25°C



Fonte Autor

Figura 13 Comparativo das Indicações dos Fluidos a 45°C



Fonte Autor

## 11 TESTE DE COMPATIBILIDADE

Como forma de avaliação preliminar de compatibilidade entre os fluídos e os tipos de materiais mais comumente encontrado no interior dos tanques de combustível e dispositivos de ensaios, três recipientes contendo diferentes amostras destes materiais foram preenchidos com os respectivos fluídos e acompanhados por 06 meses quanto à degradação, mudança de coloração, perda de propriedades ou sinais de corrosão.

Transcorrido este intervalo de tempo, os materiais foram inspecionados e, visivelmente, não foi observada nenhuma mudança que pudesse trazer indícios de incompatibilidade.

**Figura 14** Amostras na Avaliação de Compatibilidade



*Fonte Autor*

## 12 CONCLUSÃO

Apesar das quantidades dos fluídos alternativos terem sido insuficientes para a realização de estudos mais amplos e integralmente representativos, os resultados experimentais obtidos indicam viabilidade potencial no uso de um fluído composto da mistura de SOLBRAX com QAV1.

Dentre os fluídos e misturas testadas, obtivemos bons resultados com a mistura em partes iguais de SOLBRAX + QAV1.

Esta mistura já apresentou boa similaridade nas análises de baixa vazão e ótima representatividade nas análises de média vazão, curvas de densidade e leituras de indicações, quando comparada aos resultados obtidos com o QAV1 a 100% nas mesmas condições.

Esta representatividade pode ser ainda melhor se aumentarmos a proporção de QAV1 na mistura até a taxa na qual o ponto de fulgor permaneça maior ou igual a 90°C.

A determinação da proporção limitante de QAV1 na mistura com SOLBRAX requer a realização de ensaios de inflamabilidade e, posteriormente, a realização de ensaios integralmente representativos e conclusivos, onde se estima a necessidade de aproximadamente 2.500 litros de SOLBRAX.

Comercialmente, a disponibilidade do SOLBRAX é mais facilitada do que o AXAREL, pois este último é importado.

O SOLBRAX pode ser comprado diretamente da Petrobras ou de sua distribuidora SOLVEN, localizada em Paulínia-SP, sendo o custo por litro muito inferior ao do AXAREL.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lei 6514 (CLT) - 22/12/1977 **Consolidação da Leis Trabalhistas**

MIL-PRF-680 – Rev C **Performance Specification Degreasing Solvent**

NR-16 - D.O.U.16/07/2014 **Atividades e Operações Perigosas**

NR-20 - D.O.U.17/07/2014 **Segurança e Saúde no Trabalho com Combustíveis Inflamáveis**

Resolução Nº 37 - DOU 02/12/2009 **Regulamento Técnico para Querosene de Aviação**