



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ENGENHARIA CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Lucas Emanuel Dantas do Nascimento

**Desenvolvimento de um sistema para melhor consumo de combustível em um motor
ciclo Otto: Estudo continuado**

CARAÚBAS

2025

Lucas Emanuel Dantas do Nascimento

**Desenvolvimento de um sistema para melhor consumo de combustível em um motor
ciclo Otto: Estudo continuado**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Rudson de Sousa Lima, Prof. Dr.

CARAÚBAS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N224d Nascimento, Lucas Emanuel Dantas do.
Desenvolvimento de um sistema para melhor
consumo de combustível em um motor ciclo Otto:
estudo continuado / Lucas Emanuel Dantas do
Nascimento. - 2025.
66 f. : il.

Orientador: Rudson de Sousa Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2025.

1. Ciclo Otto. 2. Gasolina vaporizada. 3.
Carburador. I. Lima, Rudson de Sousa, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Sarah Freire Bezerra
CRB: 15/1052

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Lucas Emanuel Dantas do Nascimento

**Desenvolvimento de um sistema para melhor consumo de combustível em um motor
ciclo Otto:** Estudo continuado

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Defendida em: 10/03/ 2025.

BANCA EXAMINADORA

Rudson de Sousa Lima, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Italla Medeiros Bezerra, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Francisco Aécio de Lima Pereira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus Uno e Trino pela Graça da vida, remissão e esperança. Aos meus pais Lindoberto e Soneide por sustentarem e apoiarem essa oportunidade de qualificação profissional e pela dignidade a qual me criaram. A todos os familiares (Avós, Tios, Primos, Padrinhos e Irmão) que das mais diversas formas me ajudaram desde o início dessa jornada.

A Denildo, Wellington, Valdomiro e famílias pela grande força. Aos grandes amigos de minha terra, especialmente Sandro, Paulo e Matheus. E aos amigos que fiz aqui, especialmente Leticia, Jonas, Thiago, Victor, Ezequias e Vitória, Antônio, Lucas. E a todas as outras pessoas que, se diretamente citadas, ocupariam mais de uma lauda.

Ao Professor Orientador Rudson e à Natália pela ideia, suporte, disposição e tempo dedicado e à banca examinadora pelo seu trabalho atencioso.

Toda ciência, cultivada isoladamente, não é somente imperfeita, mas oferece perigos que todos os homens sensatos reconheceram [...]. É necessário passar de um espírito a outro para corrigir um através do outro; é necessário aliar as culturas para não arruinar o solo.

A. D. Sertillanges.

RESUMO

Este trabalho contempla a construção e os ensaios quantitativos e qualitativos de um carburador de vaporização da gasolina por meio de borbulhamento do ar aspirado pela câmara de combustão. Este carburador alimentou um motor de 4 tempos de ciclo Otto, monocilíndrico, estacionário, alimentado por gasolina, de injeção por carburador, originalmente pertencente a um gerador monofásico. O estudo continua os trabalhos desenvolvidos por Lima (2024) e executa as modificações necessárias para os devidos testes quantitativos necessários. O motor passou por ensaios de consumo de combustível sob um regime de rotações em torno de 1700 a 5500 rpm, onde foram avaliados o decréscimo de massa e a rotação média no tempo, a dificuldade de sustentação em velocidades constantes e o perfil de consumo quando alimentado por carburador padrão e pelo carburador de vaporização. Os resultados mostraram que a alimentação por carburador de vapor confere uma maior dificuldade de sustentar rotações fixas fora da faixa de 3500 a 3600 rpm (rotação máxima especificada pelo fabricante). Notou-se um perfil de consumo ligeiramente superior do vapor para o carburador normal, com uma máxima de 6% a mais de consumo a 3600 rpm e considerável dispersão de valores de consumo médio, sinalizando imprevisibilidade no comportamento do dispositivo. Além disso, entre testes, após cerca de 28 minutos de borbulhamento da gasolina, ocorre a separação do combustível em duas fases imiscíveis na cuba do carburador. As fases analisadas consistem em possíveis 83% em teor de EAC e densidade superior à do etanol na fase inferior, e possíveis 5% de EAC na fase superior, com densidade semelhante à gasolina tipo C de controle. Após 5 ensaios, a fase superior perde volatilidade e o borbulhamento do combustível é incapaz de dar partida no motor. No fim, o dispositivo se mostra ineficaz em médio e longo prazo de aplicação, e, em comparação com o carburador original, é inferior em controle de velocidades (e dosagem de combustível), e tem maior consumo, e apresenta maior imprevisibilidade de comportamento, tornando-se ineficiente no estado de desenvolvimento atual.

Palavras-chave: Ciclo Otto, Gasolina Vaporizada, Carburador.

ABSTRACT

This work includes the construction and the quantitative and qualitative testing of a gasoline vaporization carburetor through the bubbling of air aspirated by the combustion chamber. This carburetor supplied a four-stroke, single-cylinder, stationary Otto cycle engine, fueled by gasoline and using a carburetor injection system, originally belonging to a single-phase generator. The study continues the work developed by Lima (2024) and implements the necessary modifications for the required quantitative tests. The engine underwent fuel consumption tests under a speed regime ranging from approximately 1700 to 5500 rpm, where mass decrease and average rotational speed over time were evaluated, along with the difficulty of maintaining constant speeds and the consumption profile when fueled by both the standard carburetor and the vaporization carburetor. The results showed that the vaporization carburetor made it more difficult to sustain fixed speeds outside the 3500–3600 rpm range (the maximum speed specified by the manufacturer). A slightly higher consumption profile was observed for the vaporization carburetor compared to the standard carburetor, with a maximum increase of 6% in consumption at 3600 rpm and considerable dispersion in average consumption values, indicating unpredictability in the device's behavior. Additionally, after approximately 28 minutes of gasoline bubbling between tests, phase separation of the fuel into two immiscible layers was observed in the carburetor bowl. The analyzed phases consisted of a possible 83% EAC content with a density higher than ethanol in the lower phase and a possible 5% EAC content in the upper phase, with a density similar to control-grade type C gasoline. After five tests, the upper phase lost volatility, and the fuel bubbling process was unable to start the engine. In the end, the device proved ineffective for medium- and long-term applications. Compared to the original carburetor, it exhibited inferior speed control (and fuel metering), higher consumption, and greater unpredictability in behavior, making it inefficient in its current state of development.

Keywords: Otto Cycle, Vaporized Gasoline, Carburetor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo ideal de um motor de ignição por centelha.....	17
Figura 2 - Valores de Destilação: Gasolina tipo A.....	19
Figura 3 - Efeito dos oxigenados na curva de destilação de gasolinas.....	20
Figura 4 - Esquema básico de um carburador moderno.....	24
Figura 5 - Características da mistura de um carburador simples.....	25
Figura 6 - Bancada de combustível e captação de vídeo.....	27
Figura 7 - Configuração para ensaio de carburador convencional.....	28
Figura 8 - Configuração para ensaio do carburador secundário de vapor.....	29
Figura 9 - Adaptação de rosca sem fim na borboleta de aceleração.....	32
Figura 10 - a) Flange de adaptação na entrada do carburador; b) Dosadores da vasão de ar...33	
Figura 11 - Carburador secundário de vapor construído por Lima (2024).....	34
Figura 12 - Carburador secundário de vapor modificado.....	35
Figura 13 - Furos para borbulhamento de combustível: a) Lima (2024); b) Autor.....	36
Figura 14 - Altura adequada da coluna de combustível e adaptação de boia.....	37
Figura 15 - Combustível não utilizado (esquerda) e combustível após o borbulhamento (direita).....	38
Figura 16 - Perfil ideal de controle de rotações.....	40
Figura 17 - Gasolina vapor 1: Massa e velocidade x tempo.....	40
Figura 18 - Gasolina vapor 1: Consumo x Rotação média.....	41
Figura 19 - Gasolina vapor 2: Massa, Rotação média / tempo.....	41
Figura 20 - Gasolina vapor 2: Consumo/Rotação média.....	42
Figura 21 - Gasolina vapor 3: Massa, Rotação média / tempo.....	43
Figura 22 - Gasolina vapor 3: Consumo/Rotação média.....	43
Figura 23 - Divisão de fases imiscíveis no carburador secundário.....	44
Figura 24 - Gasolina vapor 4: Massa, Rotação média / tempo.....	44
Figura 25 - Gasolina vapor 4: Consumo/Rotação média.....	45
Figura 26 - Evolução da divisão de fases após o quarto ensaio.....	45
Figura 27 - Gasolina vapor 5: Massa, Rotação média / tempo.....	46
Figura 28 - Gasolina vapor 5: Consumo/Rotação média.....	46
Figura 29 - Evolução da divisão de combustível após o quinto ensaio.....	47
Figura 30 - Gasolina líquida 1: Massa, Rotação média / tempo.....	48
Figura 31 - Gasolina líquida 1: Consumo/Rotação média.....	48

Figura 32 - Gasolina líquida 2: Massa, Rotação média / tempo.....	49
Figura 33 - Gasolina líquida 2: Consumo/Rotação média.....	49
Figura 34 - Gasolina líquida 3: Massa, Rotação média / tempo.....	50
Figura 35 - Gasolina líquida 3: Consumo/Rotação média.....	50
Figura 36 - Gasolina líquida 4: Massa, Rotação média / tempo.....	51
Figura 37 - Gasolina líquida 4: Consumo/Rotação média.....	51
Figura 38 - Gasolina líquida 5: Massa, Rotação média / tempo.....	52
Figura 39 - Gasolina líquida 5: Consumo/Rotação média.....	52
Figura 40 - Resultados globais da gasolina vapor.	53
Figura 41 - Resultados globais da gasolina líquida.	53
Figura 42 - Curvas de consumo individuais e globais: a) Gasolina vapor; b) Gasolina líquida.	54
Figura 43 - Curvas de consumo: a) Individuais; b) Globais.....	56
Figura 44 - Leitura das massas (amostra + picnômetro): a) Gasolina de controle; b) Fase inferior; c) Fase superior.....	57
Figura 45 – Leitura da fase aquosa das amostras: a) Gasolina de controle; b) Fase inferior; c) Fase superior.....	58
Figura 46 - Fases inferior e superior pós mistura com gasolina de controle.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balanço energético da queima dos combustíveis.	22
Tabela 2 - Resultados do ensaio de picnometria.	57
Tabela 3 - Fase líquida e teor de EAC das amostras.	59

SIMBOLOGIA, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

$C_2H_5OH_{(l/v)}$	Molécula de etanol no estado líquido ou vapor
$C_8H_{18(l/v)}$	Molécula de octana no estado líquido ou vapor
$CO_{2(g)}$	Molécula de gás carbônico
EAC	Etanol anidro combustível
GNV	Gás natural veicular
$H_2O_{(g)}$	Molécula de água no estado gasoso
MCI	Motor de combustão interna
$N_{2(g)}$	Molécula de gás nitrogênio
NaCl	Cloreto de sódio
$O_{2(g)}$	Molécula de gás oxigênio
$R_{A/C}$	Razão ar-combustível
$R_{C/A}$	Razão combustível-ar
PVR	Pressão de vapor Reid

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Problemática e justificativa	14
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Motores de combustão interna	16
2.1.1 Ciclo Otto	16
2.2 Combustíveis utilizados em motores de ciclo Otto	18
2.2.1 Gasolina	18
2.2.2 Álcool	19
2.2.3 Poder calorífico.....	21
2.3 Injeção de combustível	23
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Materiais.....	25
3.1.1 Motor	25
3.1.2 Combustível.....	25
3.1.3 Instrumentos de medição	26
3.2 Ensaios	26
3.2.1 Ensaio de consumo	26
3.2.2 Ensaio de massa específica indireta.....	30
3.2.3 Determinação do teor de etanol anidro combustível	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Construção do dispositivo	32
4.1.1 Acelerador	32
4.1.2 Entrada do carburador e dosadores de ar	32
4.1.3 Carburador secundário.....	33
4.2 Combustível pós borbulhamento	38
4.3 Ensaio de consumo	38
4.3.1 Comportamento do motor quando alimentado por carburador secundário de vapor. 38	
4.3.2 Gasolina vapor - Ensaio 1	39
4.3.3 Gasolina vapor - Ensaio 2.....	41

4.3.4	Gasolina vapor - Ensaio 3.....	42
4.3.5	Gasolina vapor - Ensaio 4.....	44
4.3.6	Gasolina vapor - Ensaio 5.....	45
4.3.7	Gasolina vapor - Ensaio 6.....	47
4.3.8	Comportamento do motor por alimentação convencional.....	47
4.3.9	Gasolina líquida - Ensaio 1.....	47
4.3.10	Gasolina líquida - Ensaio 2.....	48
4.3.11	Gasolina líquida - Ensaio 3.....	49
4.3.12	Gasolina líquida - Ensaio 4.....	50
4.3.13	Gasolina líquida - Ensaio 5.....	51
4.3.14	Progressão e repetibilidade.....	52
4.4	Ensaio de massa específica indireta	57
4.5	Ensaio de determinação de etanol anidro combustível	58
4.5.1	Considerações acerca do consumo e comportamento do motor.....	59
4.5.2	Considerações acerca dos combustíveis	60
5	CONCLUSÕES.....	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Os motores de combustão interna, estudados e desenvolvidos a partir de 1862 por Beau de Rocha, e continuados por Nikolaus August Otto (1876), Dugald Clerk (1878), Rudolf Christian Karl Diesel (1892), entre outros, tem por modo de funcionamento a conversão de energia química em energia mecânica, proveniente da queima explosiva da mistura entre um combustível e um fluido de trabalho (geralmente o ar atmosférico) em uma câmara de combustão que converte a rápida expansão do fluido ativo após a queima em energia mecânica. À medida que estes motores evoluíram em tecnologia, potência e eficiência, seu uso em aplicações simples e complexas, de diversas demandas de potência espalharam-se pelo mundo e, nos dias atuais, estão presentes em ferramentas manuais como motosserras, veículos urbanos, aviação, transporte marítimo e ferroviário e geração de energia (BRUNETTI, 2018).

Dentre as inúmeras variáveis que determinam e influenciam o desempenho e a eficiência final destas máquinas, o tipo de ciclo termodinâmico envolvido, o combustível queimado, a forma de alimentação de ar e combustível e a mistura queimada são de grande peso no resultado final.

Apesar de os sistemas de injeção eletrônica de combustível conquistarem um grande avanço, por conta de sua precisão, economia e menor poluição e serem predominantes na aplicação automotiva a partir de 1986 após as restrições de emissões da resolução CONAMA nº 18/86 (BRASIL, 1986), os motores carburados são fabricados até os dias de hoje principalmente em pequenas aplicações, como ferramentas manuais (cortadores de grama) e geradores à gasolina, por conta de seu controle puramente mecânico, facilidade de fabricação e manutenção, mesmo que entreguem um controle menos eficiente da dosagem de combustível e possam acarretar em desperdício de combustível.

Neste trabalho, pretende-se explorar o comportamento de um motor de combustão interna de quatro tempos, monocilíndrico, aspirado, alimentado por gasolina de dois modos diferentes, por carburador convencional, e por vapor de gasolina gerado por um carburador secundário, continuando os estudos iniciados por Lima (2024), e observar se a alimentação por vapor de gasolina provoca uma melhor queima de combustível e um menor consumo, por se tratar de uma mistura mais efetiva do ar/combustível.

1.1 Problemática e justificativa

Sendo os combustíveis à base de petróleo os mais utilizados em motores de combustão interna atualmente, e sua característica de preço volátil (NEXO JORNAL, 2022), a pesquisa de desenvolvimento de sistemas mais eficientes na conversão energética em motores foi desde sempre uma constante. E, sendo a qualidade da combustão um dos fatores primordiais na qualidade de uma máquina de ciclo a gás, um caminho a ser tomado é o aprimoramento desta combustão para a melhoria da eficiência. Segundo Brunetti (2018), os motores de combustão de ciclo Otto possuem três modos básicos de alimentação de combustível, o carburador, que de modo simplificado, fornece combustível por meio de um tubo de Venturi e um difusor, onde o combustível é arrastado pela depressão causada pelo ar que entra na câmara de combustão. O segundo e terceiro modos de alimentação de combustíveis são a injeção mecânica de combustível e a injeção eletrônica de combustível, sendo a última de maior capacidade de controle de alimentação de combustível, proporcionando a queima mais eficiente e minimizando desperdícios e emissões dos gases do escapamento.

No trabalho que precede esse estudo, Lima (2024) mostra que é possível funcionar um motor de ciclo Otto somente com vapor de gasolina e ar, com o intuito de testar o consumo e o comportamento do motor com esse modo de alimentação de combustível, todavia, o sistema utilizado não permitiu o funcionamento do motor por tempo suficiente para que testes quantitativos fossem realizados. Segundo Lima (2024), a falha em manter o motor em funcionamento por tempo apreciável se dá às características do carburador de vaporização utilizado no estudo, sendo estas: o equipamento não possui uma boia, o que dificulta o borbulhamento do combustível numa mesma proporção durante todo o ensaio. O segundo motivo é que os dosadores de ar e vapor de combustível não permitem uma transição de vazões suaves, que facilitem a dosagem da mistura e as mudanças de velocidades nos ensaios. Deste modo, esse trabalho pretende investigar se as adaptações sugeridas por Lima (2024) propiciam o correto funcionamento do motor e se, a alimentação de gasolina em forma de vapor somente, gera uma melhor queima de combustível e há economia de combustível aparente.

Esse trabalho possui relevância econômica e ambiental pois, sendo a gasolina um recurso de relativa escassez e elevado custo de produção e distribuição, estudos que testem um menor consumo de combustível e um melhor aproveitamento da energia química da gasolina podem representar ganhos econômicos. Além disso, possibilidades de melhorias em motores carburados podem significar inovação, visto que, apesar de baixo uso no meio automotivo e de grande escala, grande parte dos motores de pequeno porte são carburados, e a possibilidade de

um sistema de alimentação de combustível mais eficiente ao mesmo tempo que mantém a simplicidade de um sistema totalmente mecânico é apreciável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento e consumo de um motor Otto 4T monocilíndrico aspirado quando alimentado pelo carburador convencional e pela mistura de vapor de gasolina e ar proveniente do carburador de vapor.

1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um vaporizador de combustível funcional que permita o funcionamento do motor por tempo suficiente de ensaio;
- Analisar comparativamente o comportamento e consumo do motor quando alimentado por gasolina líquida e quando alimentado por vapor de gasolina em diferentes faixas de rotação;
- Analisar o combustível utilizado, antes e após a passagem pelo carburador de vapor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Motores de combustão interna

Os motores de combustão são máquinas térmicas que transformam calor em trabalho mecânico por meio da queima de combustível e aproveitamento da energia de expansão da queima deste, por meio dos ciclos de potência. Os motores de combustão podem ser divididos na categoria de combustão externa onde o combustível é queimado externamente ao motor e o calor é transferido para um fluido interno ao motor, este por sua vez mudará seu estado energético e por meio de variações de pressão e volume a energia mecânica é retirada do sistema. Estes ciclos estão comumente presentes nas usinas de potência a vapor, de sistema fechado. Ao fluido que efetivamente participa da conversão de energia citada, dá-se o nome de fluido ativo (ÇENGEL e BOLES, 2013).

Os motores de combustão interna, por sua vez, não utilizam uma fonte externa de fornecimento de calor. Neles, o próprio fluido ativo sofre reação de combustão, gerando calor e sofrendo aumento de pressão e volume, que é convertido em trabalho mecânico. O fluido ativo mantém-se no estado gasoso durante toda reação, e o ciclo não é fechado, já que após a combustão, o ar é renovado para um novo ciclo, sendo, portanto, motores de ciclos de potência a gás abertos, conforme dito por Çengel e Boles (2013). Exemplos destes tipos de motores são os motores rotativos como as turbinas a gás, e os motores alternativos (dotados de pistão que descreve o movimento de vai-e-vem), como os motores de cilindros utilizados nos automóveis convencionais à diesel, gás ou gasolina (BRUNETTI, 2018).

Além de poderem ser classificados pelo movimento do pistão, esses motores também podem ser classificados pelo gás admitido, sendo o ar, ou ar e combustível, pela forma de ignição do fluido ativo, por centelha ou auto ignição causada pela compressão, pelo movimento alternativo ou rotativo do pistão, pelo ciclo de trabalho de 2 ou 4 tempos, e características construtivas, como quantidades de cilindros, geometria e aplicação. (MARTINELLI JR., 2003).

2.1.1 Ciclo Otto

Dado que o motor utilizado nesse estudo possui um ciclo de trabalho de quatro tempos, com ignição por faísca, e alimentação por gasolina, o ciclo Otto ideal é o ciclo que mantém características semelhantes à operação real, segundo Çengel e Boles (2013). Os quatro tempos característicos desse tipo de motor podem ser vistos na Figura 1, e são respectivamente:

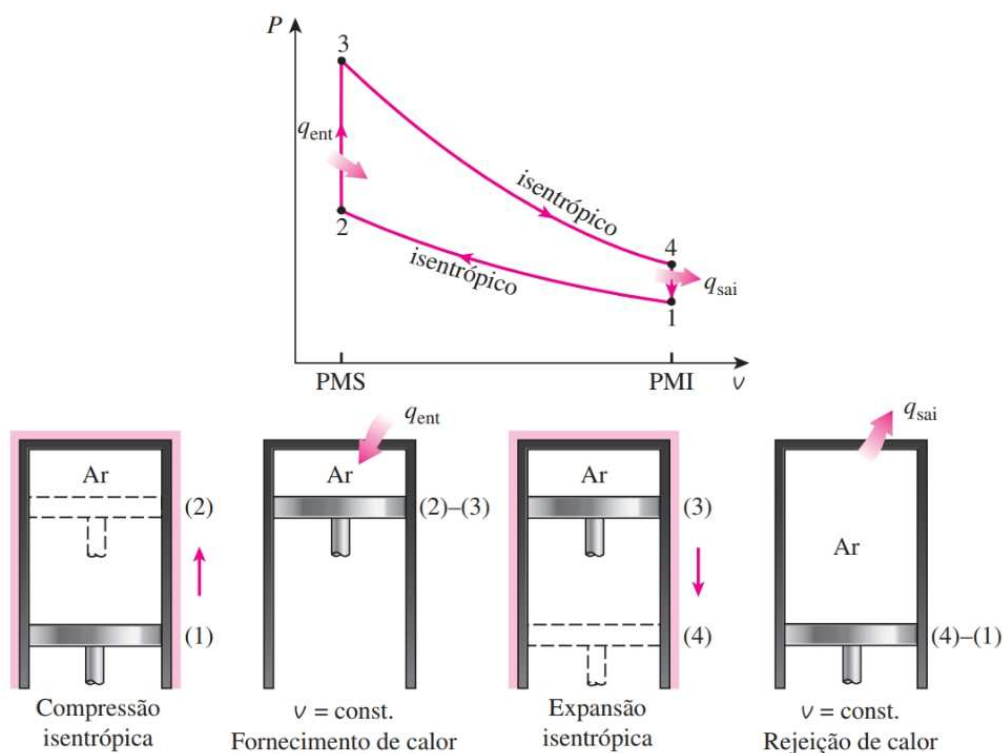
1º tempo: Compressão. O ar é comprimido isentropicamente, e sofre aumento de pressão e redução de volume. No ciclo real, a mistura de ar e combustível é comprimida com a subida do pistão.

2º tempo: Fornecimento de calor (combustão). Calor é fornecido ao fluido ativo, que sofre um grande aumento de pressão à volume constante. No ciclo real, o fornecimento de calor ocorre pela combustão da mistura de ar e combustível, iniciada por uma vela de ignição.

3º tempo: Expansão. O ar se expande isentropicamente, por uma queda de pressão e aumento de volume. No ciclo real, essa expansão ocorre pela descida do pistão após a combustão. Nesse momento, o sistema realiza trabalho mecânico.

4º tempo: Liberação de calor. O ar rejeita calor a volume constante, voltando ao estado inicial do ciclo. No ciclo real, ocorre uma exaustão e renovação do ar para uma nova mistura com combustível e repetição do ciclo.

Figura 1 – Ciclo ideal de um motor de ignição por centelha.



Fonte: Adaptado de Çengel e Boles (2013).

2.2 Combustíveis utilizados em motores de ciclo Otto

Os combustíveis mais comuns utilizados em motores alternativos convencionais são a gasolina, o diesel, o etanol e o gás natural veicular (GNV) (BRUNETTI, 2018), e para ignição por faísca (ciclo Otto), a gasolina, o etanol e o GNV. O motor que foi usado neste estudo é alimentado exclusivamente por gasolina segundo o fabricante.

2.2.1 Gasolina

A gasolina é um composto de diversos hidrocarbonetos com 4 a 12 átomos de carbono, provenientes da destilação atmosférica do petróleo, destilação à vácuo e diversos tratamentos dos subprodutos do petróleo, além de adições de etanol e aditivos para melhorar o desempenho do motor, comportamento à frio (partida) e octanagem (capacidade de não entrar em auto ignição sob altas pressões durante a compressão). Por conta de sua composição diversa, sua volatilidade, e por conseguinte sua temperatura de evaporação ocorre numa longa faixa de temperaturas, como também sua pressão de vapor (FARRÚS, et. al., 2005). Por conta disso, a temperatura em que a mistura ar/combustível entra na câmara, e, conseqüentemente, a tentativa de evaporar a gasolina antes da entrada da câmara de combustão pode interferir significativamente na queima da mistura e no comportamento final do motor.

Segundo Brunetti (2018), a volatilidade de um combustível possui influência na segurança de seu manuseio e no seu desempenho na operação do motor. Essa volatilidade é medida pelos parâmetros de destilação e pressão de vapor.

O ensaio de destilação da gasolina mede a porcentagem do combustível evaporado para diferentes faixas de temperatura, e o ensaio de Pressão de Vapor Reid (PVR), mede a pressão de equilíbrio entre a fase líquida e vapor do combustível em função da temperatura sazonal a qual o motor irá operar. Da destilação da gasolina são obtidos os parâmetros de ponto inicial e final de evaporação (PIE e PFE), e temperaturas nas quais 10%, 50% e 90% do combustível evapora (T10%, T50% e T90%, respectivamente), conforme a Figura 2. O T10% indica os componentes leves que garantem a partida a frio da gasolina, o T50% indica a qualidade da aceleração no aquecimento do motor, e o T90% os componentes de alto ponto de ebulição, indicativo de economia de combustível (BRUNETTI, 2018).

Figura 2 - Valores de Destilação: Gasolina tipo A.

Destilação	Temperatura (°C)
PIE	26 a 38
5% Evaporados	46 a 67
10% Evaporados	51 a 80
15% Evaporados	60 a 100
20% Evaporados	69 a 119
30% Evaporados	79 a 130
40% Evaporados	92 a 138
50% Evaporados	103 a 146
70% Evaporados	112 a 154
80% Evaporados	125 a 164
90% Evaporados	147 a 178
PFE	186 a 220
Resíduo (% Vol.)	1 a 1,1

Fonte: Brunetti (2018).

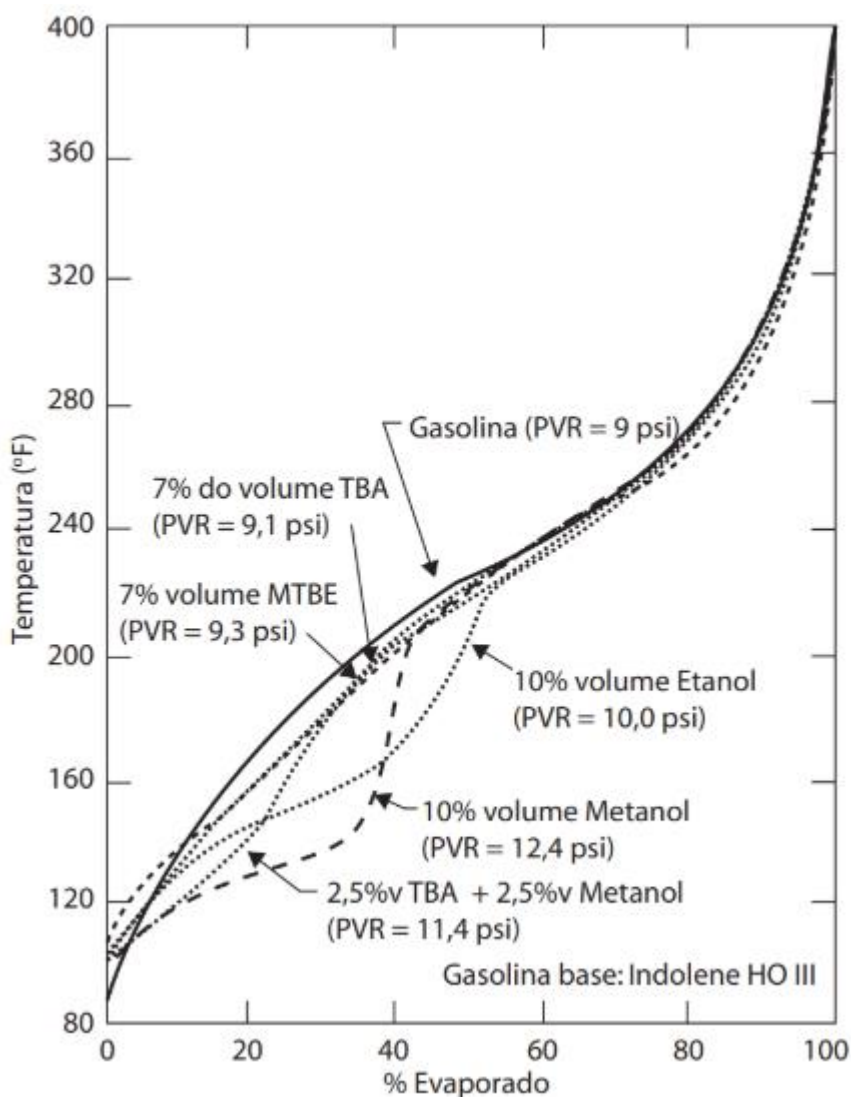
O ensaio de PVR por sua vez, indica a pressão de equilíbrio vapor-líquido do combustível a uma temperatura especificada. Valores altos de PVR indicam facilidade de ignição em partidas a frio. Todavia, principalmente em motores carburados, altas volatilidades causam vaporização e em consequência um aumento do volume específico do combustível, causando perda da eficiência por conta de o combustível ocupar o espaço do ar, ocasionando uma mistura rica (BRUNETTI, 2018).

2.2.2 Álcool

Dentre os combustíveis comercializados no Brasil (UNIPETRO, 2025), aqueles que são utilizados em motores de ciclo Otto viáveis para o desenvolvimento desse estudo resumem-se à gasolina e ao etanol. O etanol é um composto orgânico utilizado e explorado como combustível no Brasil a partir da década de 1970, por incentivo do programa Proálcool, que implementou a sua adição à gasolina como aditivo antidetonante substituindo o chumbo-tetra-etila(tóxico) e também seu uso isoladamente como combustível por sua característica de sustentabilidade e ciclo fechado. Esse composto é obtido por meio da fermentação do mosto do caldo de cana, milho, beterraba ou sorgo, e posteriores destilações do vinho obtido, após isso é armazenado e distribuído (DONATO, 2012). No Brasil, as principais fontes de produção do etanol são a cana de açúcar e o milho (AGRISHOW, 2022; UDOP, 2024).

Ao ser utilizado como combustível puro, o etanol proporciona um bom comportamento à quente por seu poder antidetonante e maior potência, embora apresente um menor poder calorífico em relação à gasolina, uma alta temperatura de ignição e a característica de diluir o óleo lubrificante (FARRÚS, 2005). Como aditivo da gasolina, o etanol melhora a capacidade antidetonante do combustível, e proporciona uma maior volatilidade e aumento da pressão de vapor Reid, visível na Figura 3, onde a adição de 10% aumenta em 1 psi o PVR da gasolina e diminui a temperatura de 20 a 60% de líquido evaporado, facilitando a partida a frio e a qualidade da aceleração no aquecimento, fator crucial para motores carburados (ÁLVAREZ FLÓREZ et al., 2005).

Figura 3 - Efeito dos oxigenados na curva de destilação de gasolinas.



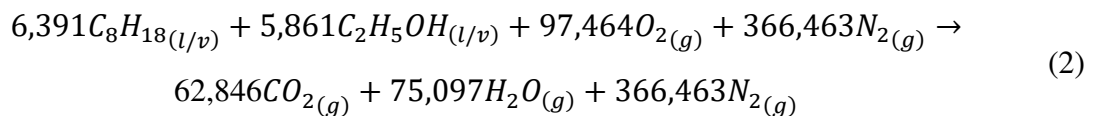
Fonte: Adaptado de Brunetti (2018).

2.2.3 Poder calorífico

O poder calorífico é a medida da quantidade de calor liberada pela queima de um combustível. Para um sistema em regime permanente, essa quantidade de energia depende do balanço energético dado pela Equação 1, resultado da aplicação da primeira Lei da termodinâmica para um sistema em regime permanente com ocorrência de reação química, e é função da diferença entre a entalpia produtos (P) e a entalpia dos reagentes (R). Os índices N_i , $\bar{h}_f^\circ$, $\bar{h}$ e $\bar{h}^\circ$, representam respectivamente o número de mols, entalpia de formação no estado de referência padrão, entalpia sensível no estado especificado, entalpia sensível a 25 °C e 1 atm. Para este balanço energético, tanto o octano, componente principal da gasolina, quanto o etanol possuem maiores valores de entalpia de formação quando participam da reação no estado vapor, contribuindo mais no balanço energético (ÇENGEL e BOLES, 2013).

$$-Q_{saída} = \sum N_P (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ) - \sum N_R (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ) \quad (1)$$

Para a mistura de combustível utilizada nesse estudo, contendo 27% de volume de etanol e 73% de volume de gasolina, a reação química estequiométrica (queima ideal) segue a Equação 2 com suas respectivas concentrações molares.



A partir da Equação 2, faz-se o balanço energético utilizando a Equação 1 para o cálculo do poder calorífico do combustível quando queimado na fase líquida e na fase vapor. Os resultados são mostrados na

Tabela 1 - Balanço energético da queima dos combustíveis.

Balanço energético – Gasolina C (líquida) + ar estequiométrico					
Molécula	N (kmol)	hf° (kJ/kmol)	h 298K (kJ/kmol)	h° 298K (kJ/kmol)	E (kJ/kmol)
C8H18 (l)	6,391	-249950			-1597306,359
C2H5OH (l)	5,861	-277690			-1627478,348
O2(g)	97,464	0	8682	8682	0,000
N2(g)	366,463	0	8669	8669	0,000
Total (Reaj.)					-3224784,707
CO2 (g)	62,846	-393520	9364	9364	-24730991,227
H2O (g)	75,097	-241820	9904	9904	-18159921,234
N2 (g)	366,463	0	8669	8669	0,000
Total (Prod.)					-42890912,461
Qsai (kJ)					39666127,755
qsai (kJ/kg)					3237713,573
Rac					2,82
Rca					0,35
Balanço energético – Gasolina C (vapor) + ar estequiométrico					
Molécula	N (kmol)	hf° (kJ/kmol)	h 298K (kJ/kmol)	h° 298K (kJ/kmol)	E (kJ/kmol)
C8H18 (g)	6,391	-208450			-1332100,462
C2H5OH (g)	5,861	-235310			-1379098,743
O2(g)	97,464	0	8682	8682	0,000
N2(g)	366,463	0	8669	8669	0,000
Total (Reaj.)					-2711199,205
CO2 (g)	62,846	-393520	9364	9364	-24730991,227
H2O (g)	75,097	-241820	9904	9904	-18159921,234
N2 (g)	366,463	0	8669	8669	0,000
Total (Prod.)					-42890912,461

Qsai (kJ)					40179713,256
qsai (kJ/kg)					3279634,548
Rac					2,82
Rca					0,35
$(q(g)-q(l)) / q(l)$					1,29%

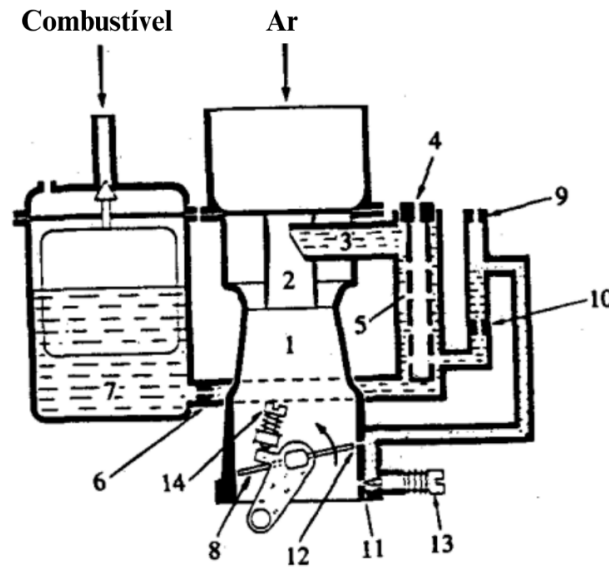
Fonte: Autor (2025), com os dados disponíveis em Çengel e Boles (2013).

Percebe-se por meio da Tabela 1 que a queima estequiométrica da gasolina tipo C, com 27% de volume de etanol apresenta 1,29 % de superioridade energética teórica quando o combustível é queimado no estado vapor em relação à quando é queimado no estado líquido.

2.3 Injeção de combustível

Conforme abordado por Heywood (1988), os sistemas de injeção de combustível para MCI's (motores de combustão interna) são os carburadores e a injeção mecânica ou eletrônica. Os carburadores são dispositivos que em sua forma elementar, se resumem a um tubo de venturi, por onde passa o fluxo de ar sugado pelo pistão para a câmara de combustão. Dentro do venturi há uma agulha pela qual o combustível é arrastado pela depressão causada pela passagem do ar em alta velocidade. Os carburadores modernos por sua vez, possuem diversos subsistemas para o correto funcionamento em variadas situações. Pela Figura 4, pode-se identificar o sistema de alimentação com boia (7), o sistema de alimentação principal venturis (1) e (2), e tubo de alimentação (3). O sistema de alimentação em marcha lenta (11), que fornece uma maior quantidade de ar quando o motor dá partida (tem pouca inércia/sucção e necessita de uma mistura rica de combustível). E o sistema de transição de velocidades (11), (12) e (3) com os mesmos princípios.

Figura 4 - Esquema básico de um carburador moderno.



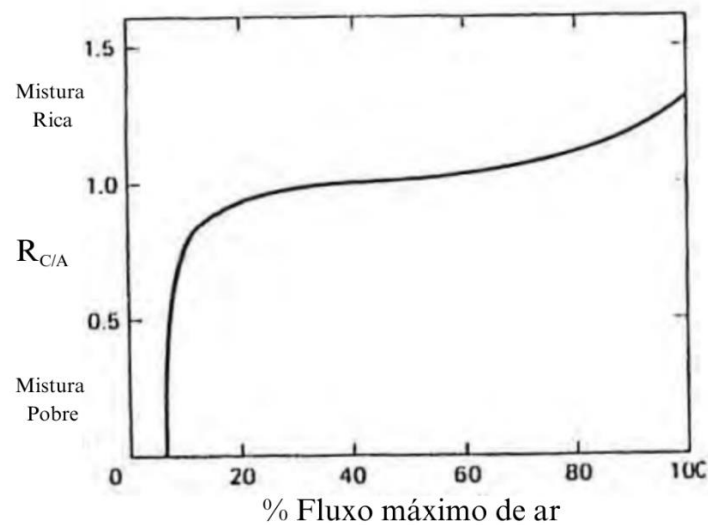
Fonte: Adaptado de Heywood (1988).

Os componentes de um carburador mostrados na Figura 4 são, respectivamente:

1. Venturi principal;
2. Venturi de reforço;
3. Tubo de pulverização ou bico dosador principal;
4. Orifício de sangria de ar;
5. Tubo ou poço de emulsão;
6. Orifício dosador principal de combustível;
7. Câmara de boia;
8. Placa do acelerador (borboleta);
9. Orifício de sangria de ar da marcha lenta;
10. Orifício de combustível da marcha lenta;
11. Orifício de mistura da marcha lenta;
12. Orifício de transição;
13. Parafuso de ajuste da mistura da marcha lenta;
14. Parafuso de ajuste da abertura da borboleta na marcha lenta (HEYWOOD, 1988).

Segundo Stone (1999), à medida que a vazão de ar aumenta, passando pelo tubo de alimentação 3 (Figura 4) uma maior depressão é criada e uma maior quantidade de combustível é arrastada pelo venturi para a câmara, porém, dada a compressibilidade do ar, menores pressões causam uma diminuição da massa específica do ar. Por conta disso, a quantidade de ar em massa que passa pelo carburador não cresce proporcionalmente à vazão e à massa de combustível que é arrastada, por conta disso, a curva característica da razão combustível/ar em função da abertura da borboleta do carburador é não linear e descreve o formato da Figura 5.

Figura 5 - Características da mistura de um carburador simples.



Fonte: Adaptado de Stone (1999).

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 Motor

O motor utilizado no experimento é um motor da marca Toyama, modelo TG2800XE-XP, monocilíndrico, carburado, acoplado a um gerador de energia, que foi recuperado e colocado em funcionamento após troca de carburador antigo e manutenções necessárias. Especificações do fabricante (Ficha técnica e Manual) (TOYAMA DO BRASIL, 2025a) e (TOYAMA DO BRASIL, 2025b).

- Refrigerado a ar;
- Partida manual (desativada) e elétrica;
- Cilindrada: 196 cc;
- Potência máxima de 2,5 kW/kVA;
- Rotação máxima: 3600 rpm;

3.1.2 Combustível

O combustível utilizado foi a gasolina comum tipo C, não aditivada, adquirida de um mesmo fornecedor local.

3.1.3 Instrumentos de medição

A instrumentação utilizada foi:

Tacômetro digital modelo MDT-2238B da marca Minipa;

Balança modelo Mini Balança Digital de Cozinha da marca Titan;

Picnômetro de volume 50 ml da marca SPORTLABOR;

Balança digital de precisão modelo AUY220 da marca SHIMADZU;

Proveta de vidro com tampa volume 100 ml graduada.

3.2 Ensaaios

3.2.1 Ensaio de consumo

O ensaio de consumo do motor seguiu um modelo semelhante ao desenvolvido por Lima (2024). A estrutura de testes foi composta por motor de combustão, bancada de combustível com o recipiente principal de combustível, como mostra a Figura 6, o qual era monitorado pela balança digital, e seus dados eram registrados a cada segundo, em vídeo pela webcam de um notebook. Do recipiente principal de combustível, podiam sair duas mangueiras diferentes, que eram utilizadas uma em cada etapa de testes.

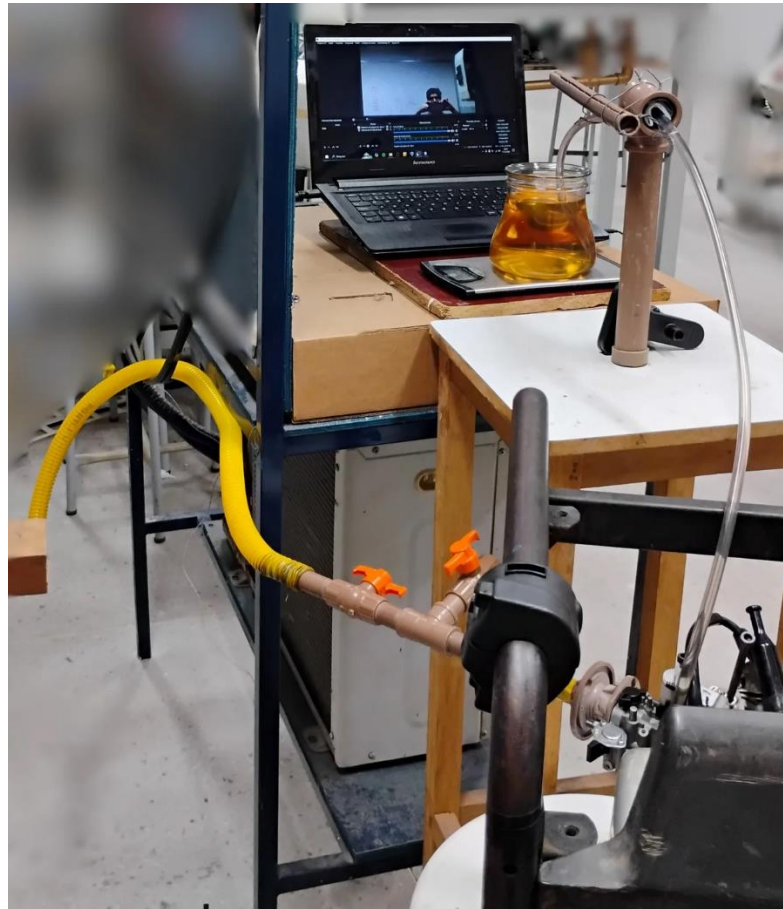
Figura 6 - Bancada de combustível e captação de vídeo.



Fonte: Autor (2025).

A primeira mangueira, alimentava diretamente o carburador principal do motor de acordo com a Figura 7 e nessa configuração, o motor era ensaiado e foi registrado seu comportamento em condições padrão de funcionamento.

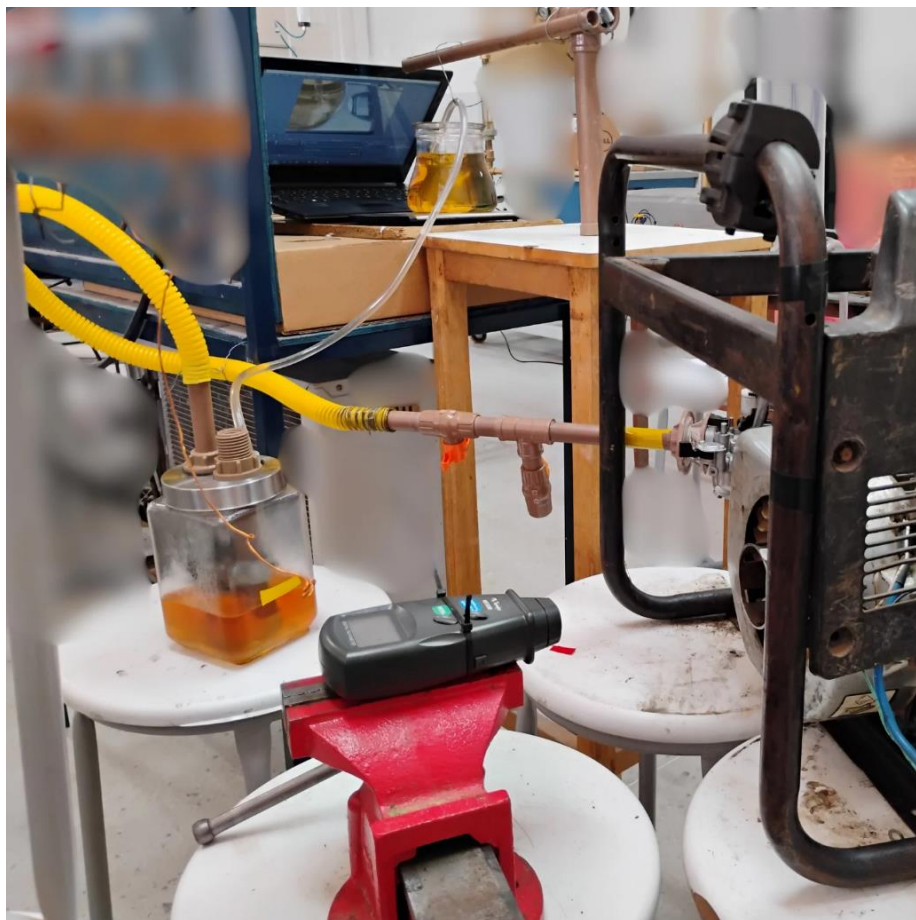
Figura 7 - Configuração para ensaio de carburador convencional.



Fonte: Autor (2025).

A segunda opção de saída do recipiente principal era para a alimentação do carburador secundário de vapor de gasolina, visto na Figura 8. E atrás do motor estava a bancada com o carburador secundário de vapor ainda pela Figura 8, e o medidor óptico de rotação o qual exibia a velocidade do rotor a cada segundo, e os dados eram capturados em vídeo por um aparelho celular. No decorrer dos testes, um sinal sonoro era utilizado para identificar o início do ensaio e os vídeos da rotação e variação de massa foram conjugados em um único dado por meio do software de edição Movavi Video Editor, para posterior processamento no software Excel.

Figura 8 - Configuração para ensaio do carburador secundário de vapor.



Fonte: Autor (2025).

Para o teste de alimentação por carburador convencional, somente a mangueira do carburador principal era ligada ao reservatório principal de combustível. As válvulas de alimentação de ar mantinham-se abertas durante todo o ensaio, e as velocidades do motor eram ajustadas apenas pelo ajuste da rosca sem fim. Vale lembrar que nesse momento o carburador secundário estava desconectado do duto de ar.

Após os testes com o carburador convencional, o motor ainda foi mantido desconectado de qualquer alimentação de combustível e com a válvula de alimentação do carburador convencional aberto, para garantir que todo o combustível do carburador convencional fosse consumido e não houvesse interferências nos testes com a gasolina vapor.

Para o teste de alimentação por carburador secundário de vapor, apenas a mangueira que ligava ao vaporizador de gasolina era ligada ao reservatório principal de gasolina. O aparelho de vaporização era ligado ao duto de ar. Durante a partida, somente o registro de vapor era aberto, para propiciar uma mistura mais rica para a ignição. Após a partida, a válvula de ar era

aberta para controlar a dosagem de combustível. O controle da aceleração do motor era feito principalmente pelos registros de ar, mas, quando necessário uma maior rotação, o sistema de rosca sem fim era utilizado para permitir um maior fluxo de ar para a câmara de combustão.

O regime de ensaio consistia em dar partida no motor, e deixá-lo em baixa rotação por cerca de 1 minuto, e dava-se início à medição de combustível na balança. Após 1 minuto, o motor era mantido na menor rotação possível, cerca de 1900 a 2000 rpm, e contava-se o consumo de 5 g de combustível, após o consumo, aumentava-se a rotação de 500 em 500 rpm para cada 5 g de combustível consumidas, até que se chegasse a uma rotação superior a 5000 rpm, e após os 5 g de combustível consumidos, o teste era finalizado. Somente após um intervalo de 20 minutos para resfriamento do motor, um novo teste era realizado. No total, foram realizados 5 ensaios válidos para o carburador de vapor e 5 ensaios válidos para o carburador convencional.

3.2.2 Ensaio de massa específica indireta

Para o procedimento de aferição de densidade das amostras de combustíveis, seguiu-se os seguintes procedimentos adaptados de Andrade, César e De Paoli (2004):

Aferiu-se a massa do picnômetro vazio e seco. Preencheu-se o picnômetro com água destilada até seu transbordamento, mediu-se a massa do aparelho preenchido e por meio da massa específica da água, pôde-se chegar ao volume do instrumento, conforme as Equações 3 e 4.

$$m_{\text{água}} = m_{\text{total}} - m_{\text{picnômetro}} \quad (3)$$

$$V_{\text{picnômetro}} = \frac{m_{\text{água}}}{\rho_{\text{água}}} \quad (4)$$

Após a secagem, preenchia-se novamente a vidraria com cada uma das amostras, e por meio da pesagem, encontrava-se a massa. Com a massa, foi possível encontrar a massa específica das amostras com a Equação 5:

$$\rho_{\text{amostra}} = \frac{m_{\text{total}} - m_{\text{picnômetro}}}{V_{\text{picnômetro}}} \quad (5)$$

3.2.3 Determinação do teor de etanol anidro combustível

Conforme a NBR 13922 (ABNT, 2017), preencheu-se 50 mL da proveta de 100 mL previamente limpa e seca com cada uma das amostras de combustível por vez, e completava-se a proveta com uma solução aquosa de NaCl a 10% em base de massa. Após isso a proveta foi tampada e invertida 10 vezes para a extração do etanol. Após repouso de 10 min, aferiu-se o volume A (mL) da fase aquosa com aproximação de 0,5 mL e a porcentagem de volume de etanol da amostra é dada pela Equação 6:

$$\%_{EAC} = [(A - 50) \cdot 2] + 1 \quad (6)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Construção do dispositivo

4.1.1 Acelerador

Devido o motor original possuir um sistema de aceleração automático controlado pelo gerador, que foi antecipadamente desmontado, o regulador da borboleta do carburador necessitou de adaptação para que diferentes rotações fossem aplicadas nos testes, sem que a posição da borboleta fosse alterada pela vibração do motor. Deste modo, utilizou-se o mesmo mecanismo adotado por Lima (2024), visto na Figura 9, de engrenagem sem fim, e um pequeno motor DC que tinha apenas a função de mancal de rolamento. Deste modo foi possível posicionar o acelerador em diferentes ângulos de abertura propiciando as rotações requeridas.

Figura 9 - Adaptação de rosca sem fim na borboleta de aceleração.



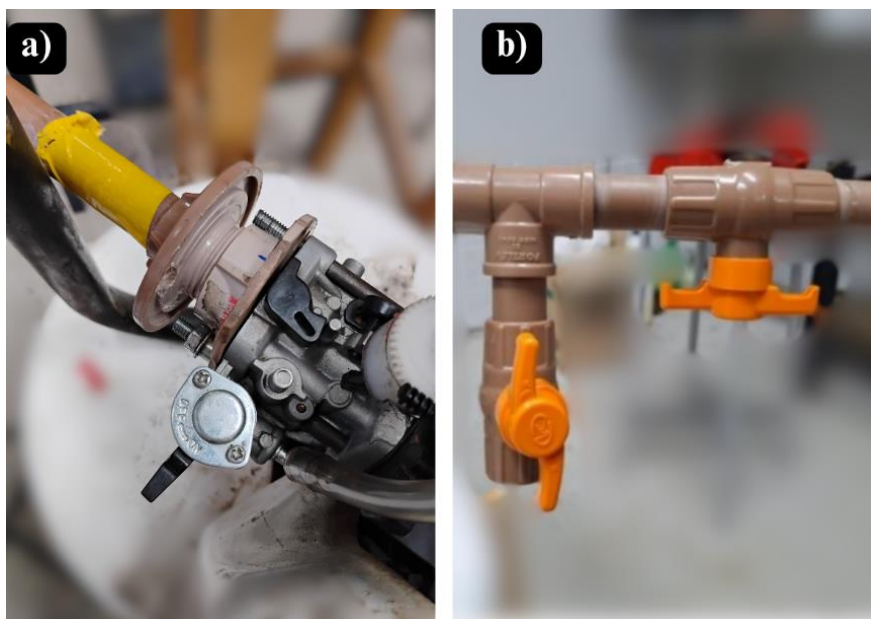
Fonte: Autor (2025).

4.1.2 Entrada do carburador e dosadores de ar

Após testes prévios com o carburador secundário de vapor, chegou-se à conclusão de que a adaptação de uma flange para acoplamento do duto de ar à entrada do carburador (Figura

10, a), e os dosadores de ar do sistema de Lima (2024) (Figura 10, b), proporcionaram um controle satisfatório e por conta disso, manteve-se a configuração anterior para a realização dos testes.

Figura 10 - a) Flange de adaptação na entrada do carburador; b) Dosadores da vasão de ar.



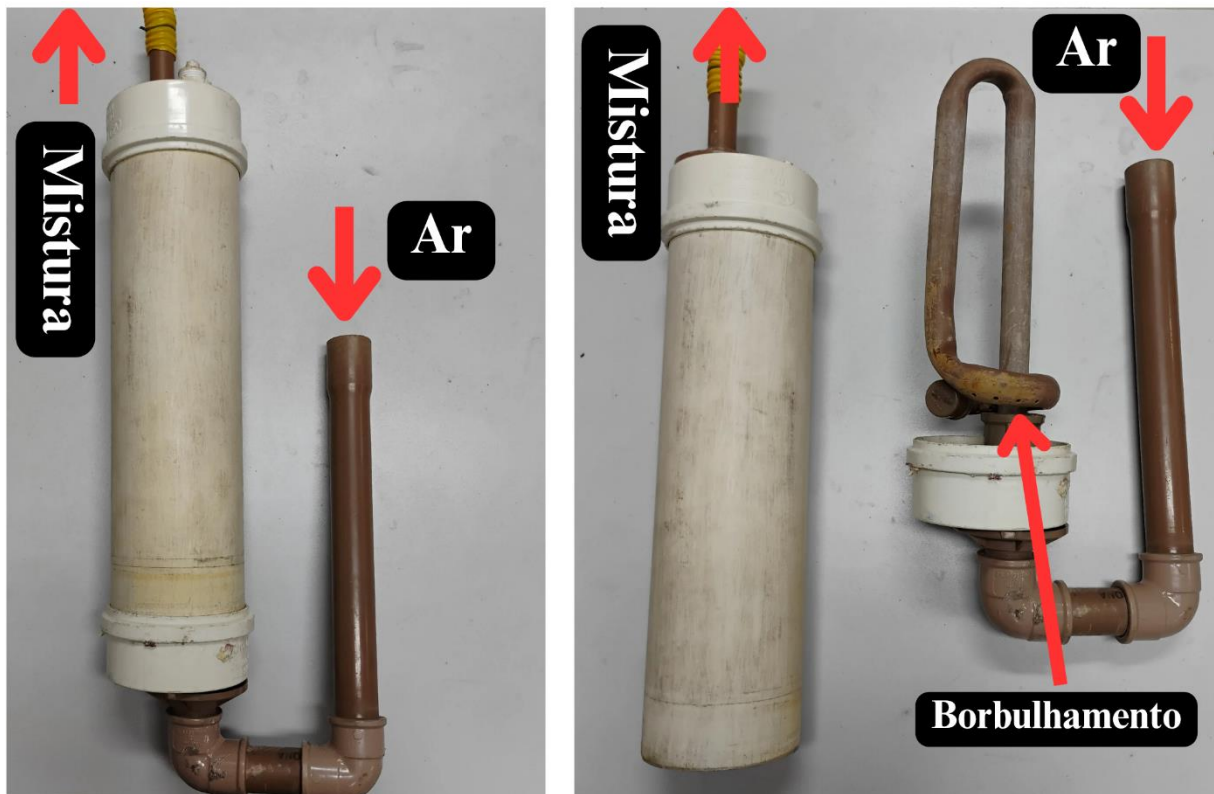
Fonte: Autor (2025).

4.1.3 Carburador secundário

Seguindo as orientações e sugestões para trabalhos futuros citadas por Lima (2024), foi desenvolvido um modelo de vaporização de gasolina semelhante ao modelo desenvolvido por Lima (2024) em seu trabalho com as seguintes alterações:

Diminuição da quantidade de tubos e curvas, com o intuito de diminuir a perda de carga do ar que é admitido para a câmara, facilitando a admissão, já que se trata de apenas um cilindro e pouca inércia, tendo portanto, relativa baixa sucção, assim, baseado no modelo da Figura 11 construído por Lima (2024), foi desenvolvido o modelo de carburador da Figura 12.

Figura 11 - Carburador secundário de vapor construído por Lima (2024).



Fonte: Autor (2025).

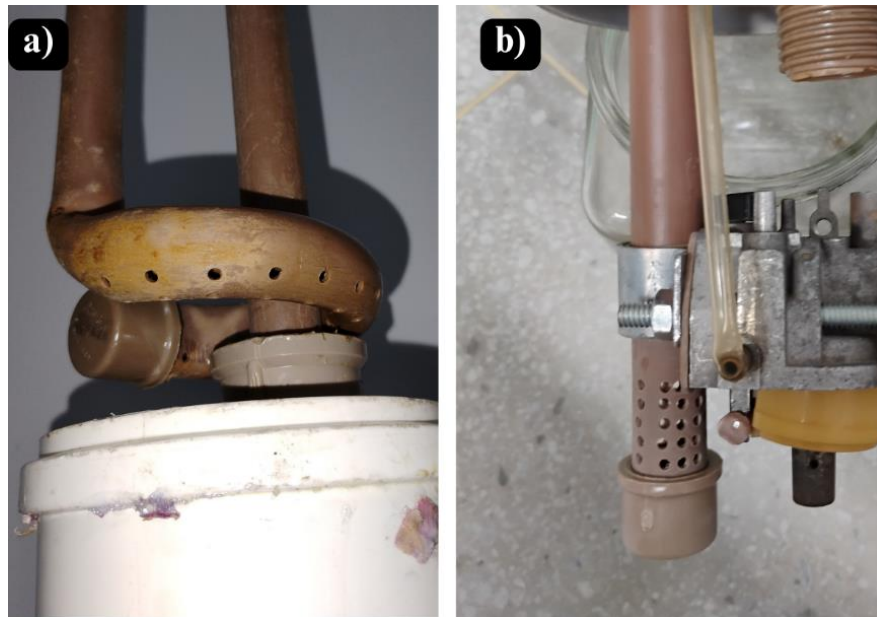
Figura 12 - Carburador secundário de vapor modificado.



Fonte: Autor (2025).

Além da diminuição da quantidade de curvas, com o intuito de preservar a área de vaporização do modelo antigo, na Figura 13,a, optou-se por uma grande quantidade de furos de mesmo diâmetro, concentrados numa área menor, como se vê na Figura 13,b, porém, à medida que realizaram-se teste preliminares com o intuito de obter a altura de combustível que possibilitasse uma partida a frio mais fácil, e um funcionamento constante do motor em diferentes rotações, notou-se que uma coluna de apenas 5 mm de combustível não era capaz de gerar vapor o suficiente para que o motor funcionasse, mesmo após tentativas com o motor, frio, aquecido e borbulhamento da partida antes de tentar a partida do motor. Atribui-se essa dificuldade ao baixo poder de sucção do motor.

Figura 13 - Furos para borbulhamento de combustível: a) Lima (2024); b) Autor.



Fonte: Autor (2025).

Após diversas tentativas, chegou-se à conclusão de que tanto a partida quanto o funcionamento do motor ocorriam de forma satisfatória quando a gasolina se mantinha no nível da primeira linha de furos conforme a Figura 14, definindo-se aí, o nível de combustível ajustado para o carburador secundário.

Figura 14 - Altura adequada da coluna de combustível e adaptação de boia.



Fonte: Autor (2025).

A segunda sugestão de Lima (2024) foi a de adicionar uma boia ao sistema de alimentação de combustível a ser vaporizado. Para essa modificação, foram fabricados dois modelos de boias alternativas, que não funcionaram adequadamente, apenas após a adaptação de uma boia original de carburador recuperado, conforme a Figura 14, foi possível manter o nível de combustível durante todos os testes sem necessidades de ajustes entre testes.

Atrelado a tudo isso, optou-se pelo uso de um recipiente transparente e de fácil abertura, tanto para facilitar ajustes que se fizessem necessários durante o desenvolvimento da pesquisa, quanto para visualizar o decorrer do processo de borbulhamento da gasolina durante os testes.

Após testes preliminares, o motor funcionou alimentado somente por vapor de gasolina de forma ininterrupta por 12 minutos, sob uma faixa de rotação entre 1000 e 5500 rpm, de forma a constatar que o aparelho encontrava-se pronto para os testes quantitativos.

4.2 Combustível pós borbulhamento

No decorrer dessa pesquisa e estudo de caso de Lima (2024) para desenvolvimento do novo modelo de carburador, notou-se, após a abertura do carburador secundário de vapor da gasolina desenvolvido por ela, que a gasolina pós borbulhamento que permaneceu no tanque sofreu alterações. Ao ser depositada junto à gasolina não utilizada no processo, notou-se que a gasolina do tanque de vapor passou por mudança de fases e características. O combustível dividiu-se em fases imiscíveis, tornou mais escuro e com aspecto visual oleoso, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Combustível não utilizado (esquerda) e combustível após o borbulhamento (direita).



Fonte: Autor (2025).

4.3 Ensaio de consumo

4.3.1 Comportamento do motor quando alimentado por carburador secundário de vapor.

De forma geral, o motor quando alimentado por vapor de gasolina não apresenta grandes diferenças de comportamento comparado à alimentação por carburador convencional. Notou-se, porém, uma sutil dificuldade na partida do motor, principalmente a partir do quarto teste. Quanto ao controle de velocidades, exclusivamente em rotações inferiores a 2000 rpm, houve dificuldade em manter o motor num intervalo fixo de ± 500 rpm para realização do ensaio, fazendo-se necessário pequenos ajustes no acelerador com rosca sem fim, para manter as

rotações. Com exceção disso, o motor apresenta menores variações à medida que funciona em rotações mais altas, acima de 3000 rpm.

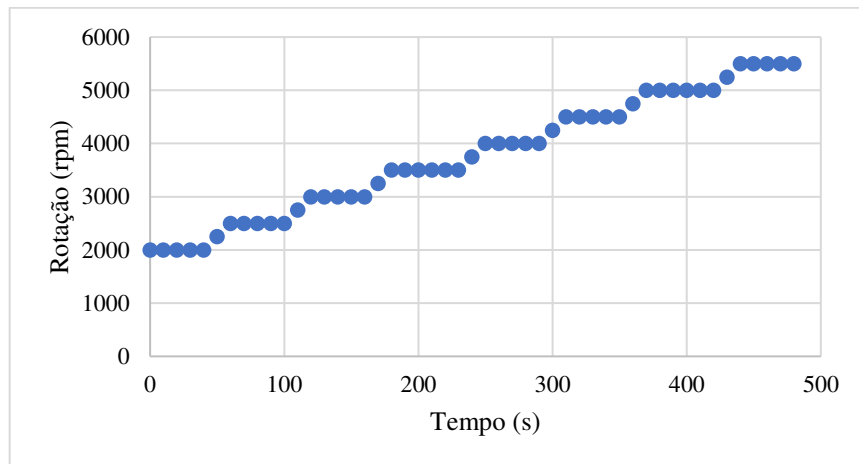
Ocorreu que, ainda na fase de ajustes, quando na tentativa de dar partida no motor somente por vapor, houve uma explosão antes da câmara de combustão, e a onda de pressão fez o vaporizador de combustível expulsar combustível pela entrada de ar do ambiente, apresentado possíveis riscos de incêndio.

Durante todos os ensaios foi comum a condensação de água na superfície externa do vaporizador de gasolina, fenômeno associado à constante pressão negativa causada pela sucção do motor, o que acarreta na queda de temperatura do dispositivo, esse fenômeno também ocorre na cuba do carburador convencional durante o funcionamento do motor.

4.3.2 Gasolina vapor - Ensaio 1

O primeiro ensaio do motor alimentado por gasolina vapor resultou em um consumo computado de 44 g de combustível, durando um tempo de 7 minutos e 18 segundos de ensaio, com uma parada para reajuste da balança. Pela Figura 17, observando os pontos de rotação média no tempo, pode-se inferir que há certa dificuldade em manter-se o motor numa taxa de rotação fixa, principalmente em rotações entre 2000 e 3000 rpm. O esperado para o modelo do teste é que os pontos de rotação formassem um perfil de escada no gráfico, conforme a Figura 16, para cada linha horizontal representando uma faixa de rotação. A massa de combustível decresce com perfil aparentemente parabólico negativo.

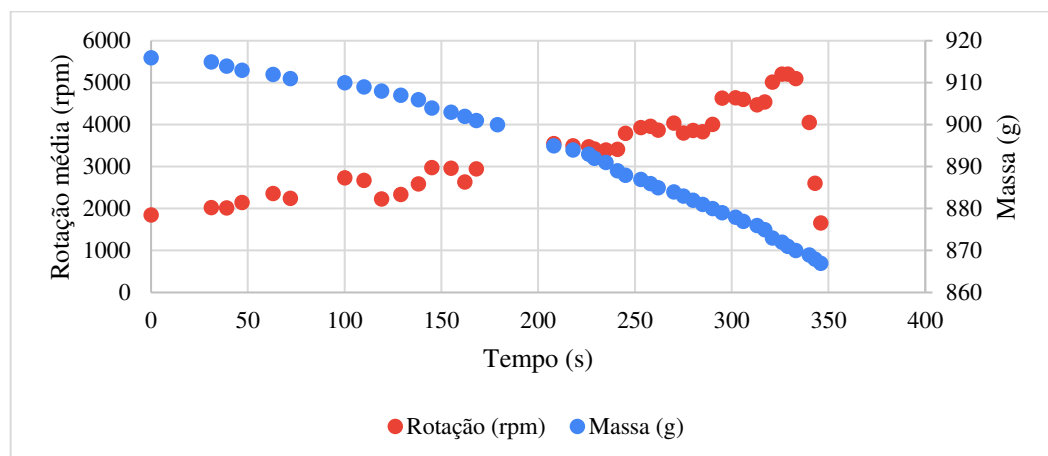
Figura 16 - Perfil ideal de controle de rotações.



Fonte: Autor (2025).

Vale ressaltar que os pontos com afastamento acentuado nos segundos 179 a 208 da Figura 17, tanto na curva de velocidade média quanto na curva de massa, descrevem os momentos em que houve um desligamento repentino da balança durante o ensaio, fazendo-se necessário um período de tempo corrido sem dados registrados, para que uma nova massa de referência de partida fosse obtida. Trata-se de uma configuração de fábrica da balança utilizada, o desligamento automático a cada 2,5 minutos, aproximadamente, ocorreu em todos os ensaios de consumo.

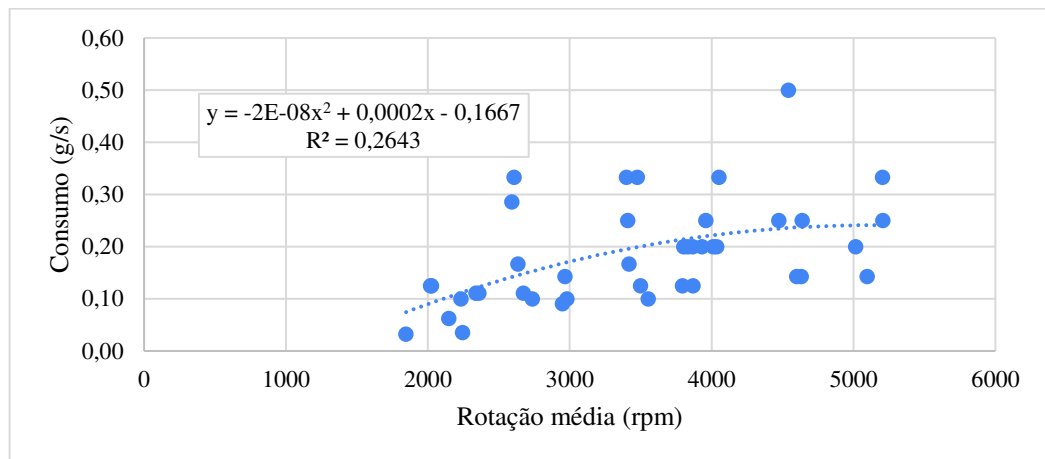
Figura 17 - Gasolina vapor 1: Massa e velocidade x tempo.



Fonte: Autor (2025).

A Figura 18 apresenta o agregado de taxa de consumo para uma rotação média, obtida dos dados do ensaio. Nota-se uma grande dispersão de valores nas faixas de 2500 rpm, e em rotações superiores a 3400 rpm. A equação polinomial de grau dois é uma linha de tendência gerada pelo software Excel, e o R^2 é coeficiente de determinação e indica quão mais próximo de 1, maior é a qualidade do modelo de regressão estatística.

Figura 18 - Gasolina vapor 1: Consumo x Rotação média.

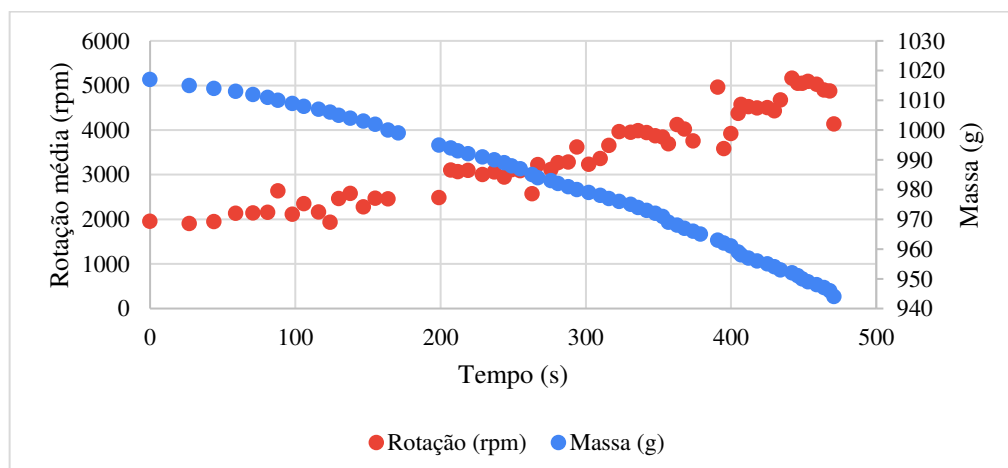


Fonte: Autor (2025).

4.3.3 Gasolina vapor - Ensaio 2

O segundo teste durou 8 minutos e 47 segundos com um consumo válido 68 gramas de combustível. O segundo teste por sua vez apresentou uma leve melhora no controle das rotações, observado na Figura 19.

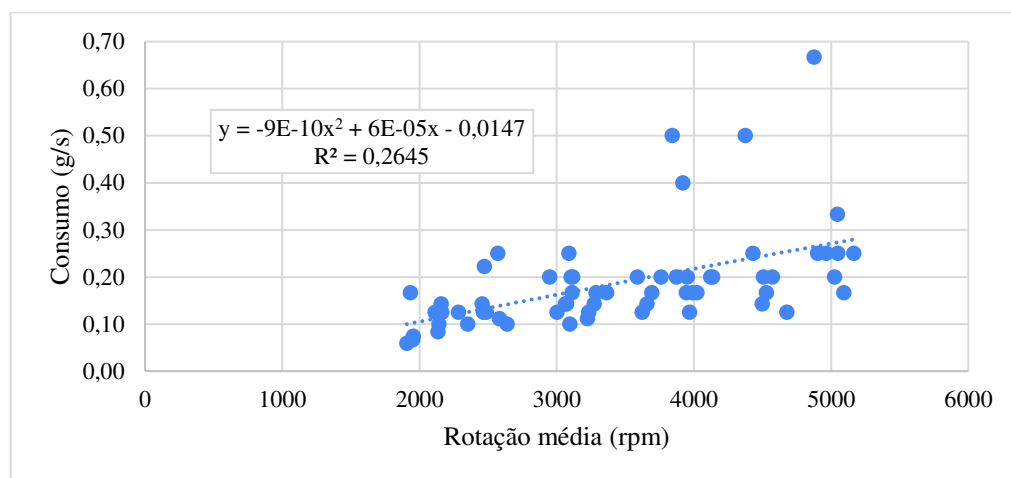
Figura 19 - Gasolina vapor 2: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

O consumo por faixa de rotação, por sua vez, pela Figura 20, apresentou um comportamento menos disperso se comparado com o primeiro ensaio, com exceção de rotações próximas a 4000, 4500 e 5000 rpm. Desta característica, pode-se supor que o carburador secundário apresenta um consumo variável/imprevisível durante as mudanças de taxa de rotação.

Figura 20 - Gasolina vapor 2: Consumo/Rotação média.

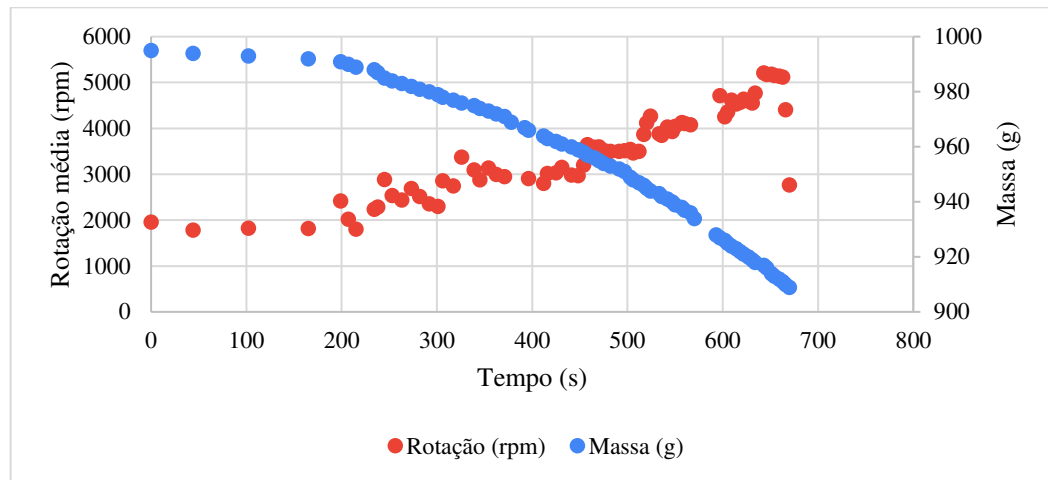


Fonte: Autor (2025).

4.3.4 Gasolina vapor - Ensaio 3

O ensaio número três durou 12 minutos e 17 segundos, consumindo 78 gramas de combustível registrado. Conforme a Figura 21, obteve-se um patamar satisfatório de rotação média apenas na rotação estacionária e na faixa de 3500 rpm.

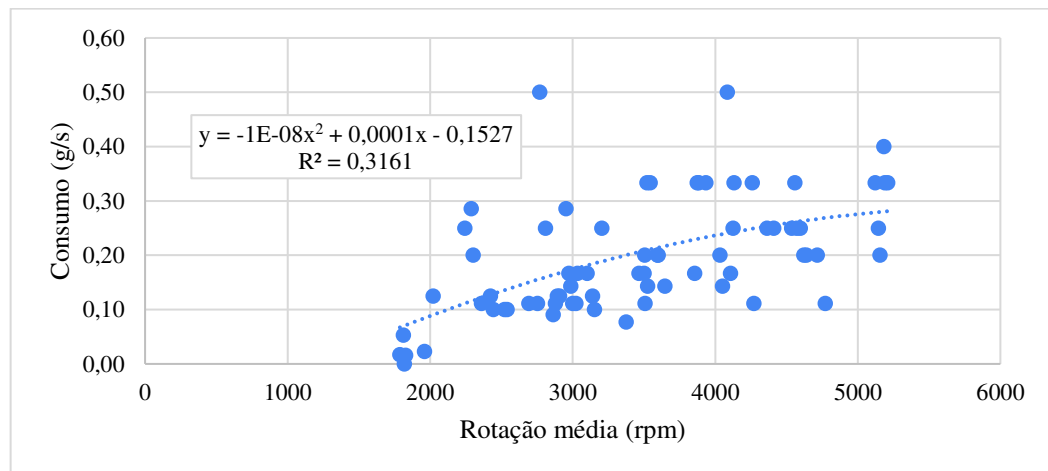
Figura 21 - Gasolina vapor 3: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

Por meio da Figura 22 pode-se notar também uma grande dispersão de valores de consumo para as mesmas rotações médias.

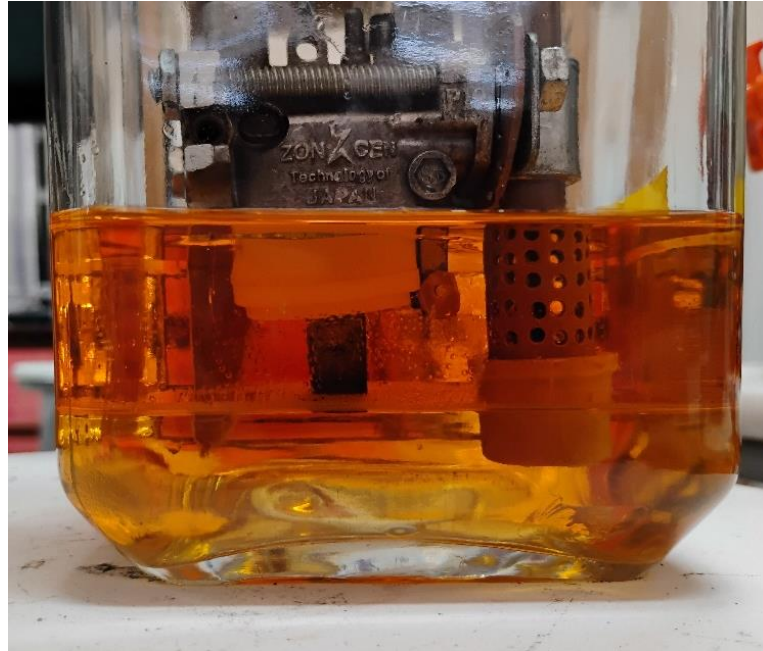
Figura 22 - Gasolina vapor 3: Consumo/Rotação média.



Fonte: Autor (2025).

Após o terceiro ensaio, notou-se com nitidez, a divisão do combustível em duas fases dentro do vaporizador, Figura 23, somando o tempo de ensaio com os ensaios anteriores, pode-se considerar que o fenômeno foi observado com cerca de 28 minutos de borbulhamento de gasolina.

Figura 23 - Divisão de fases imiscíveis no carburador secundário.

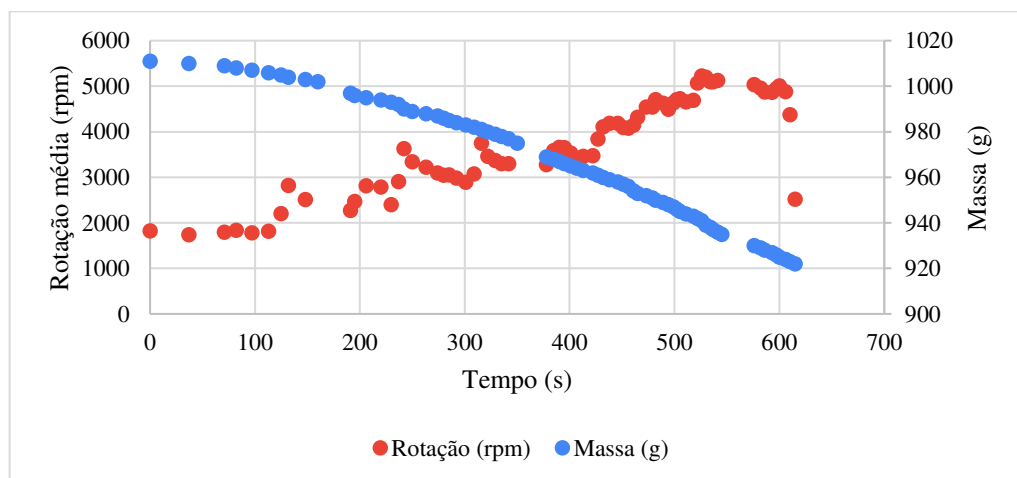


Fonte: Autor (2025).

4.3.5 Gasolina vapor - Ensaio 4

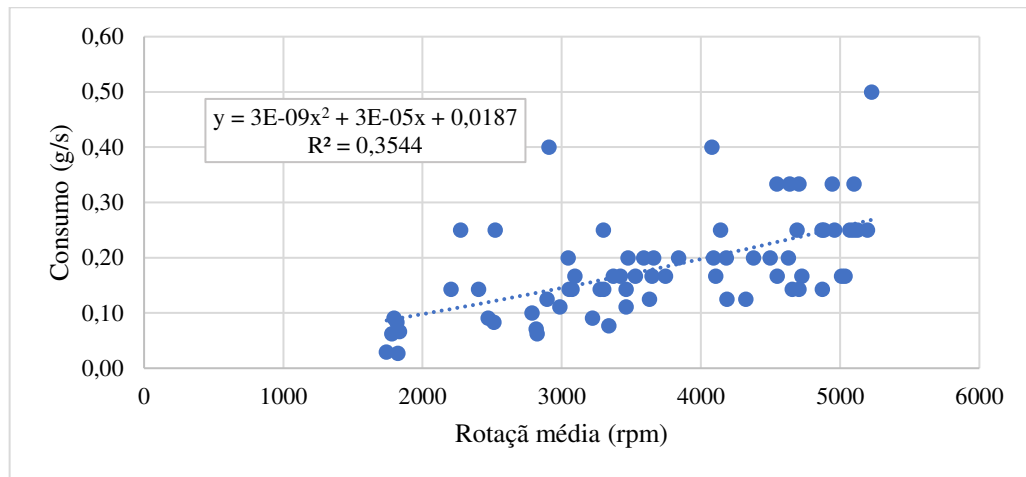
O quarto teste de consumo durou 12 minutos e 23 segundos, um consumo válido de 74 gramas de combustível. Conforme a Figura 24 foram obtidos patamares de velocidade constante apenas aos 2000 e 3500 rpm e grande dispersão nos dados consumo, visto na Figura 25.

Figura 24 - Gasolina vapor 4: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

Figura 25 - Gasolina vapor 4: Consumo/Rotação média.



Fonte: Autor (2025).

Apesar da formação das fases do combustível, o motor funcionou sem diferenças qualitativas notáveis. Foi possível observar um aumento sutil da fase mais escura do combustível à medida que os testes avançavam, visível na Figura 26.

Figura 26 - Evolução da divisão de fases após o quarto ensaio.



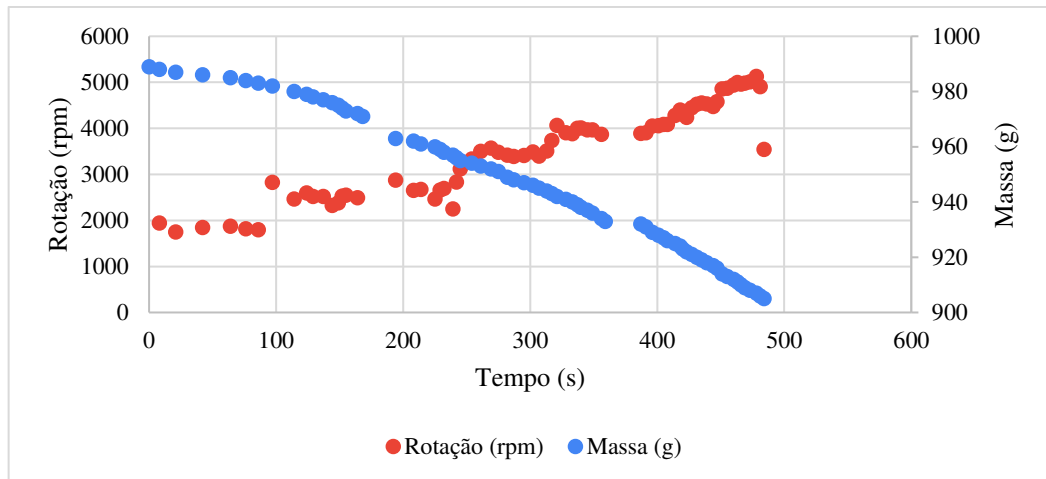
Fonte: Autor (2025).

4.3.6 Gasolina vapor - Ensaio 5

No quinto e último ensaio válido de consumo, foi obtido patamares visíveis de rotação média estável visto na Figura 27, de 2000 a 4000 rpm. Apesar disso, a dispersão nos valores de

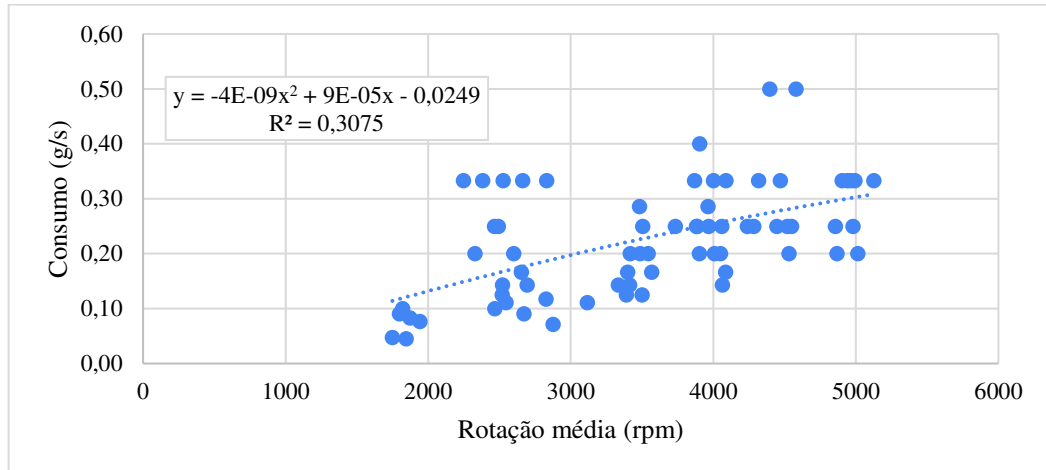
consumo apresentadas na Figura 28, continuou significativa. No teste, foi computado um consumo de 76 gramas de combustível num período de 10 minutos e 4 segundos de ensaio.

Figura 27 - Gasolina vapor 5: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

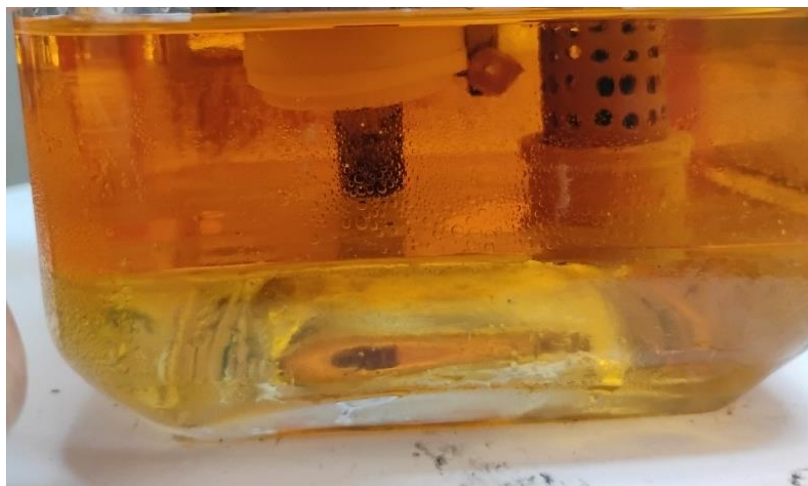
Figura 28 - Gasolina vapor 5: Consumo/Rotação média.



Fonte: Autor (2025).

Após leves dificuldades de ligar o motor, o teste seguiu sem diferenças qualitativas notáveis em comparação com os outros ensaios. Não foram observadas, pela Figura 29 alterações notáveis na divisão de fases, comparado à Figura 26.

Figura 29 - Evolução da divisão de combustível após o quinto ensaio.



Fonte: Autor (2025).

4.3.7 Gasolina vapor - Ensaio 6

Tentou-se um sexto ensaio para obtenção de mais dados de consumo, mas, a partir desse momento não se conseguiu mais dar partida no motor com o combustível presente no carburador secundário de vapor. Somados os tempos de cada um dos ensaios, o motor funcionou por pouco mais de 50 minutos até que houvesse a falha na partida.

4.3.8 Comportamento do motor por alimentação convencional

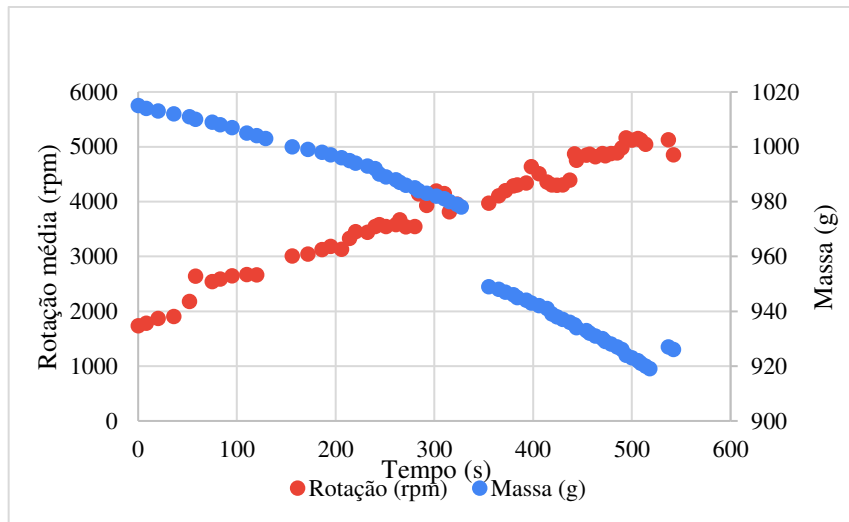
Enfrentou-se considerável dificuldade de manter o motor em funcionamento estável e aceleração progressiva correspondente à movimentação da borboleta de aceleração do carburador principal, mesmo após limpeza no carburador para início dos testes. Somente após instalação do conjunto de válvulas para a dosagem do vapor que o motor se comportou de forma comum e esperada.

4.3.9 Gasolina líquida - Ensaio 1

No primeiro teste com o carburador convencional, obtiveram-se patamares visíveis de controle de velocidade média de 2500 a 3500 rpm, e aos 5000 rpm, perceptível pela Figura 30. Também foi notável, por meio da Figura 31, uma menor dispersão dos valores de consumo por rotação média. Notou-se uma maior dispersão desses valores a partir de 3500 rpm, e em regiões

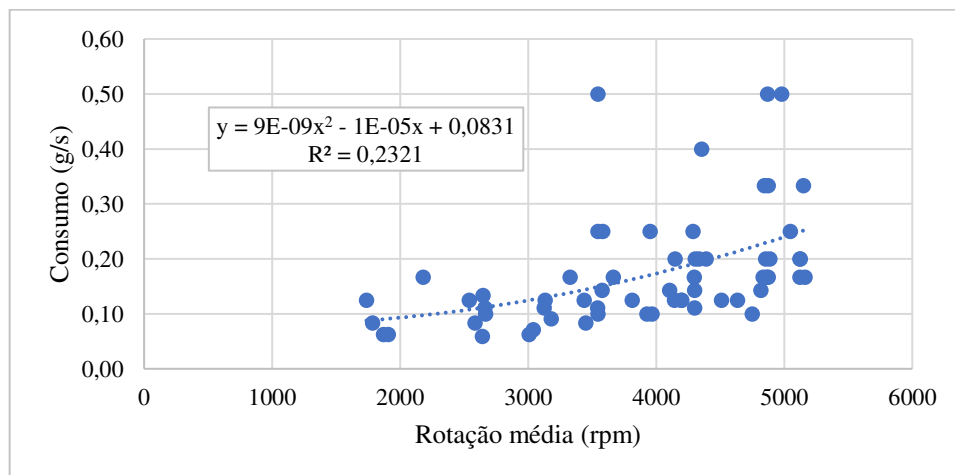
de mudança de rotação. O teste durou 11 minutos e 9 segundos, consumindo um total de 66 gramas de combustível computáveis.

Figura 30 - Gasolina líquida 1: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

Figura 31 - Gasolina líquida 1: Consumo/Rotação média.

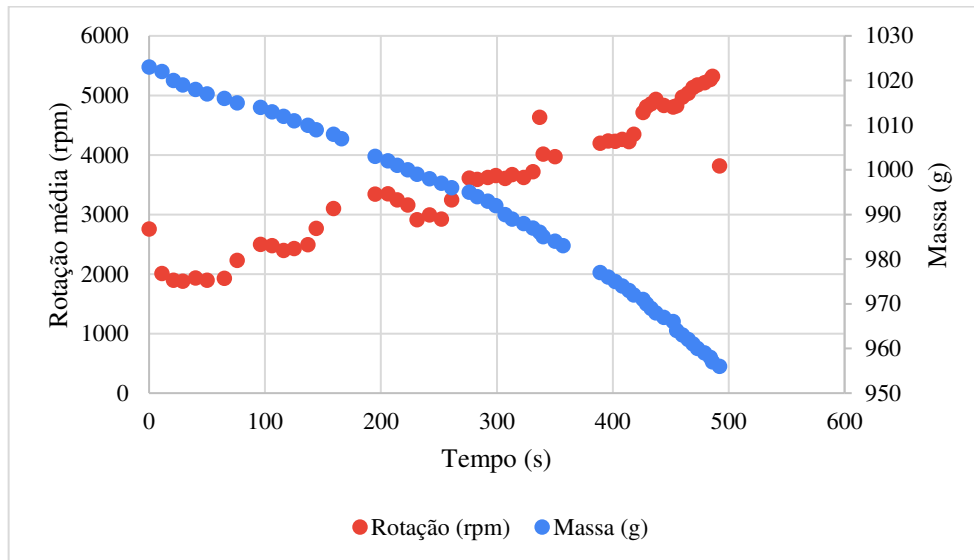


Fonte: Autor (2025).

4.3.10 Gasolina líquida - Ensaio 2

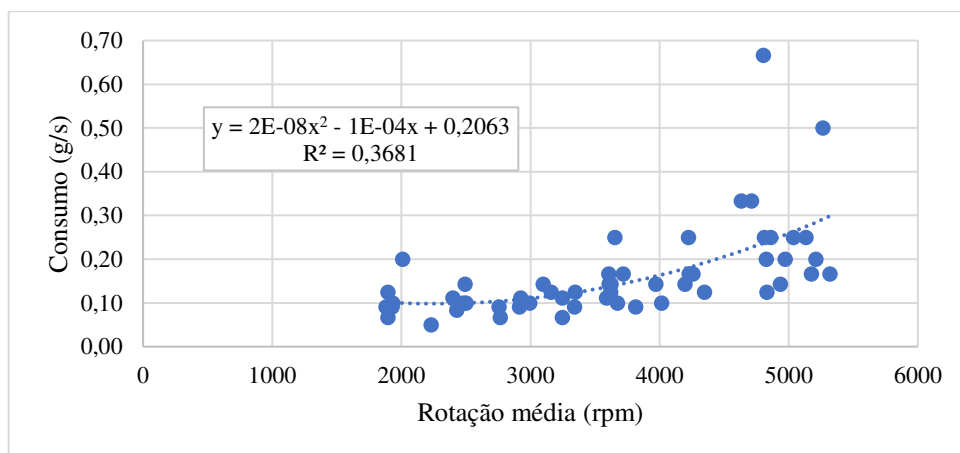
O teste de número 2 ocorreu com consumo válido de 58 gramas de combustível, totalizando uma duração de 9 minutos e 38 segundos, e apresentou por meio da Figura 32, um maior controle de rotações aos 2000, 2500, 3600 e 4200 rpm, e um perfil de consumo com relativa baixa dispersão (Figura 33), se comparado com os teste do carburador secundário.

Figura 32 - Gasolina líquida 2: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

Figura 33 - Gasolina líquida 2: Consumo/Rotação média.

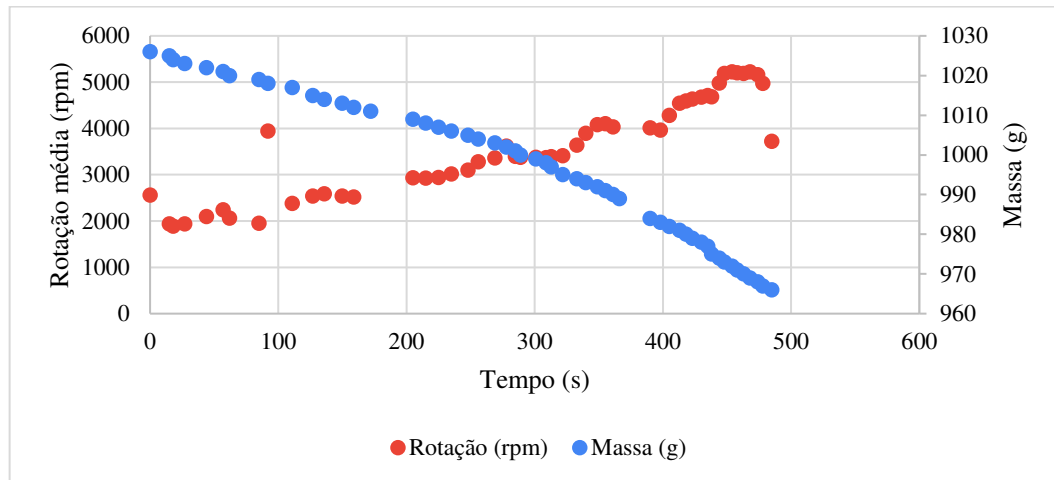


Fonte: Autor (2025).

4.3.11 Gasolina líquida - Ensaio 3

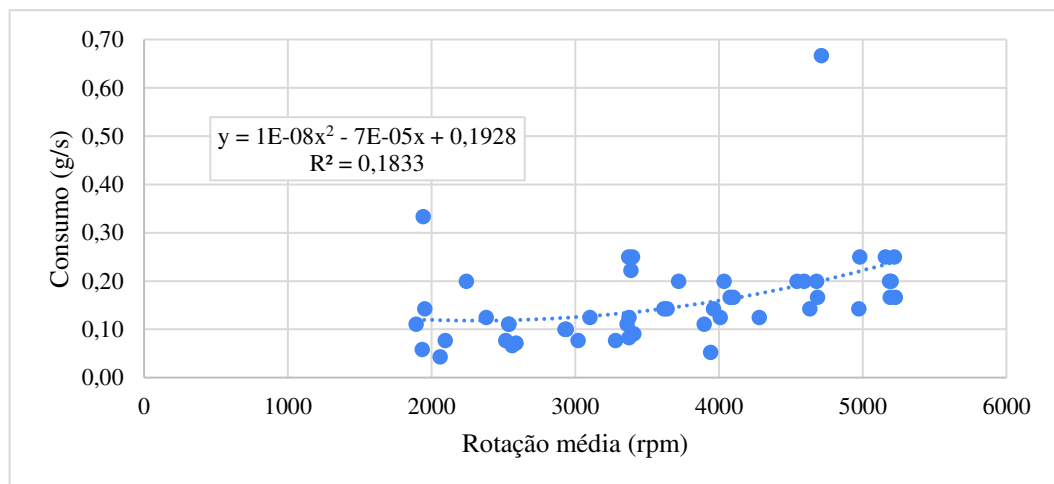
No terceiro ensaio de consumo, notou-se patamares característicos de rotação média na maior parte das rotações impostas, visto na Figura 34, acompanhado de um perfil de consumo menos disperso, como mostra a Figura 35, se comparado com os ensaios de consumo do carburador secundário. O teste durou 9 minutos e 22 segundos, e foram consumidos 54 gramas de combustível.

Figura 34 - Gasolina líquida 3: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

Figura 35 - Gasolina líquida 3: Consumo/Rotação média.

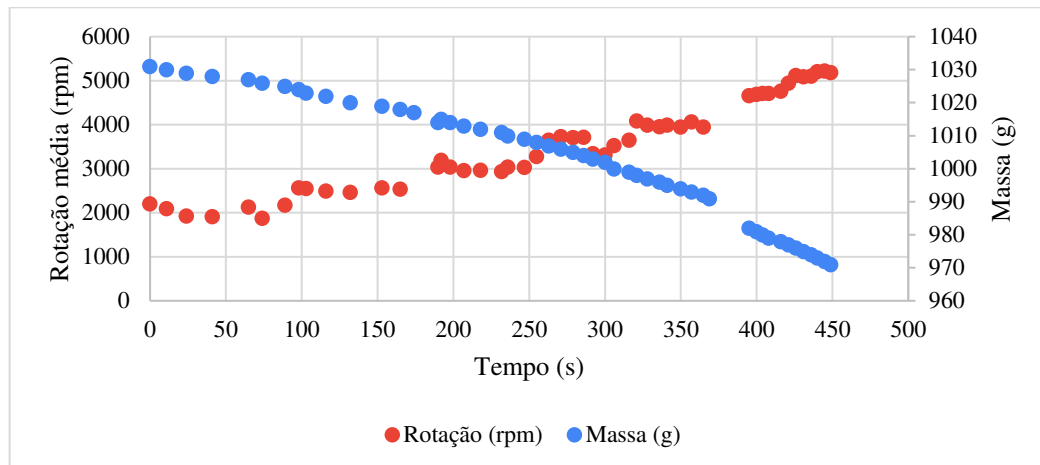


Fonte: Autor (2025).

4.3.12 Gasolina líquida - Ensaio 4

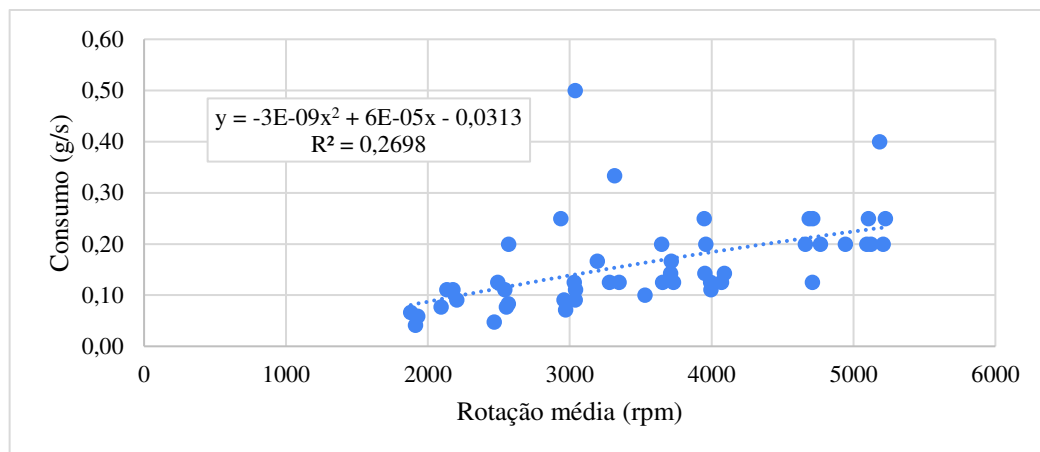
No quarto teste de consumo, foram consumidas 51 gramas de combustível computado e durou 8 minutos e 38 segundos. Por meio da Figura 36 pode-se notar com nitidez os patamares de rotação média ao longo do teste, todavia, a Figura 37 mostra que houve notável dispersão nos valores de consumo por rotação principalmente em rotações inferiores a 3500 rpm, semelhantes ao consumo dos testes com vapor.

Figura 36 - Gasolina líquida 4: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

Figura 37 - Gasolina líquida 4: Consumo/Rotação média.

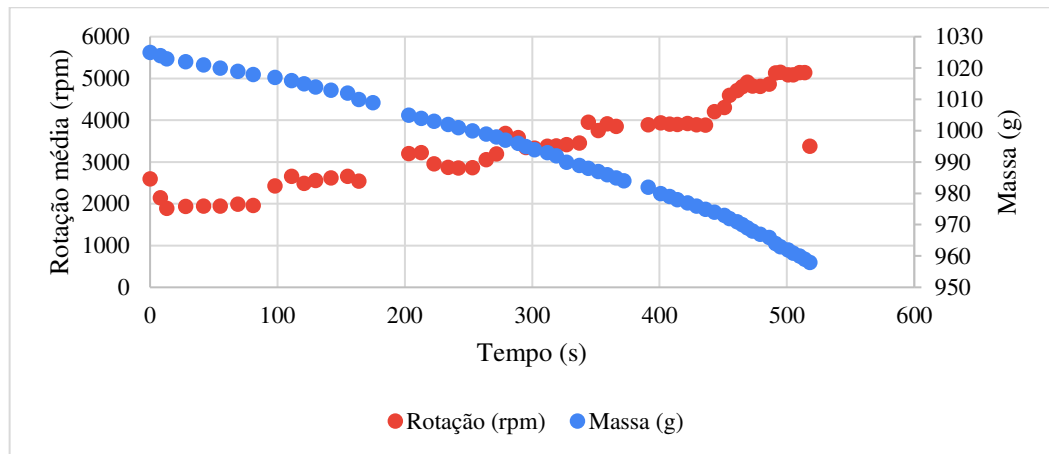


Fonte: Autor (2025).

4.3.13 Gasolina líquida - Ensaio 5

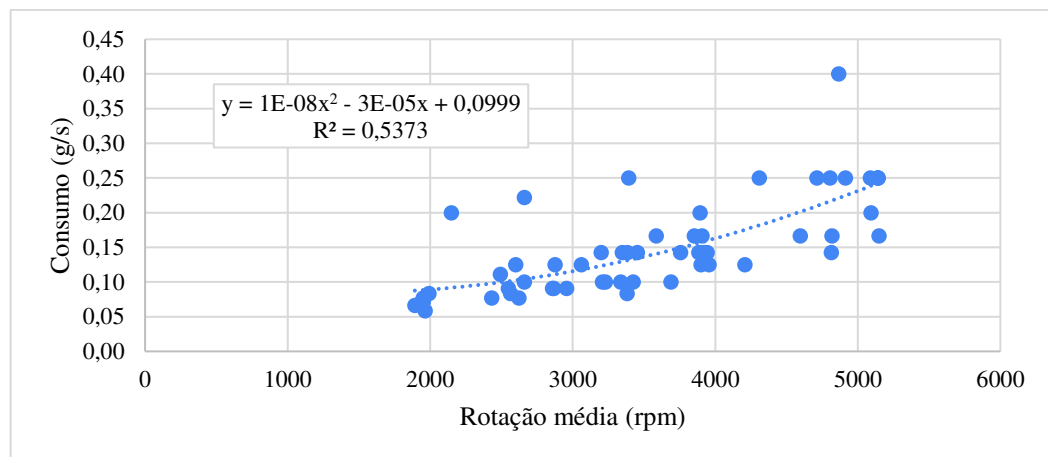
Semelhante ao quarto ensaio, o quinto demonstrou patamares apreciáveis, desta vez até os 4000 rpm, conforme a Figura 38. Notou-se certa dispersão dos valores de consumo nas faixas de transição de uma rotação para outra, conforme pode ser observado na Figura 39. O consumo total computado do ensaio foi de 62 gramas de combustível, com uma duração de 9 minutos e 41 segundos.

Figura 38 - Gasolina líquida 5: Massa, Rotação média / tempo.



Fonte: Autor (2025).

Figura 39 - Gasolina líquida 5: Consumo/Rotação média.



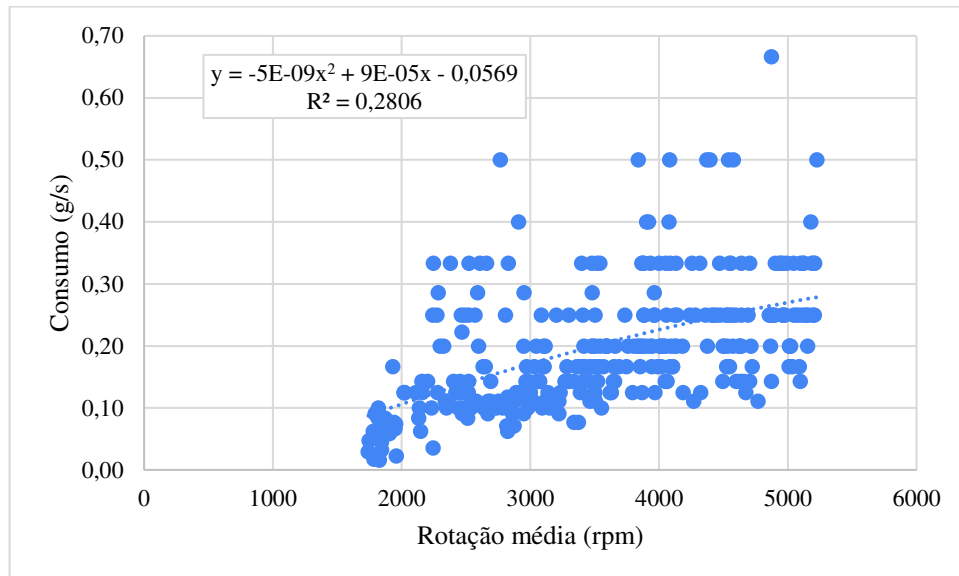
Fonte: Autor (2025).

4.3.14 Progressão e repetibilidade

Após processamento individual, foram conjugados todos os pontos de consumo para sua respectiva rotação média de todos os ensaios, para geração de uma curva característica global de consumo, para o carburador secundário(vapor) na Figura 40, e para o carburador convencional (líquido) na Figura 41. Conforme visto da Figura 30 à Figura 39, foi atribuída uma curva polinomial de grau dois, a qual demonstrou um maior coeficiente de determinação (R^2) em comparação com os outros modelos matemáticos disponibilizados pelo Excel (linear, logarítmico, ou exponencial) para a grande maioria das amostras de dados o modelo de curva polinomial de grau 2, demonstrou um R^2 superior. Este perfil se assemelha ao perfil razão combustível-ar observado por Stone (1999) na Figura 5. A construção dessas curvas tem o

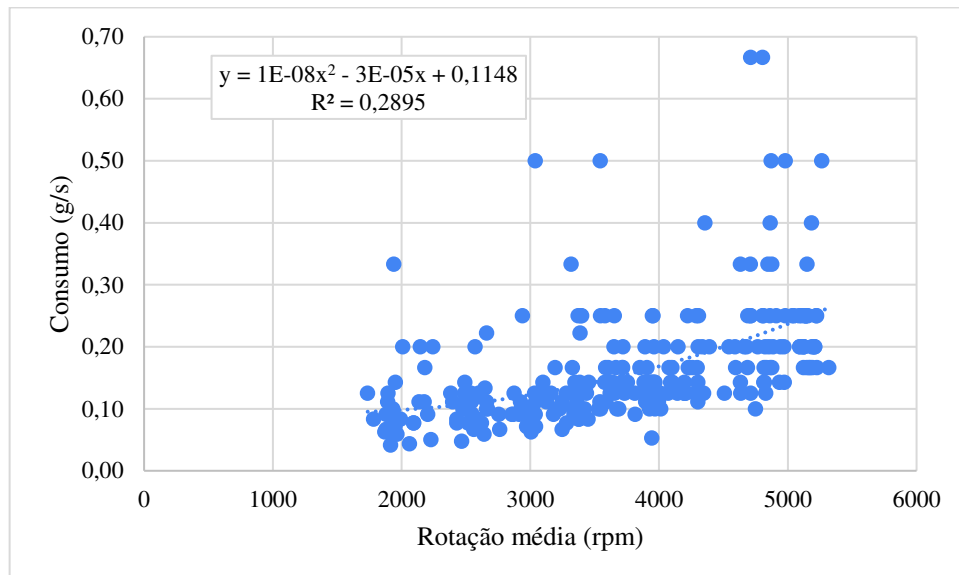
intuído de observar de forma gráfica qual dos dois aparelhos de alimentação de combustível apresenta um menor consumo em função da faixa de rotações empregada nos testes.

Figura 40 - Resultados globais da gasolina vapor.



Fonte: Autor (2025).

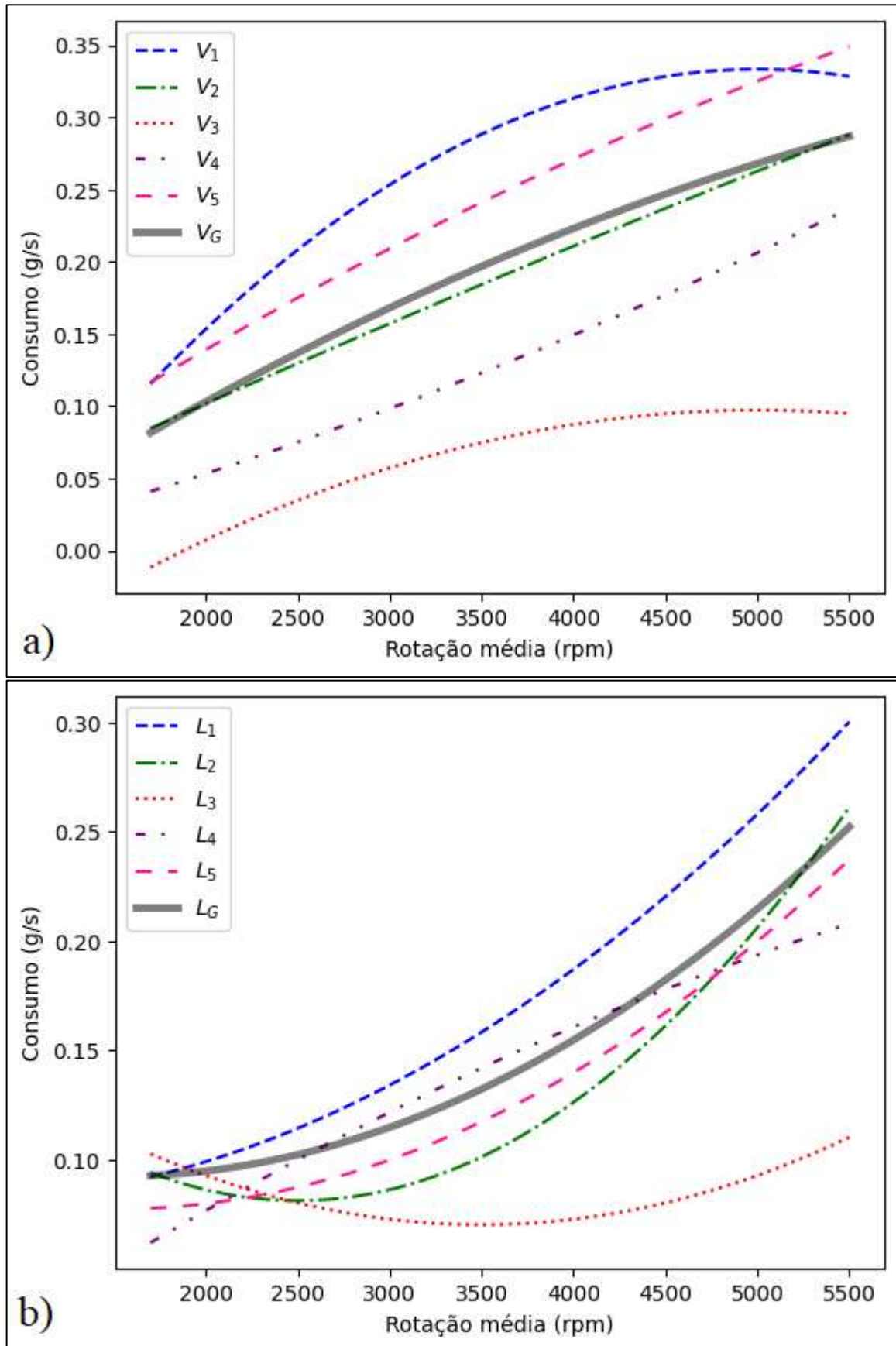
Figura 41 - Resultados globais da gasolina líquida.



Fonte: Autor (2025).

Plotando as curvas das Figura 40 e Figura 41, como também das Figuras Figura 30 à Figura 39, chega-se à Figura 42, a e b. Observa-se tanto pela Figura 42 (a) quanto pela Figura 42 (b), que em ambos os métodos de alimentação, não há consumo crescente ou decrescente de uma curva para outra, à medida que os testes avançam.

Figura 42 - Curvas de consumo individuais e globais: a) Gasolina vapor; b) Gasolina líquida.

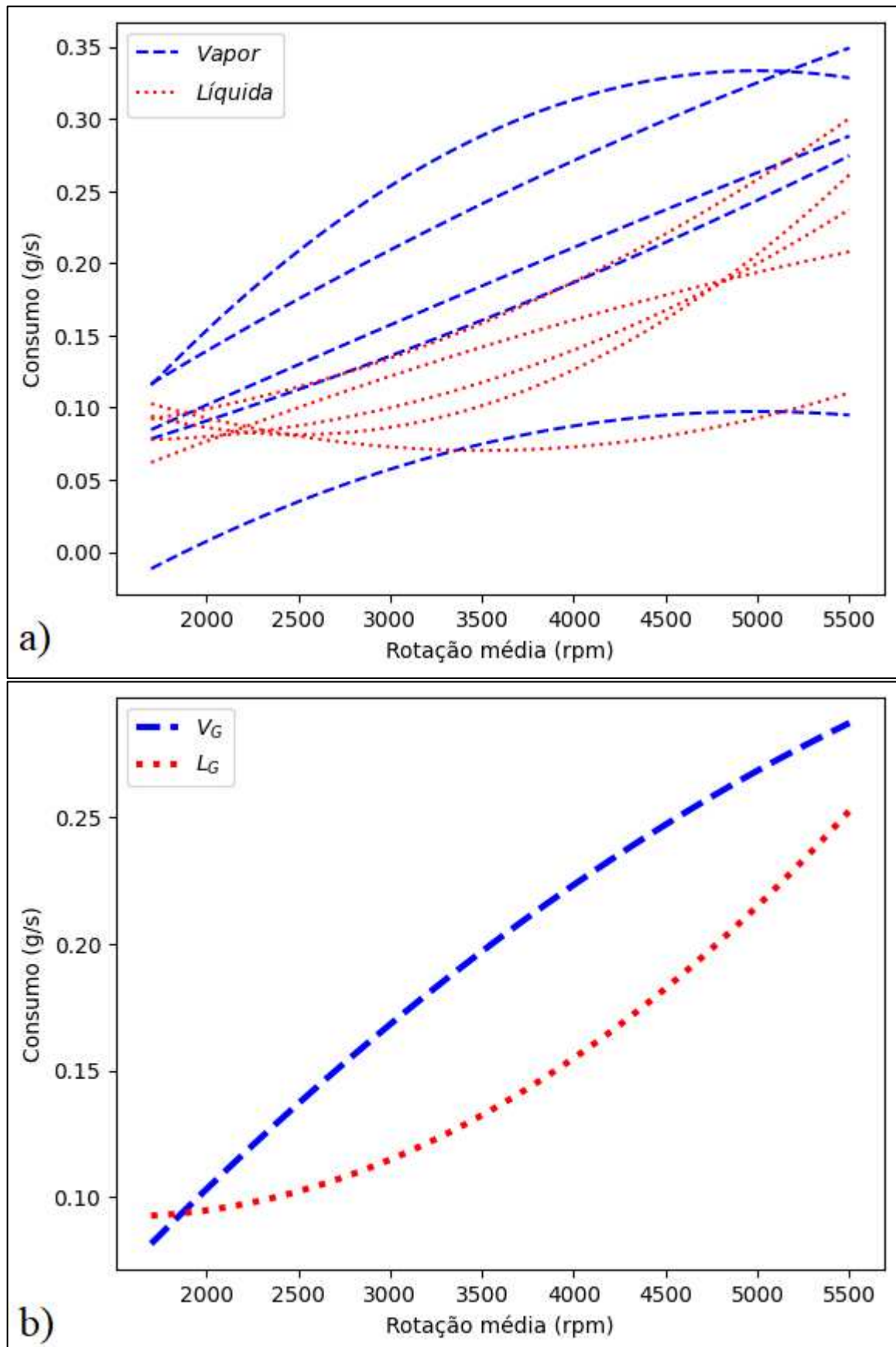


Fonte: Autor (2025).

Ao plotar as curvas dos ensaios individuais, de ambos os carburadores num mesmo gráfico na Figura 43 (a), pode-se chegar à conclusão de que o carburador secundário de vapor, não só apresenta um consumo de combustível igual ou superior ao consumo do carburador convencional em 4 dos 5 ensaios, como apresenta resultados mais dispersos e imprevisíveis, visível pelo maior afastamento das curvas vermelhas em relação às curvas azuis.

Plotando as curvas de consumo global na Figura 43 (b), pode-se visualizar que o consumo global do carburador secundário (vapor) é superior em cerca de 0,0125 a 0,0625 g/s em toda faixa de rotações utilizadas, com uma máxima de 0,0625 (6%) a 3600 rpm (rotação de operação do motor especificada pelo fabricante).

Figura 43 - Curvas de consumo: a) Individuais; b) Globais.

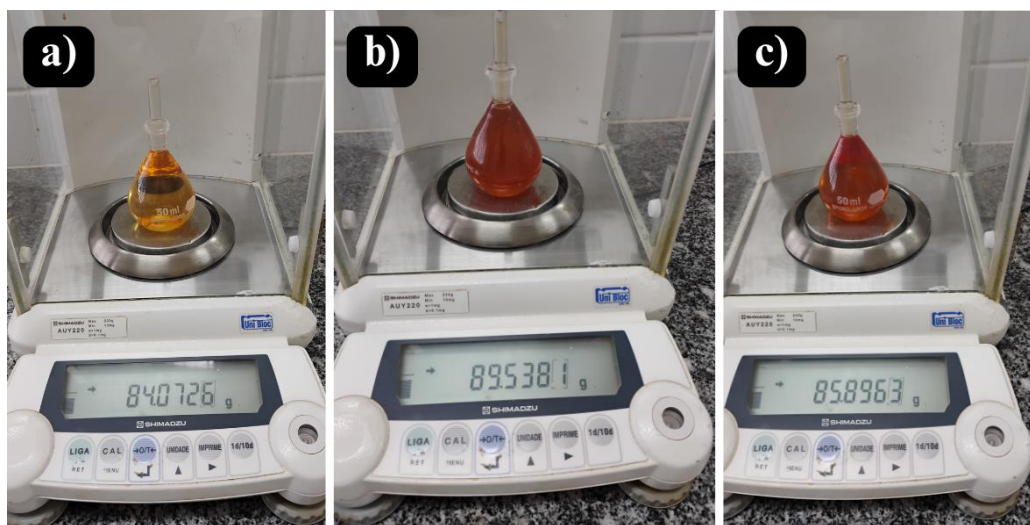


Fonte: Autor (2025).

4.4 Ensaio de massa específica indireta

Conforme os procedimentos descritos no tópico 3.2.2, foram utilizados dois picnômetros diferentes, para uma maior agilidade nos processos. Ambos os equipamentos foram pesados limpos e secos, posteriormente foram totalmente preenchidos com água destilada e pesados, para calibração do volume indireto, por meio da massa específica da água. Após esvaziamento e secagem, os equipamentos foram preenchidos e pesados com as amostras de combustíveis a serem analisadas, conforme a Figura 44, (a), (b) e (c), gasolina de controle (que não passou pelo dispositivo), fase inferior e fase superior, respectivamente. A Tabela 2 traz os resultados de massa específica das amostras:

Figura 44 - Leitura das massas (amostra + picnômetro): a) Gasolina de controle; b) Fase inferior; c) Fase superior.



Fonte: Autor (2025).

Tabela 2 - Resultados do ensaio de picnometria.

Especificação	massa (g)	Volume (mL)	Massa específica (g/mL)
Picnômetro 1	34,7775	66,2053	-
Picnômetro 1 + água	100,7871	-	-
Picnômetro 1 + fase inferior	89,5381	-	-
Picnômetro 2	33,8964	67,0276	-
Picnômetro 2 + água	100,7259	-	-
Picnômetro 2 + fase superior	85,8963	-	-

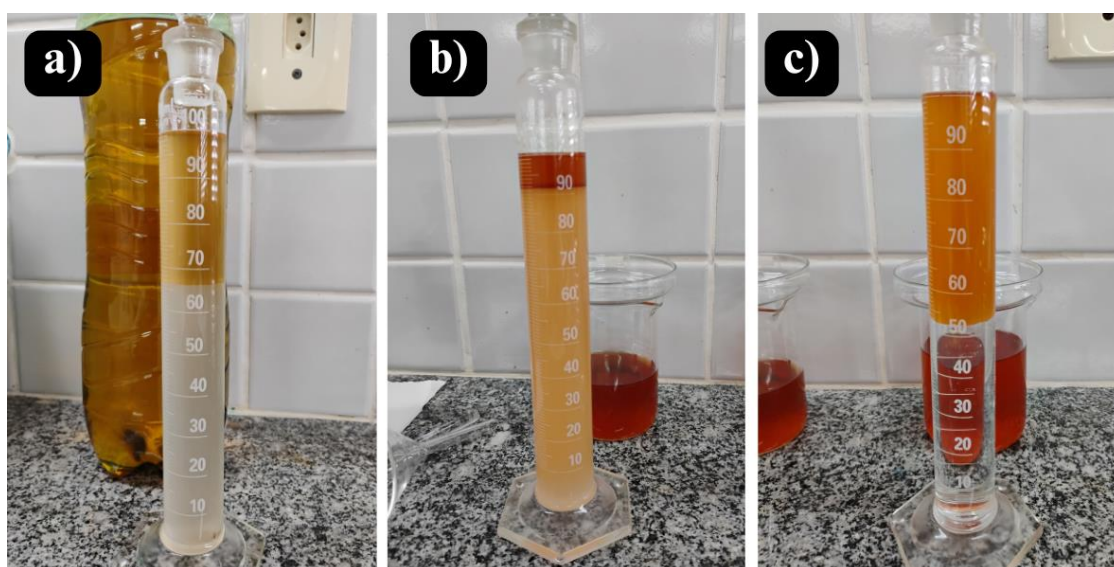
Picnômetro 2 + controle	84,0726	-	-
Água em condição padrão	-	-	0,9970
Fase inferior	-	-	0,8271
Fase superior	-	-	0,7758
Controle	-	-	0,7486

Fonte: Autor (2025).

4.5 Ensaio de determinação de etanol anidro combustível

Seguindo os procedimentos citados no Tópico 3.2.3, foi utilizado uma massa de 20,0130 g de NaCl (PA), que foi diluída em 200 mL de água destilada em um balão volumétrico, para a obtenção de uma solução aquosa de 10% de massa de NaCl. Posteriormente, foi adicionado 50 mL de cada amostra de combustível em provetas de vidro, que foram preenchidas em seguida por 50 mL da solução aquosa, como mostra a Figura 45. Conforme o procedimento, após 10 minutos de descanso, chegou-se às concentrações de etanol vistas na Tabela 3.

Figura 45 – Leitura da fase aquosa das amostras: a) Gasolina de controle; b) Fase inferior; c) Fase superior.



Fonte: Autor (2025).

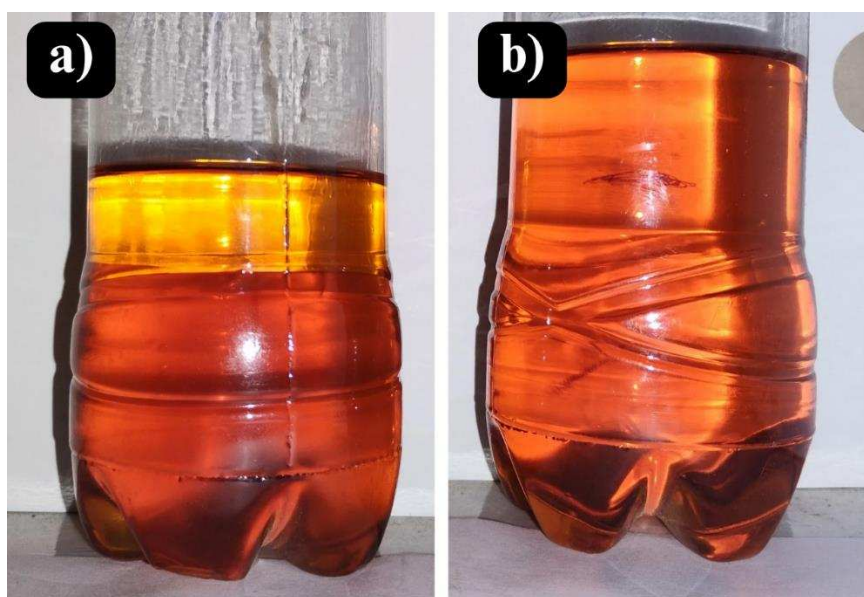
Tabela 3 - Fase líquida e teor de EAC das amostras.

Amostras	A (mL)	Teor EAC (% V)
Controle	66,0	33
Fase inferior	91,5	84
Fase superior	52,0	5

Fonte: Autor (2025).

Um último teste qualitativo foi executado com as duas fases separadamente, onde foi adicionado uma pequena quantidade de gasolina de controle às fases, e notou-se que a porção inferior do sub produto gerado pela vaporização é total ou parcialmente imiscível em gasolina de controle, enquanto que a porção superior se mistura de forma homogênea com a gasolina, como visto na Figura 46.

Figura 46 - Fases inferior e superior pós mistura com gasolina de controle.



Fonte: Autor (2025).

4.5.1 Considerações acerca do consumo e comportamento do motor

Quanto ao consumo de combustível do carburador secundário de vapor, pode-se observar que 60% dos testes apresentaram considerável dispersão nos valores obtidos, 30% dos testes apresentaram dispersão ao menos em altas rotações (superiores a 4000 rpm). Em contrapartida, os ensaios de consumo no motor alimentado por carburador convencional

apresentaram uma menor dispersão, com comparação com o secundário, apesar disso, ainda é possível observar dispersões nas transições de velocidades. Além disso, por meio da plotagem das curvas de consumo (Figura 43, a e b) viu-se que o perfil de consumo do carburador secundário aparenta um maior consumo (de 0,0125 a 0,0625 g/s a mais), cerca de 6 % na rotação máxima indicada pelo fabricante e maior dispersão em comparação com o perfil de consumo do carburador convencional.

Sobre a sustentação em velocidades fixas, pode-se notar que a alimentação do motor por vapor de gasolina proporciona em ao menos 80% dos ensaios, dificuldades de manutenção da velocidade média em rotações diferentes de 3600 ± 300 rpm. O carburador convencional, por sua vez, apresenta maior dificuldade de sustentação em rotações fixas somente acima dos 3600 rpm, e em 60% dos ensaios. Vale lembrar que após o terceiro ensaio de gasolina vapor, foi possível observar a divisão de fases do combustível dentro do reservatório de borbulhamento, que equivale a cerca de 28 minutos de borbulhamento do combustível. O motor funcionou por um tempo total de pouco mais de 50 minutos, somando os tempos dos demais ensaios.

4.5.2 Considerações acerca dos combustíveis

Por meio da Tabela 2, observa-se que a gasolina de controle possui massa específica de 0,7486 g/mL, a fase superior possui 0,7758 g/mL, e a fase inferior, massa específica de 0,8271 g/mL. Considerando que a gasolina tipo C deve ter entre 0,718 e 0,775 g/mL, a gasolina de controle e a fase superior assemelham-se entre si e entre o esperado. Todavia, a fase inferior apresenta um valor de massa específica superior à massa específica da gasolina tipo C (0,718 e 0,775 g/mL), e inclusive à massa específica do etanol (789 g/mL). O que dá a entender que há compostos na fase além do etanol e dos compostos da gasolina. Segundo Nakama, Kusaka e Daisho (2008), o etanol presente na gasolina possui a capacidade de absorver a água do ambiente em situações de alta umidade. Boichenko e Lejda (2015) acrescentam que essa absorção pode acontecer sem consequências visíveis até que se chegue a uma saturação de água na mistura, após isso, ocorre a separação de fases, com a deposição de água e etanol no fundo do tanque de combustível. Esse fenômeno pode ter ocorrido nesse experimento.

Os testes de teor EAC mostram que a fase inferior possui uma alta porcentagem possível de etanol (84%), em contraste à fase superior que possui apenas 5%. Somando esses resultados ao teste de solubilidade de gasolina de controle nas fases separadas, e descobrindo que a fase inferior é imiscível em gasolina, sugere-se que poderia haver a ocorrência de um fenômeno semelhante ao que ocorre no ensaio de teor de EAC.

Nos estudos de Gramajo De Doz, Bonatti e Sólino (2004), foi descoberto que numa mistura de 90% de volume de gasolina e 10% de etanol de volume de etanol, a uma temperatura de 15,5 °C, pode absorver 0,5% de volume de água antes que haja separação de fases no combustível, e essa tolerância é proporcional à temperatura do combustível. Além disso, Thanikasalam et al. (2018) afirmam que a tolerância à adição de água na gasolina aumenta com o aumento do teor de etanol na mistura. Deste modo, supõe-se que, ao borbulhar a gasolina no tanque de vapor, a umidade do ar que passa pelo combustível em agitação é parcialmente absorvida pelo etanol presente no combustível, e de forma gradual acarreta numa separação de fases na cuba do carburador de vapor deste estudo.

Junto a esse fenômeno, acredita-se que ocorre a evaporação dos componentes mais voláteis do composto, o que, considerando a temperatura ambiente a 25°C pode resumir-se a porcentagens inferiores ao T5%.

Com isso, à medida que o combustível é evaporado, uma nova e pequena quantidade de combustível desce da válvula da boia com o decréscimo do nível, e considerando que há uma pequena distância da saída de alimentação da boia para os furos de borbulhamento, Figura 12, essa nova porção de combustível é logo agitada (diluída na fase superior) e é evaporada a parte mais volátil. O que resta é o etanol e a parte menos volátil que, pela agitação, logo são separados. O etanol é incorporado, em grande parte, à fase inferior. E o restante fica na fase superior. Quando a fase superior chega em certo nível de saturação, a dificuldade de evaporação faz com que o motor falhe e inviabilize a partida a frio, impedindo o funcionamento. Para que houvesse o retorno do funcionamento, seria necessário a remoção do combustível saturado, e substituída por uma nova porção de combustível de controle.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um aparato de borbulhamento de gasolina para obtenção de gasolina na fase vapor e alimentação de um motor de ciclo Otto (4 tempos), monocilíndrico, à gasolina, carburado. O dispositivo atendeu primeiro objetivo específico de alimentar o motor permitindo-o funcionar tempo o suficiente para gerar dados para análise e comparação com o comportamento do mesmo motor quando alimentado por gasolina líquida no carburador convencional de fábrica.

De forma global, o motor funciona em todas as faixas de rotações empregadas, 2000 a 5000 rpm, quando alimentado pelos dois dispositivos, notou-se também que há uma dificuldade notável em sustentar rotações fixas, principalmente em rotações diferentes de 3500 rpm quando o motor é alimentado pelo carburador de vapor, e acima de 3600 rpm para o carburador convencional. Quanto ao consumo de combustível tanto notou-se um ligeiro maior consumo por parte do carburador de vapor, com um máximo de 6% a mais, quanto notou-se uma maior dispersão e imprevisibilidade de resultados nesse modelo de alimentação.

Percebeu-se também que após certo tempo de funcionamento do carburador de vapor, cerca de 28 minutos, o combustível presente no reservatório do dispositivo sofre divisão de fases imiscíveis, sendo a fase inferior de alta densidade relativa ($0,8271 \text{ g/cm}^3$) composta em 83% de etanol, e a fase superior (exposta ao borbulhamento) com uma densidade semelhante à da gasolina e baixo etanol (5%). Acredita-se que o composto superior com o tempo se torna pouco volátil e impede o funcionamento correto do dispositivo, tonando a alimentação de vapor inviável, sem que haja a limpeza constante do reservatório.

Este estudo contribui para mostrar de forma analítica e qualitativa como ocorre o processo de vaporização da gasolina por borbulhamento e como um motor aspirado funciona sob este tipo de alimentação. Pode-se concluir que, em comparação com um carburador convencional, a alimentação por vapor de gasolina no modo que foi testada nesse trabalho não apresenta vantagens técnicas, práticas e sustentáveis.

O trabalho teve limitações técnicas, visto que a implementação de dispositivos como uma balança de combustível mais precisa, sensores de pressão e temperatura do ambiente, motor e carburador secundário, e um dinamômetro promoveriam uma observação mais precisa do funcionamento do motor. Deste modo, trabalhos futuros podem tanto aprofundar mais esse tema, quanto implementar novos combustíveis e novas formas de alimentação, como a utilização do etanol vapor num motor preparado para trabalhar com esse combustível.

REFERÊNCIAS

AGRISHOW. Etanol de milho: como é feito e quais são suas vantagens. 2022. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/artigos/etanol-de-milho-como-e-feito-e-quais-sao-suas-vantagens/#:~:text=O%20milho%20até%20produz%20mais,de%20390%20a%20410%20litros>. Acesso em: 10 jan. 2025.

ÁLVAREZ FLÓREZ, Jesús Andrés; CALLEJÓN AGRAMUNT, Ismael; FORNS FARRÚS, Sergi; et al. **Motores alternativos de combustión interna**. 1. ed. Barcelona: Edicions UPC, 2005. ISBN 84-8301-818-5.

ANDRADE, João Carlos; CÉSAR, Janaína; DE PAOLI, Marco-Aurélio. **A Determinação da Densidade de Sólidos e Líquidos**. Chemkeys. Universidade Estadual de Campinas, SP. 2004. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/chemkeys/article/view/9618>. Acesso em: 13 jan 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13992: Produtos de petróleo e biocombustíveis – Determinação do teor de etanol anidro combustível em gasolina**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BOICHENKO, S.; LEJDA, K. Modification of aviation gasoline with aliphatic alcohols additives: an analytical review of prospects. **International Journal of Sustainable Aviation**, v. 1, n. 4, p. 324, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/295258750_Modification_of_aviation_gasoline_with_aliphatic_alcohols_additives_an_analytical_review_of_prospects. Acesso em: 01 de abril de 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986**. Dispõe sobre a instituição do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 9 maio 1986, Seção 1, p. 7142.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2018. E-book. p.21. ISBN 9788521212942. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521212942/>. Acesso em: 08 jan. 2025.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. E-book. p.494. ISBN 9788580552010. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580552010/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

DONATO, Vitório. **Logística para a Indústria do Petróleo, Gás e Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Érica, 2012. E-book. p.62. ISBN 9788536517865. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536517865/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

FARRÚS, S. Forns [et al.]. **Motores alternativos de combustión interna**. Edição UPC, 2005. ISBN 9788498802368. DOI 10.5821/ebook-9788498802368. Acesso: 20 de fevereiro de 2025. Disponível: <http://hdl.handle.net/2099.3/36805>.

GRAMAJO DE DOZ, M. B.; BONATTI, C. M.; SÓLIMO, H. N. Water Tolerance and Ethanol Concentration in Ethanol-Gasoline Fuels at Three Temperatures. **Energy & Fuels**, v. 18, n. 2, p. 334–337, mar. 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/231271173_Water_Tolerance_and_Ethanol_Concentration_in_Ethanol-Gasoline_Fuels_at_Three_Temperatures. Acesso em 01 de abril de 2025.

HEYWOOD, John B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**. New York: McGraw-Hill Education, 1988.

LIMA, Natália Tamise da Silva. **Desenvolvimento de um sistema para melhor consumo de combustível em um motor ciclo Otto**. 2024. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Caraúbas, Caraúbas, p. 46. 2024. Orientador: Rudson de Souza Lima.

MARTINELLI JR., Luiz Carlos. **Máquinas Térmicas I: Motores de Combustão Interna**. Panambi: Unijuí, 2003.

NAKAMA, K.; KUSAKA, J.; DAISHO, Y. Effect of Ethanol on Knock in Spark Ignition Gasoline Engines. **SAE International Journal of Engines**, v. 1, n. 1, p. 1366–1380, 9 set. 2008. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/279168627_Effect_of_Ethanol_on_Knock_in_Spark_Ignition_Gasoline_Engines. Acesso em 01 de abril de 2025.

NEXO JORNAL. **5 gráficos para entender 20 anos de preços da gasolina**. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/expresso/2022/03/17/5-graficos-para-entender-20-anos-de-precos-da-gasolina>. Acesso em: 9 jan. 2025.

STONE, Richard. **Introduction to Internal Combustion Engines**. 3rd ed. London: Macmillan, 1999.

THANIKASALAM, K; RAHMAT, M.; MOHAMMAD FAHMI, A. G.; ZULKIFLI, A. M.; NOOR SHAWAL, N.; ILANCHELVI, K.; ANANTH, M.; ELAYARASAN R. A review of phase separation issues in aviation gasoline fuel and motor gasoline fuels in aviation. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 370, p. 012007, maio 2018. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/325524979_A_review_of_phase_separation_issues_in_aviation_gasoline_fuel_and_motor_gasoline_fuels_in_aviation. Acesso em: 01 de abril de 2025.

TOYAMA DO BRASIL. **Ficha técnica: gerador a gasolina TG2800CXE-XP**. Disponível em: https://toyama.com.br/fichas-tecnicas/gerador%20gasolina/TY_201-004_TG2800CXE-XP_DS_M_R01.pdf. Acesso em: 21 de fevereiro de 2025.

TOYAMA DO BRASIL. **Manual do proprietário: gerador à gasolina 4T, modelos TG2800, TG3800, TG6500, TG8000, TG10000**. Disponível em: https://toyama.com.br/manuais/TY_TG_L1_MA_M_R02.pdf. Acesso em: 21 de fevereiro de 2025.

UNIPETRO. Você sabe quais os combustíveis mais utilizados no Brasil? Disponível em: <https://unipetro.com.br/voce-sabe-quais-os-combustiveis-mais-utilizados-no-brasil/>. Acesso em: 8 jan. 2025.