

AUMENTO DA POTÊNCIA DE MOTORES TETRACILÍNDRICOS DE MOTOCICLETAS, UTILIZANDO O ESCAPAMENTO ESPORTIVO

Maurício Treichel¹
Marcellus Tiburcio Fontenelle²
Paulo Miguel de Toni³

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o possível aumento de potência de motocicletas dotadas de motor tetracilíndrico de combustão interna a 4 tempos por meio da substituição do sistema de escapamento original por um esportivo da marca CS Escapamentos modelo Full completo. O escapamento original é projetado e fabricado tomando por base a legislação de trânsito, sendo assim tem que atender requisitos de poluição sonora que são impostos, impossibilitando os gases de serem expelidos livremente pelo escapamento. Já o escapamento esportivo tem foco no desempenho da potência do motor. Para a realização dos testes foram escolhidas três motocicletas constituídas de motores tetracilíndricos. Os testes foram realizados através de um dinamômetro de inércia da marca Servitec modelo 2010. Após a realização dos ensaios foi feita uma comparação dos resultados obtidos nas duas situações. Através desta comparação concluiu-se que o escapamento esportivo propicia maiores torques e aumento de 3% a 5% na potência do motor destas motocicletas, em contrapartida ultrapassa os limites sonoros impostos por lei.

Palavras-chave: Motor de combustão interna. Potência. Escapamento.

1 INTRODUÇÃO

A frota de motocicletas no Brasil vem crescendo de uma forma acentuada, segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) no período de 1998 à 2018 o aumento no número de motocicletas foi de aproximadamente 870% (ABRACICLO, 2019). Esse fator ocorre principalmente devido ao custo-benefício de se ter uma motocicleta, já que é um meio de locomoção barato na hora da aquisição, tem baixo custo de manutenção, menor consumo de combustível em comparação com outros tipos de automóveis e por ser ágil no trânsito.

Motocicletas de alta performance (cilindradas acima de 600 cm³) como as de motores tetracilíndricos de combustão interna a 4 tempos (ciclo Otto) saem de fábrica tendo que atender certos requisitos da legislação de trânsito em relação a poluição sonora que acaba provocando perda de carga no fluxo de gases, limitando a sua potência, em outros termos, o motor não

¹ UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica. E-mail mauriciotreichel@hotmail.com

² UCEFF Faculdades. Eng. Mecânico, Me em Eng. de Energia. E-mail marcellus.fontenelle@gmail.com

³ Docente do curso de Eng. Mecânica. paulomiguel@uceff.edu.br.

fornece todo o seu potencial. O desempenho do ciclo Otto também está relacionado com a capacidade de expelir os gases queimados da câmara de combustão (exaustão).

O principal meio de exaustão do motor é o escapamento, que deve atender requisitos de emissão de ruídos fazendo com que acabem gerando perda de carga, em outras palavras, a troca do sistema de escapamento de uma motocicleta pode lhe trazer ganhos de potência.

O sistema de escapamento tem como função expelir os gases provenientes da queima da mistura ar-combustível de dentro do motor para que se tenha espaço na câmara de combustão e se iniciar um novo ciclo. Quanto mais rápido esses gases forem eliminados maior será o espaço para admitir ar para o próximo ciclo. O escapamento original é projetado e fabricado tomando por base a legislação de trânsito, sendo assim tem que atender requisitos de poluição sonora que são impostos, impossibilitando os gases de serem expelidos livremente pelo escapamento. Já o escapamento esportivo tem foco no desempenho da potência do motor, não se atendo muito aos requisitos exigidos pela legislação de trânsito, isto permite que os gases contidos na câmara de combustão sejam expulsos para fora mais rapidamente.

Com relação ao exposto, questiona-se: **A troca do escapamento original por um escapamento esportivo realmente melhora o desempenho da potência da motocicleta tetracilíndrica de combustão interna a 4 tempos?**

O objetivo da pesquisa é avaliar o possível aumento da potência em uma motocicleta dotada de um motor tetracilíndrico de combustão interna a 4 tempos por meio da substituição do sistema de escapamento original por um esportivo da marca CS Escapamentos modelo Full completo, além disso é necessário analisar as curvas de torque e potência, comparando o desempenho das motocicletas, com os dois escapamentos.

Este estudo justifica-se pela possibilidade de se obter um melhor desempenho em motores tetracilíndricos de combustão interna a 4 tempos para motocicletas, visto que o número de motocicletas esportivas atualmente é muito grande e vem crescendo constantemente, devido a sua agilidade e a incrível sensação de estar pilotando uma motocicleta de corrida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO

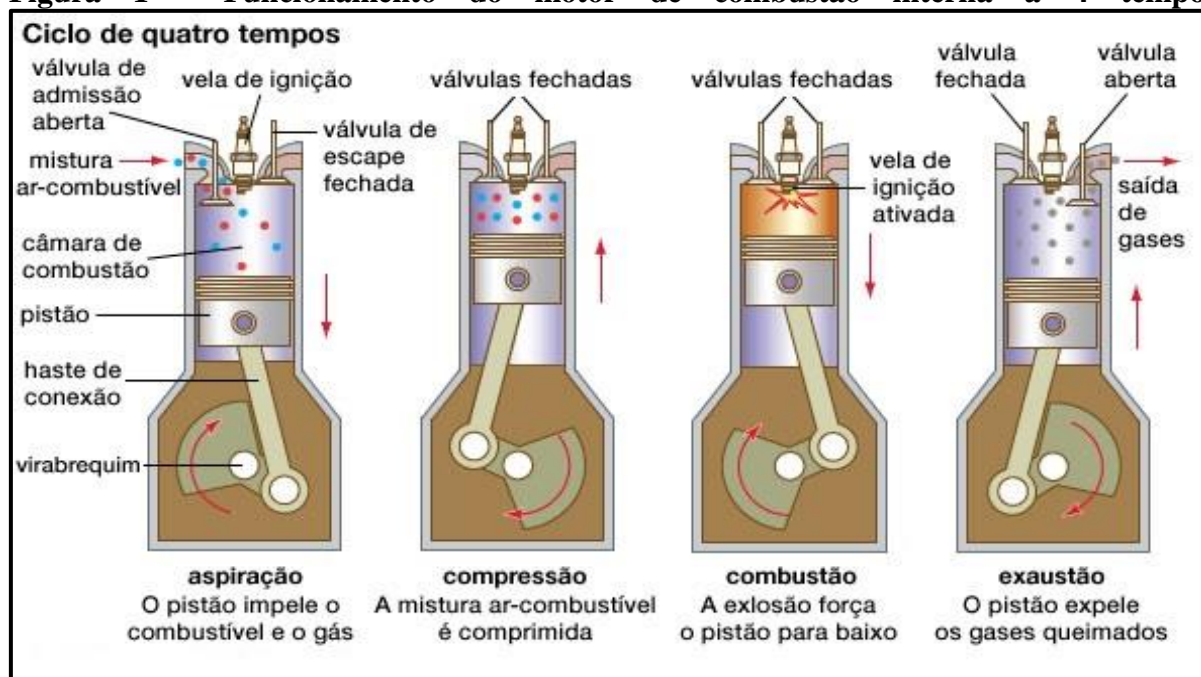
Segundo Martins (2013), os motores de combustão interna tiveram a sua origem com a invenção das armas de fogo, tendo em vista que elas convertiam a energia térmica da explosão

em trabalho, movimentando os projéteis. Na segunda metade do século XVII foram realizados os primeiros experimentos para a obtenção de trabalho através de um combustível, utilizando a explosão da pólvora em uma câmara para erguer um pistão. A primeira notícia publicada a respeito de um motor foi em relação a esta concepção de Christiaan Huygens em 1673, porém já havia outro estudo datado em 1508 por Leonardo da Vinci com o mesmo fundamento.

Em meados de 1862 o Motor de Ignição à Faísca a 4 tempos (MIF 4T), também conhecido como motor de combustão interna ciclo otto, teve os seus princípios de funcionamento fundamentado por Beau de Rochas. Em 1876 Nikolaus August Otto realizou estudos mais detalhados a respeito do assunto e conseguiu aprimorar esses motores, além de realizar a execução prática deles, devido a isso denomina-se “motor Otto” (BRUNETTI, 2012a).

Em relação aos motores de combustão interna a 4 tempos, Martins (2013) afirma que este ciclo (ciclo de Otto) se deve ao conjunto de 4 etapas, são elas: admissão, compressão, expansão e escape. Estas etapas são realizadas em 4 tempos, em outras palavras, em 4 cursos de pistão, ou 2 rotações. No motor de combustão interna a 4 tempos apenas um dos tempos fornece trabalho ao motor, assim necessitando de um grande volante de inércia, capaz de deslocar a cambota durante 3 tempos sem reduzir exageradamente a sua velocidade. A Figura 1 demonstra o funcionamento do motor de combustão interna a 4 tempos.

Figura 1 - Funcionamento do motor de combustão interna a 4 tempos



Fonte: (GUERRA, 2017).

A admissão também conhecida como aspiração ou introdução, representa a entrada da mistura ar-combustível para dentro da câmara de combustão. Nesta etapa a válvula de admissão está aberta e a válvula de escape está fechada. O pistão se movimenta de PMS até PMI, com o movimento de descida ele induz a mistura ar-combustível vinda do sistema de alimentação para dentro da câmara de combustão, devido à pressão atmosférica (GUERRA, 2017).

Na compressão, ambas as válvulas estão fechadas e o pistão sobe do PMI ao PMS, fazendo a compressão da mistura ar-combustível que foi recebida durante a etapa de admissão. Esta compressão eleva a temperatura e turbulência da mistura, fazendo a vaporização de alguma gasolina ainda em estado líquido e homogeneizando a mistura. Isso faz com que a combustão seja mais completa, libera mais calor e uma menor quantidade de resíduos não queimados, que são altamente poluentes. Porém, a temperatura no final da compressão deve ser menor que a temperatura de autoignição da mistura, uma vez que se for maior a explosão ocorrerá antes do tempo (MARTINS, 2013).

A combustão é a etapa mais crucial do ciclo, pois é a única que fornece trabalho ao motor. Nela acontece a queima do combustível através da centelha da vela. Com a força da explosão o pistão é empurrado para baixo violentamente, deslocando-se do PMS até o PMI rapidamente, gerando torque e potência ao motor. Lembrando que nesta etapa ambas as válvulas continuam fechadas. (GUERRA, 2017).

Já na etapa de escape, também chamada de exaustão, a válvula de admissão fica fechada e a válvula de escape abre quando o pistão chega ao PMI da etapa anterior (combustão), fazendo com que os gases resultantes da queima da mistura ar-combustível sejam expelidos para fora da câmara de combustão através do escapamento. Quando o pistão chega ao PMS esta válvula de escape fecha novamente e se inicia um novo ciclo (MARTINS, 2013).

Para motores tetracilíndricos de combustão interna a 4 tempos, Rosa (2003) ressalta que os cilindros operam dentro de uma ordem de combustão. Cada cilindro trabalha em um tempo diferente, em outras palavras, não se tem em cilindros diferentes tempos iguais.

Por terem que aguentar elevadas pressões e velocidades, os motores de combustão interna necessitam de uma estrutura rígida. Esta estrutura é formada por três partes principais, são elas: cabeçote (cabeça do motor), bloco do motor e cárter (MARTINS, 2013).

O cabeçote tem como finalidade tampar os cilindros, tendo assim a formação da câmara de combustão na parte superior do bloco do motor. No cabeçote ocorrem elevadas pressões devido à compressão da mistura ar-combustível. Para que não ocorra a perda de compressão, a união do cabeçote com o bloco do motor necessita de uma junta de vedação composta de

amianto e revestida de metal (TILLMANN, 2013). Ainda referente ao cabeçote, Rosa (2003) complementa que o cabeçote também serve para a fixação de outros componentes do motor tais como velas de ignição, guias de válvulas, válvulas e comando de válvulas.

Martins (2013) relata que em motores mais antigos o cabeçote era feito de ferro fundido, já nos motores atuais o principal material utilizado são as ligas de alumínio em questão de ser maleável para trabalhar, ter boa condutibilidade térmica e ser leve.

O bloco do motor é uma das principais partes estruturais do motor, tem como função acoplar grande parte dos componentes que constituem o motor e ao mesmo tempo dar sustentação a ele. Ele é fabricado em ferro fundido e ligas ou alumínio e ligas (ROSA, 2003).

Em relação ao bloco do motor Tillmann (2013) ressalta que sua fabricação é complexa e exige condições tecnológicas, devido a preocupação com elevadas temperaturas e pressões de trabalho, também deve ser levado em conta as características do material, como dilatação e contração. O bloco do motor precisa ser usinado para que a água do sistema de arrefecimento e o óleo do sistema de lubrificação consigam ter passagem por ele e desempenhar as suas respectivas funções.

Já o cárter tem como sua principal função é armazenar o óleo de lubrificação, e como existe a necessidade de arrefecimento do óleo geralmente apresenta aletas na parte exterior para ajudar na transferência de calor com o ar exterior. Devido à necessidade de proteger os componentes internos do motor, na sua grande maioria é fabricado em aço escovado já que esse material possui uma boa resistência ao choque, porém também pode ser feito em alumínio. (MARTINS, 2013).

Os principais fatores que induzem a boa performance do motor são: taxa de compressão, rendimento, regime de rotação e rapidez da combustão. Características dos motores como potência, torque e consumo são influenciadas por estes fatores. Tendo em vista que na queima da mistura ar-combustível a força não é transmitida totalmente ao eixo do motor, pois parte dela é perdida com a força de atrito e com os órgãos auxiliares, foram criadas terminologias para definição de potência: potência indicada (N_i) e potência efetiva (N_e) (PENILDO FILHO, 1983).

Conforme explica Penido Filho (1983), é a potência gerada no interior do cilindro provocada pela explosão da mistura ar-combustível. Geralmente a cilindrada é dada em litros, a fórmula da potência indicada para um motor 4 tempos será:

$$N_i = \frac{PMI \times V \times n}{900} \quad (1)$$

Onde:

$$Ni = cv$$

$$V = \text{Litros}$$

$$n = \text{RPM}$$

A potência indicada também pode ser medida através de um indicador de pressão, que permite traçar o ciclo do fluido ativo, tendo em vista que a potência é desenvolvida através do ciclo termodinâmico do fluido ativo (BRUNETTI, 2012a).

Em relação à potência efetiva Brunetti (2012a), afirma que é a potência gerada pelo eixo do motor e depende diretamente do torque (T). Se T em Nm , n em Rpm e Ne em kW :

$$Ne = \frac{T \times n}{9549} \quad (2)$$

Vale ressaltar que a potência efetiva também é chamada potência ao freio. Esta potência tem uma utilização maior na prática do que a potência indicada, pois representa a potência gerada no eixo do motor. Ela pode ser medida por meio de um dinamômetro. (PENIDO FILHO, 1983).

No que diz respeito ao torque, Penido Filho (1983) resalta que o torque é o momento de torção (Mt) o qual o eixo do motor está sujeito e seu valor pode ser medido por um dinamômetro, da seguinte maneira:

$$Mt = F \times L \quad (3)$$

Sendo “F” a força em Kg aplicada no braço da alavanca de comprimento “L” para uma dada rotação.

O torque pode ser obtido em relação à potência pela seguinte fórmula:

$$Mt = \frac{Ne \times 716,2}{n} \quad (4)$$

Onde:

$$Ne = \text{Potência em CV}$$

$$N = \text{Rotação RPM}$$

$$Mt = \text{Torque em Kgm}$$

O motor pode trabalhar em várias rotações. Para conseguir medir o torque em uma dada rotação é preciso impor ao eixo um momento externo resistente de mesmo valor que o produzido pelo motor. Caso isso não aconteça, a rotação pode variar conforme o momento torço resistente varie (BRUNETTI, 2012a).

2.1.1 Combustível

Para Brunetti (2012a), a gasolina é uma mistura de várias naftas resultantes do processamento do petróleo. Suas propriedades precisam ser balanceadas de modo a atender uma grande variedade de condições operacionais dos motores. Sua composição possui hidrocarbonetos de quatro a doze carbonos, sendo que na maioria das vezes está entre cinco e nove carbonos. Os teores de naftas utilizados na composição da gasolina influenciam diretamente em suas propriedades. A octanagem e a volatilidade são as principais propriedades que atuam no desempenho do veículo.

Como a gasolina é submetida a elevadas temperaturas e pressões durante a combustão, ela necessita ser capaz de aguentar tais temperaturas e pressões sem que a mistura exploda sozinha (autoignição), pois isso geraria uma combustão irregular. A resistência a esta combustão irregular se da pelo índice de octano (octanagem) (MARTINS, 2013).

Referindo-se a tal assunto, Brunetti (2012a) complementa que a resistência a autoignição dos hidrocarbonetos individuais variam muito, pois dependem das condições operacionais do motor, do seu tamanho e da sua estrutura. Geralmente, na pressão atmosférica, os hidrocarbonetos leves ficam na faixa de 500 °C e 600 °C. Quanto maior for a temperatura de autoignição do hidrocarboneto, mais resistente à detonação ele será.

A volatilidade do combustível é de suma importância tanto para um manuseio seguro, quanto para o desempenho do motor. É esta propriedade que faz com que o combustível do veículo se adeque ao funcionamento de diferentes condições de operações do motor (BRUNETTI, 2012a).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP), 2013, afirma que a gasolina vendida em postos de combustíveis do nosso país é a gasolina C, a qual tem adição de 27% de etanol em sua composição. Na sua composição, ainda pode ter até 1% (do volume) de benzeno e o teor máximo de enxofre é de 50 mg/kg.

2.2 LIMITES DE EMISSÕES SONORAS

Para o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1999), o ruído excessivo é prejudicial à saúde tanto física como mental, afetando particularmente a audição. Os níveis máximos de ruídos são estabelecidos a fim de reduzir os elevados índices de poluição sonora.

O ruído tem como definição um som que causa desconforto. Este fenômeno precisa ser estudado dentro do meio onde ocorre, de tal forma a reduzir ou eliminar o desconforto para que não seja prejudicial ao ser humano. Já o som é definido como um fenômeno físico ondulatório periódico, em outras palavras, são vibrações mecânicas que se propagam em forma de ondas e acontecem em meios sólidos, líquidos e gasosos (BRUNETTI, 2012b).

O CONAMA (1999) afirma que o limite máximo de emissão sonora para motocicletas é de 99 decibéis. A medição do ruído deve ser feita com o veículo parado, e com um equipamento de medição previamente calibrado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) ou laboratórios pertencentes à Rede Brasileira de Calibração (RBC). Para o posicionamento preciso do microfone é utilizado um gabarito que consiste em um triângulo com dois encostos, um para posicionamento junto ao escape e outro para posicionamento do microfone.

2.3 ESCAPAMENTO ESPORTIVO

Para Brunetti (2012b), o processo de descarga dos gases podem ser separados em duas fases. Na primeira acontece a “liberação” dos gases de combustão para o coletor de descarga, devido a válvula de escape ser aberta e à pressão interna no cilindro ser muito maior que a pressão no coletor. Já na segunda fase, acontece a “expulsão” dos gases queimados através do movimento do pistão. O dimensionamento do diâmetro do coletor é de suma importância, pois limita a velocidade de escoamento dos gases, ou seja, reduz as perdas de descarga.

A contrapressão do escapamento é outro ponto que influencia na eficiência e na potência do motor, uma vez que o trabalho realizado para “expulsar” os gases queimados é diretamente proporcional a essa contrapressão, em outras palavras, quanto menor for a compressão menor será o esforço para retirar os gases da câmara de combustão e melhor será a lavagem dos cilindros. A contrapressão ocorre devido às restrições de escoamento (diâmetro dos coletores, cruzamento de válvulas, curvas no escapamento) (BRUNETTI, 2012b).

De acordo com o Conselho Estadual De Trânsito De Santa Catarina (CETRA/SC), 2009, o que difere o escapamento esportivo do escapamento original, é basicamente que no escapamento esportivo o material e o design utilizados na confecção são diferenciados, visando

deixar a motocicleta mais esportiva. Como este tipo de escapamento abafa menos o ruído, os gases resultantes da combustão são expelidos do motor de forma mais livre, ou seja, os gases provenientes da combustão são expulsos do motor mais rapidamente, tendo uma lavagem melhor do cilindro e de certa forma melhorando a performance da motocicleta. Existem uma variedade de materiais utilizados para confeccionar os escapamentos esportivos, porém os mais usados devido ao seu custo-benefício são o alumínio e o aço inoxidável.

Santos (2010) afirma que o alumínio tem uma grande gama de aplicações, visto que é um material metálico versátil, econômico e atrativo. É um material que possui uma boa resistência à oxidação progressiva, ou seja, impede a progressão da deterioração do material, e além disso tem uma superfície brilhante e refletiva tornando-o chamativo. Já o aço inoxidável pode ser composto de vários elementos (cromo, níquel, alumínio, entre outros) que influenciam suas propriedades. O cromo forma uma película impermeável protegendo o material contra agentes agressivos, o níquel aumenta a resistência ao calor e à corrosão e o alumínio aumenta a resistência à oxidação em altas temperaturas.

Para uma melhor eficiência do motor o sistema de escapamento deve ser projetado de forma a impor o mínimo possível de restrições no escoamento do gases provenientes da queima da mistura ar-combustível, utilizando curvas suaves e contornos arredondados sempre que possível. O coletor de descarga ideal tem ramos separados para cada cilindro, podendo esses ramos serem juntados de maneira suave em um único tubo (BRUNETTI, 2012b).

2.4 DINAMÔMETRO DE INÉRCIA

Para Martins (2013), os testes de motores são fundamentais e precisam ser realizados inúmeras vezes e em diferentes níveis antes dos motores serem inseridos no mercado, pois parâmetros importantes como consumo de combustível, emissão de poluentes, potência e durabilidade são medidos por meio dos testes de motores. Os testes de motores são realizados através de um dinamômetro. No que diz respeito a dinamômetros, Perfectum (2015) explica que o dinamômetro é um equipamento capaz de medir a potência de um motor em suas diferentes condições de operação.

Os dinamômetros de inércia servem para testar carros ou motocicletas em virtude de oferecerem rápidas acelerações. Este tipo de dinamômetro simula a inércia do veículo, medindo a velocidade do motor em função do tempo. Consiste basicamente em cilindros de inércia que são forçados a girar pelo motor. O motor pode estar acoplado diretamente ao dinamômetro ou

a(s) roda(s) motriz(es) do veículo pode ser colocada exatamente sobre o(s) cilindro(s) de inércia, em contrapartida neste caso são gerados resultados mais baixos, visto que acontecem perdas de carga por outros componentes do veículo como por exemplo o sistema de transmissão e das rodas (MARTINS, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram selecionadas três motocicletas esportivas constituídas de motores tetracilíndricos de combustão interna a 4 tempos. As motocicletas em questão estão especificadas no Tabela 1.

Tabela 1- Motocicletas utilizadas nos testes

Marca	Modelo	Cilindrada	Ano	Diâmetro x curso (mm)	Taxa de compressão	Potência (CV a rpm)	Torque (kgf · m a rpm)
Yamaha	XJ6N	600 cm ³	2012	65,5 x 44,5	12,2:1	77,5 a 10000	6,1 a 8500
Honda	CB 1000R	998 cm ³	2019	75 x 56,5	11,6:1	144 a 10500	10,4 a 8250
Kawasaki	Z1000 R	1043 cm ³	2018	77 x 56	11,8:1	138 a 9600	11,2 a 7800

Fonte: Adaptado de Honda (2019); Quatro rodas (2011).

O escapamento esportivo escolhido para a execução dos testes foi da marca CS Escapamentos modelo Full (completo), fabricado em aço inoxidável 304, sendo o escapamento confeccionado por completo, desde os coletores até a ponteira, devido a isso o nome do modelo Full (completo), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Escapamento esportivo modelo Full para motocicleta Kawasaki/Z1000



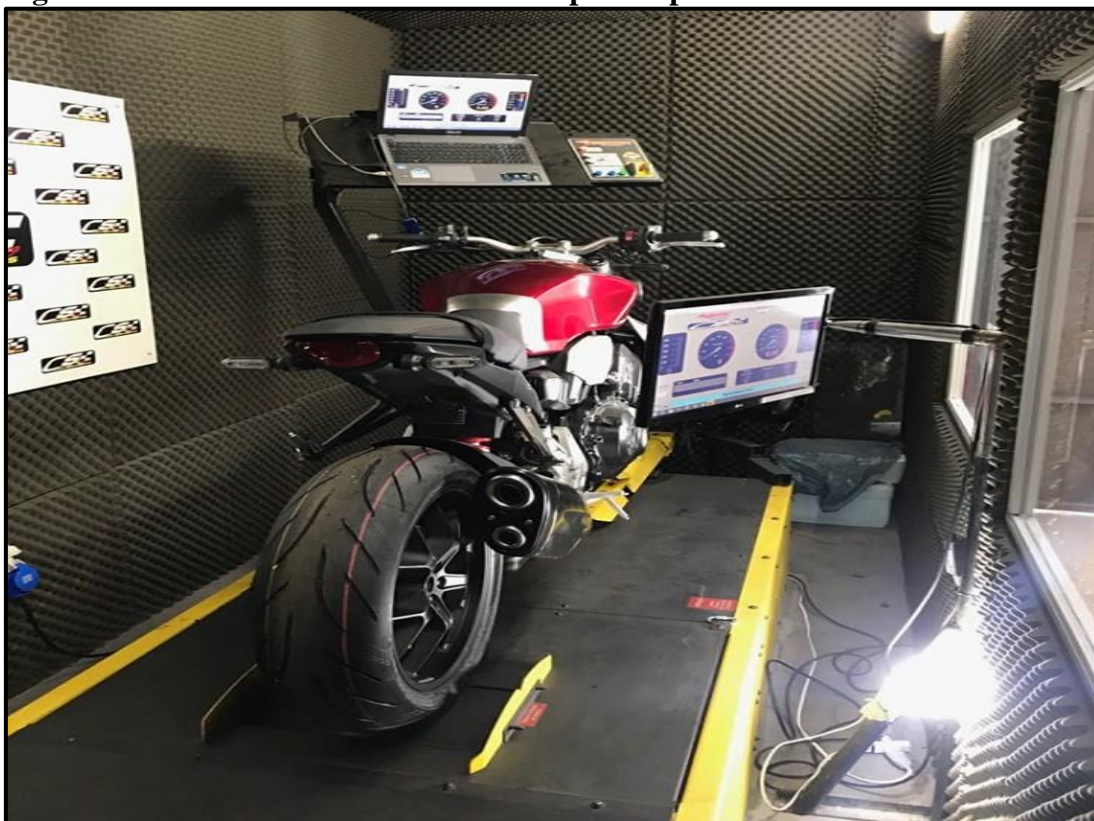
Fonte: (CS ESCAPAMENTOS, 2019).

Os testes foram feitos na própria empresa que fabrica os escapamentos esportivos (CS Escapamentos), localizada na cidade de Chapecó no estado de Santa Catarina. Para a execução dos testes utilizou-se um dinamômetro de inércia da marca Servitec modelo 2010. Este modelo de dinamômetro pode ser programado de diversas formas diferentes. Neste caso em específico, o dinamômetro foi programado para realizar os testes com a motocicleta em 4ª marcha partindo de uma rotação de 3.000 RPM.

Os testes para medir a potência e o torque das motocicletas funcionaram da seguinte maneira: a roda dianteira foi presa em um suporte (chamado de carrinho). O carrinho foi ajustado em uma posição para que a motocicleta ficasse com a roda traseira (roda motriz) centralizada em cima do rolo, ou seja, centralizada no cilindro de inércia da máquina.

Após isso a motocicleta foi colocada em 4ª marcha e 3.000 RPM, com isso travou-se a rotação do dinamômetro com a rotação da motocicleta. Após isso é iniciado o teste. A motocicleta foi acelerada até o final do giro do motor, em outras palavras, até cortar giro. Os resultados são coletados pelo computador, as informações obtidas apresentaram os valores de potência e torque, bem como o gráfico com as curvas de potência e torque. A Figura 3 mostra uma das motocicletas no dinamômetro:

Figura 3 – Motocicleta Honda CB 1000R pronta para o teste em dinamômetro



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Cada motocicleta foi submetida a 6 ensaios, 3 com o escapamento original e 3 com o escapamento esportivo. A comparação dos resultados foi a partir da média dos resultados obtidos nos 3 ensaios. Para a realização dos testes de emissão de ruídos foi utilizado um aparelho capaz de medir a pressão sonora em decibéis (dB). Este aparelho é um decibelímetro modelo SL-814. Os testes foram realizados com a motocicleta ligada e em marcha neutro, o aparelho foi colocado a uma distância de aproximadamente 10 centímetros do bocal de saída do escapamento, conforme resolução nº 252 de 01 de fevereiro de 1999 do CONAMA. Os testes de emissão de ruídos foram realizados apenas na motocicleta Yamaha XJ6N, devido ao fato de não ter o decibelímetro nos dias em que foram testadas as outras motocicletas.

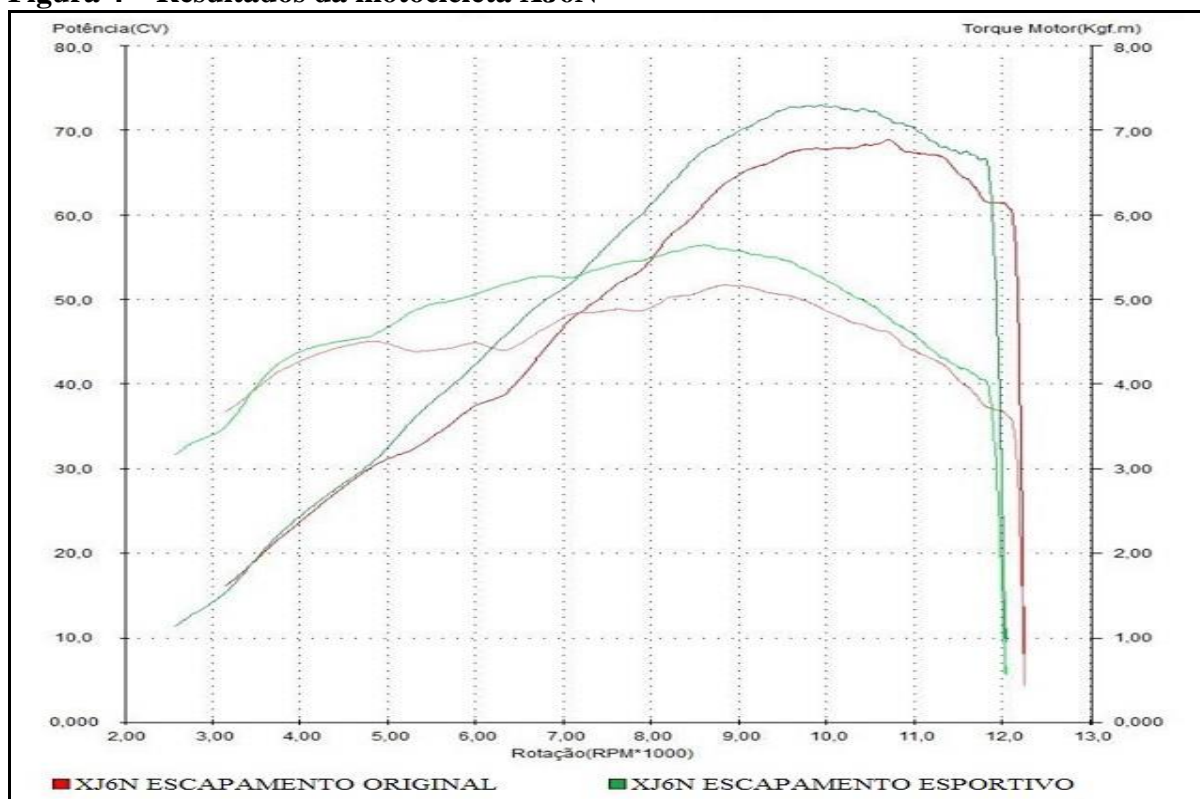
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 YAMAHA XJ6N

A Figura 4 retrata a média dos resultados obtidos, em forma de gráfico, para a motocicleta XJ6N. Nela podemos observar as curvas de torque (ponto máximo entre 8.000 e

9.000 RPM), e as curvas de potência (ponto máximo entre 9.000 e 11.000 RPM). As linhas em vermelho representam a motocicleta com o escapamento original, já as curvas em verde representam a motocicleta com o escapamento esportivo.

Figura 4 – Resultados da motocicleta XJ6N



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Pode-se observar que a motocicleta com o escapamento esportivo teve ganhos significativos tanto no torque, quanto na potência. A curva de torque passou de 5,17 kgf·m à 8.820 RPM com o escapamento original para 5,64 kgf·m à 8.590 RPM com o escapamento esportivo, tendo um aumento percentual de 9,09%. Já a curva de potência passou de 68,88 CV à 10.700 RPM com o escapamento original para 72,95 CV à 9.910 RPM com o escapamento esportivo, resultando em um aumento percentual de 5,91%.

É importante ressaltar que os resultados obtidos foram gerados através da roda motriz da motocicleta, ou seja, aconteceram perdas de potência por outros componentes do veículo como por exemplo o sistema de transmissão e das rodas (MARTINS, 2013).

Nos ensaios de emissão de ruídos obteve-se os seguintes resultados médios para a pressão sonora dos escapamentos: 92,8 decibéis para a motocicleta com o escapamento original e 103,1 decibéis para a motocicleta com o escapamento esportivo. Neste caso a motocicleta

com o escapamento esportivo excedeu o limite sonoro permitido que é de 99 decibéis segundo o CONAMA (1999).

4.2 HONDA CB 1000R

A Figura 5 mostra a média dos resultados obtidos, em forma de gráfico, para a motocicleta CB 1000R. Nela podemos observar as curvas de torque (ponto máximo entre 7.000 e 8.000 RPM), e as curvas de potência (ponto máximo entre 9.000 e 11.000 RPM). As linhas em vermelho representam a motocicleta com o escapamento original, já as curvas em verde representam a motocicleta com o escapamento esportivo.

Figura 5 – Resultados da motocicleta CB 1000R



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

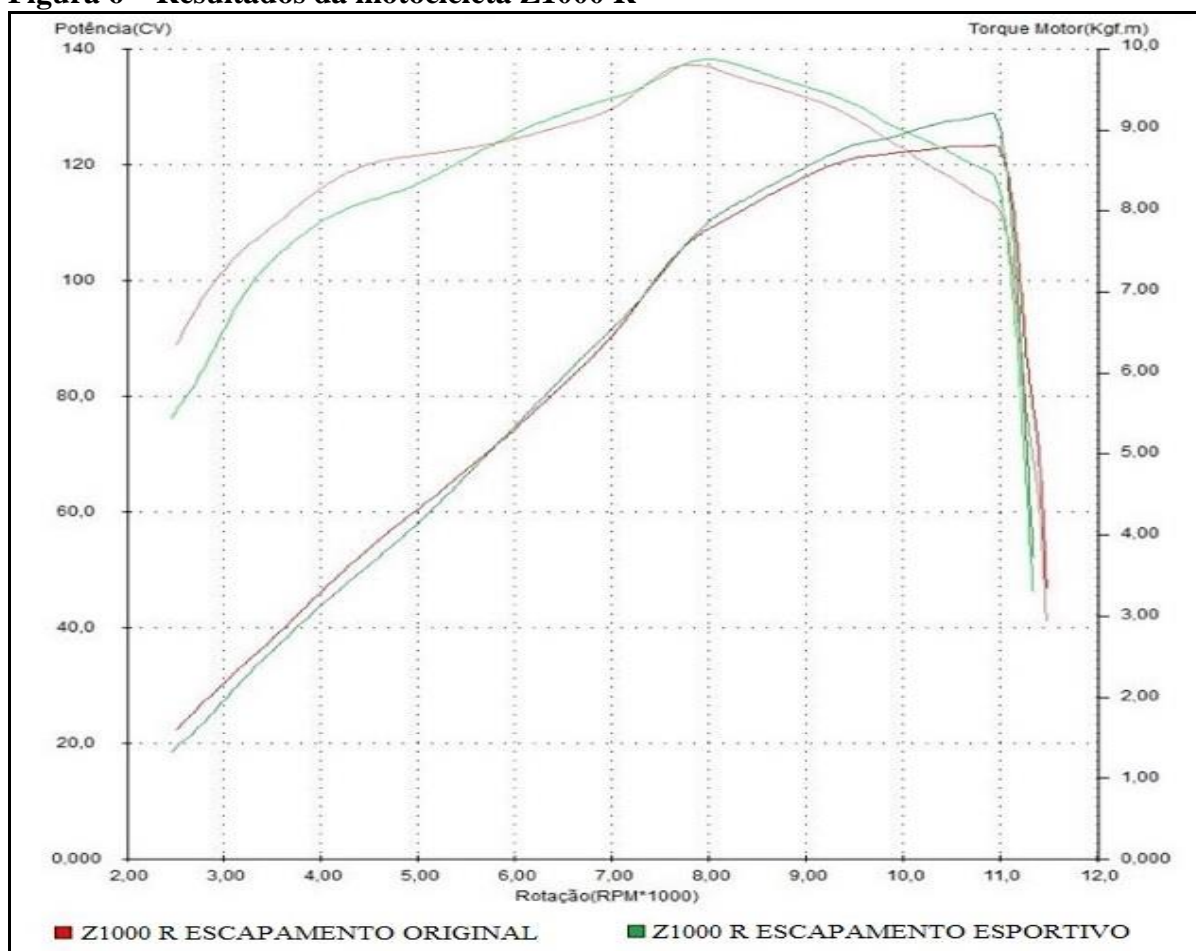
Pode-se observar que a motocicleta com o escapamento esportivo teve ganhos tanto no torque, quanto na potência. A curva de torque passou de 9,92 kgf·m à 7.800 RPM com o

escapamento original para 10,20 kgf·m à 7.850 RPM com o escapamento esportivo, tendo um aumento percentual de 2,82%. Já a curva de potência passou de 130,09 CV à 10.000 RPM com o escapamento original para 134,28 CV à 10.100 RPM com o escapamento esportivo, resultando em um aumento percentual de 3,22%.

4.3 KAWASAKI Z1000 R

A Figura 6 retrata a média dos resultados obtidos, em forma de gráfico, para a motocicleta Z1000 R. Nela podemos observar as curvas de torque (ponto máximo entre 7.000 e 8.000 RPM), e as curvas de potência (ponto máximo entre 10.000 e 11.000 RPM). As linhas em vermelho representam a motocicleta com o escapamento original, já as curvas em verde representam a motocicleta com o escapamento esportivo.

Figura 6 – Resultados da motocicleta Z1000 R



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Pode-se observar que neste caso a motocicleta com o escapamento esportivo teve pouco ganho no torque, porém um ganho na potência. A curva de torque passou de 9,80 kgf·m à 7.800 RPM com o escapamento original para 9,87 kgf·m à 7.980 RPM com o escapamento esportivo, tendo um aumento percentual de 0,71%. Já a curva de potência passou de 123,29 CV à 10.900 RPM com o escapamento original para 128,88 CV à 10.900 RPM com o escapamento esportivo, resultando em um aumento percentual de 4,53%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a troca do escapamento original por um escapamento esportivo propicia ganhos no desempenho do motor de motocicletas tetracilíndricas de combustão interna a 4 tempos.

Ao fim da análise de resultados, percebe-se que a motocicleta Yamaha XJ6N (600 cilindradas) teve maiores ganhos em relação às outras motocicletas com cilindradas maiores tanto no torque, quanto na potência. Em todos os ensaios o escapamento esportivo produziu resultados de potência máxima superiores aos obtidos com o escapamento original, ou seja, o escapamento esportivo propicia um aumento na performance do motor das motocicletas tetracilíndricas. Por outro lado de acordo com os testes realizados para a medição de emissão sonora, pode-se perceber que o escapamento esportivo ultrapassa os limites sonoros permitidos.

Conclui-se então que o escapamento esportivo é recomendável para quem busca uma melhor performance do motor de sua motocicleta tetracilíndrica, porém é necessário estar ciente que este tipo de escapamento ultrapassa os limites sonoros impostos pela lei, em outras palavras, a troca do escapamento original pelo escapamento esportivo na motocicleta pode gerar multa.

Este trabalho deixou algumas sugestões para trabalhos futuros, como:

- Avaliar o consumo específico das motocicletas em cada situação;
- Analisar as causas dos resultados da motocicleta com menor cilindrada apresentarem valores de torque e de potência, no ponto máximo, superiores em relação às de maiores cilindradas;
- Analisar os gases das emissões, para cada sistema de escapamento;

REFERÊNCIAS

ABRACICLO. **Frota circulante – Duas rodas a motor**. 2019. Disponível em: <http://www.abraciclo.com.br/images/pdfs/Motocicleta/Frota/2018_12_Frota.pdf

>. Acesso em: 26 de mar. de 2019.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível. **Resolução ANP Nº 40 de 2013**. 2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=261162>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**: Volume 1. São Paulo: Edgard Blucher, 2012a.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**: Volume 2. São Paulo: Edgard Blucher, 2012b.

CETTRAN/SC, Conselho Estadual De Trânsito De Santa Catarina. **Fiscalização de ruídos emitidos por escapamentos de motos**. 2009. Disponível em: <http://www.cetran.sc.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=171&Itemid=134>. Acesso em: 13 mai. 2019.

CONAMA. **RESOLUÇÃO No 252 DE 01 DE FEVEREIRO DE 1999**. 1999. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25299.html>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

CS ESCAPAMENTOS. **Escapamento esportivo Z1000**. 2019. Disponível em: <<https://www.csescapamentos.com>>. Acesso em: 20 mai. 2019

GUERRA, Pedro H. L.. **Como funciona um motor 4 tempos**. São Paulo: Educação Automotiva, 2017. Disponível em: <<https://educacaoautomotiva.com/2017/07/06/motor-4-tempos-como-funciona/>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

HONDA. **CB1000R Neo Sports café 2019 especificações**. 2019. Disponível em: <<https://www.honda.pt/motorcycles/range/street/cb1000r/specifications.html>>. Acesso em: 25 set. 2019.

MARTINS, Jorge. **Motores de combustão interna**. 4. ed. Portugal: Publindústria, 2013.

PENIDO FILHO, Paulo. **Os motores a combustão interna**. 1. ed. Belo Horizonte: Lemi S.A, 1983.

PERFECTUM, Serviços de Engenharia Ltda. **Dinamômetros Hidráulicos**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.perfectum.eng.br/PDF/dinos.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

QUATRO RODAS, Redação. **FICHA TÉCNICA DA KAWASAKI Z1000**. 2011. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/ficha-tecnica-da-kawasaki-z1000/>>. Acesso em: 25 set. 2019.

QUATRO RODAS, Redação. **FICHA TÉCNICA: XJ6**. 2011. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/ficha-tecnica-yamaha-xj6/>>. Acesso em: 25 set. 2019.

ROSA, Carlos Alexandre de Oliveira Andrea da. **Motores de Combustão Interna - Álcool e Gasolina**. Santa Maria: Senai, 2003. Disponível em: <http://www.escolaelectra.com.br/alumni/biblioteca/Apostila_motores_de_combustao_interna.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2019.

SANTOS, Valdir Aparecido dos. **Prontuário para projeto e fabricação de equipamentos industriais**. 1. ed. São Paulo: Ícone, 2010.

TILLMANN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas**. Pelotas: e-Tec Brasil, 2013. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2019.