

A Evolução Dos Motores De Combustão Interna

Maicon Luiz Silva Vicente ¹
Lucas Cuevas ²

RESUMO

O motor de combustão interna começou a substituir o motor a vapor em razão da sua melhor eficácia, por não necessitar de reservatório de água para expansão, consumo menores de combustível, peso menor assim como o dimensionamento. Desde sua criação, os motores de combustão interna foram os motores mais utilizados pelas indústrias automobilísticas. Com o decorrer das décadas os motores foram evoluindo com através de investimentos de inúmeras montadoras que elaboraram tecnologias novas. O motor de combustão interna, realiza, a priori, a transformação da energia química do combustível em energia térmica, para, logo após, transformá-lo em energia mecânica, sempre levando em conta os preceitos e princípios da termodinâmica. Por meio de uma revisão bibliográfica o trabalho teve como objetivo central demonstrar por meio de pesquisas a evolução dos motores de combustão interna. Para cumprir tal objetivo, foi apresentado os aspectos que motivaram o desenvolvimento do motor a combustão interna, identificando as tecnologias que auxiliaram essa evolução, para enfim, apontar as novas tecnologias que estão sendo pesquisadas. O presente trabalhou alcançou como resultado demonstrar que o motor a combustão interna evolui significativamente com o passar dos anos em inúmeros aspectos, em especial no tocante a emissão de poluente.

Palavras-chave: evolução, motores, combustão interna.

1 INTRODUÇÃO

O motor pioneiro que aproveitava a força expansiva do gás da combustão de pólvoras em cilindros fechados foi elaborado pelo Padre Hautefoille por volta de 1655, todavia não documentado foi deixado por ele sobre esse tema. Jean Etienne Lenoir em meados de 1867, começou a estudar o projeto construtivo de um motor e em 1870, realizou seu primeiro motor fixo de explosão de gás, patenteado por volta de 1875. Nesse período surgiu a ideia de transformar movimentos retilíneos em movimentos rotacionais.

¹ Acadêmico(a) do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Pitágoras.

² Orientador(a). Docente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Pitágoras.

Por volta de 1980 desenvolveu triciclos com motores a gás de hila ou leve óleo (xistos ou alcatrões) vaporizados em carburadores tipo primitivo que rendiam somente 1,6 HP. Observou a necessidade de mecanismos de ignição para dar início ao funcionamento do motor de combustão interna, devido à dificuldade encontrada para colocar seus motores em funcionamento no quais o gás era comprimido dentro dos cilindros, posteriormente a ignição era dada por faíscas elétricas.

Este tema foi selecionado pois guarda em si um importante aspecto relacionado aos motores alternativos utilizados nos automóveis, pois demonstra como funcionam a partir do movimento alternativo do êmbolo no interior do cilindro que transmite um movimento circular. O ciclo é composto dos seguintes processos: admissão, compressão, expansão e escape. Estes são características dos motores de quatro tempos ciclo Otto e ciclo Diesel, este último é o assunto a ser tratado assim como os tipos de combustíveis que são utilizados para este tipo de motor de combustão.

Esse trabalho mostrará tanto para estudantes e profissionais da área como ocorreu a evolução dos motores a combustão interna, contribuindo para maior compreensão do tema, incentivando para a evolução dos motores, assim como incentivo para o fabricante investir na elaboração de novas tecnologias. Para a sociedade, esse estudo significa benéficos ao produto final levado a população, de maneira que quanto menor o custo de fabricação, menor é o valor levado aos consumidores. Levando também serviços e produtos de melhor qualidade e com menos defeitos de fabricação.

Motor é uma máquina que tem como objetivo converter energia elétrica, térmica, química e dentre outras em energia mecânica. O motor de combustão interna, realiza, a priori, a transformação da energia química do combustível em energia térmica, para, logo após, transformá-lo em energia mecânica, sempre levando em conta os preceitos e princípios da termodinâmica. Qual a evolução história que o motor a combustão interna teve ao longo do tempo?

O objetivo geral desse trabalho é demonstrar por meio de pesquisas a evolução dos motores de combustão interna. Os objetivos específicos são: entender os aspectos que motivaram o desenvolvimento do motor a combustão interna; identificar as tecnologias que auxiliaram essa evolução; apontar as novas tecnologias que estão sendo pesquisadas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Durante o desenvolvimento do trabalho foi usado a metodologia de procedimento de método de pesquisa bibliográfica, sendo encontrados principalmente arquivos na internet e na biblioteca. Os Descritores (palavras-chaves) foram: motor, combustão, interna. Esse trabalho se desenvolveu por revisão de Literatura, sendo uma pesquisa qualitativa e descritiva. Os trabalhos pesquisados foram publicados nos últimos trinta anos. Esse trabalho foi feito pela técnica de documentação indireta, feita através da pesquisa documental realizada em livros, sites, normas, artigos científicos, teses e dissertações.

2.1 Resultados e Discussão

A ideia de se valer das forças expansivas dos gases que surgem das combustões nos cilindros fechados já existia desde 1654, quando o denominado Padre Hautefoille à sugeriu. Todavia, foi em 1887 que Nikolaus Otto desenvolveu os primeiros motores de ignição por centelha, que atualmente são denominados de motor Otto (FERRARI; OLIVERIA; SCABIO, 2005).

Com o decorrer dos anos, esses motores Otto foram sendo aperfeiçoados para que tivessem seu desempenho aprimorado e atendessem à necessidade da população. Na década de 1960 o mercado se viu diante de uma crise do petróleo a qual desestimulo a utilização de motor que usava combustível derivado do petróleo. Foi nessa época que o brasileiro Urbano Ernesto Stumpf desenvolveu o primeiro motor Otto movido a etanol (LIMA, 2009).

O período do motor Otto movido à etanol não permaneceu por muito tempo. As instabilidades do mercado não asseguravam sempre vantagem do motor Otto movido à etanol em face do movido à gasolina. Em face dessas instabilidades, outro vez, foi necessária alteração no motor Otto. Foram desenvolvidos assim o motor Otto Flex, isto é, movido tanto à etanol quanto à gasolina, permitindo ao usuário escolher pelo combustível economicamente mais favorável (OLIVEIRA, 1995).

Desde a concepção dos primeiros projetos de protótipos de MCI já havia a preocupação com a eficiência. Heywood (1998) exemplifica através de um dos primeiros trabalhos sobre motores de combustão, cuja autoria foi atribuída Beau das Rochas em 1862, onde o inventor descrevia as condições em que a máxima eficiência dos motores de combustão interna, poderia ser alcançada.

São pontos destacados no trabalho de Rochas em que a eficiência do motor pode ser maximizada pelo maior volume possível do cilindro, porém, com as menores superfícies de fronteiras; A maior velocidade de trabalho possível; A maior taxa de expansão possível e a maior pressão possível no começo do tempo de expansão (GALLO, 2003).

O primeiro motor que apareceu em cena, por volta de 1860, foi o motor inventado por J.J.E. Leonir (1822-1900). Curiosamente milhares desses motores foram vendidos após o surgimento do primeiro protótipo, em que apresentavam uma potência por volta de 4,5 kW e uma eficiência mecânica de somente cerca de 5% (FERRARI; OLIVERIA; SCABIO, 2005).

A busca por MCI mais eficientes é uma necessidade não somente do ponto de vista econômico e tecnológico, mas, também do ponto de vista da sustentabilidade do meio ambiente. Dessa forma, na maioria dos países os índices de emissões veiculares são regulamentados, exigindo que os fabricantes de veículos cumpram os limites normatizados para obterem o direito de comercializar os veículos. Neste mesmo contexto, a procura da demanda de MCI mais econômicos e menos poluentes tem sido maior tendo em vista a preocupação ambiental, conduzindo também a busca por motores menores e mais eficientes (LIMA, 2009).

De acordo com Martins (2016), o rendimento do motor pode ser visto como um produto de vários outros rendimentos, que mostram o resultado específico a cada parâmetro, tais como as perdas de atrito, a eficiência do enchimento dos cilindros por ar, a eficiência da combustão, etc.

A principal razão para a diminuição da eficiência em cargas parciais é a restrição do fluxo na seção de área transversal do sistema de admissão devido à borboleta parcialmente fechada. O autor estudou alguns métodos para otimizar a eficiência e o consumo de combustível em cargas parciais de motores de quatro tempos ciclo Otto (FERRARI; OLIVERIA; SCABIO, 2005).

Entre as propostas, estão o sistema de variação do tempo de abertura e cruzamentos das válvulas de admissão e escapamento, sistema de taxa de

compressão variável, sistema de sobre alimentação, sistema de carga estratificada, desativação ou corte de injeção de cilindros e aplicação de alguns desses sistemas combinados (OLIVEIRA, 1995).

A busca por MCI mais eficientes é uma necessidade não somente do ponto de vista econômico e tecnológico, mas, também do ponto de vista da sustentabilidade do meio ambiente. Dessa forma, na maioria dos países os índices de emissões veiculares são regulamentados, exigindo que os fabricantes de veículos cumpram os limites normatizados para obterem o direito de comercializar os veículos (LIMA, 2009).

O motor de combustão interna ciclo Otto criado pelo Engenheiro alemão O Otto, consiste em processos que são fundamentais para o seu funcionamento. Motores de combustão interna são máquinas térmicas ou mecanismos capazes de transformar energia térmica em energia mecânica, isto é a energia que provem da combustão dos componentes em um movimento rotativo sobre um eixo no qual é ligado por diversos componentes até as rodas, proporcionando com que o carro se movimente (BRUNETTI, 2012).

De acordo com Garcia e Brunetti (1994) o funcionamento dos motores quatro tempos é definido a seguir: No tempo de admissão o pistão se desloca do PMS ao PMI. Neste movimento o pistão da origem a uma sucção (depressão) que causa um fluxo de gases através da válvula de admissão – V.A que se encontra aberta, o cilindro é preenchido com mistura combustível-ar.

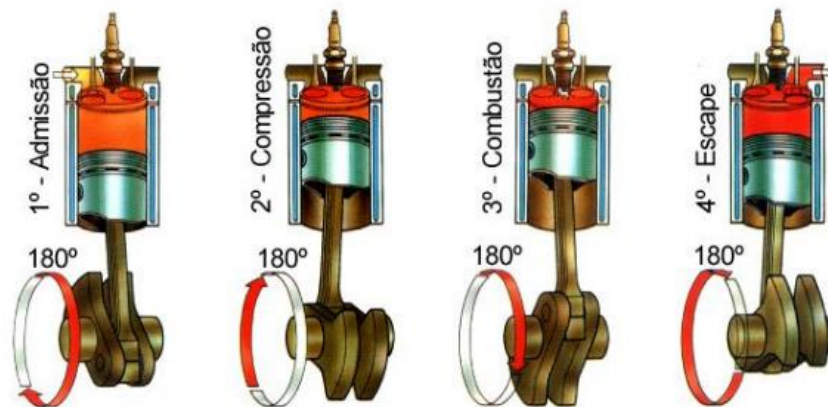
Tempo de compressão, a válvula de admissão é fechada e o pistão desloca-se do PMI ao PMS, comprimindo a mistura. No tempo de compressão fecha-se a válvula de admissão e o pistão se desloca do PMI ao PMS, comprimindo a mistura ou apenas ar, dependendo respectivamente se o motor é um MIF ou MIE (BRUNETTI, 2012).

No tempo de expansão idealmente, a combustão deve-se desenrolar a volume constante, no PMS, sendo seguida pela expansão dos gases a elevada pressão. Na prática, isto não acontece, pois a ignição e a combustão não são instantâneas (MARTINS, 2016).

No tempo de escape a abertura da válvula dá-se muito antes do pistão chegar ao PMI. Este avanço à abertura do escape tem a função de permitir que grandes partes dos gases queimados se escapem do cilindro o mais cedo possível, fazendo com que o pistão não encontre muita resistência durante o curso ascendente de escape e assim não incorra em muitas perdas por bombagem (MARTINS, 2016).

Na figura 1 mostra-se os quatro tempos de um motor de combustão interna conforme explicado acima, onde é mostrada a posição do pistão e das válvulas de admissão e escape para cada um dos tempos.

Figura 1 - Os quatro tempos do motor de combustão interna ciclo Otto



Fonte: Correia (2011)

A autonomia do motor também está ligada diretamente ao poder calorífico do combustível, ou seja, quanto maior o poder calorífico do combustível inferior, maior a autonomia do motor. A maioria dos combustíveis tem em sua composição hidrogênio, em virtude disso ocorre a formação da água, quando o hidrogênio é queimado, desta forma os valores do poder calorífico podem ser alterados em função do estado da água (líquido ou vapor) presente nos produtos da combustão (CARVALHO; JUNIOR, 2003).

O poder calorífico dos combustíveis pode ser classificado como superior ou inferior. O poder calorífico superior é dado por um processo de combustão sob um volume constante, onde a água formada neste processo é condensada e o calor provido dessa condensação é recuperado, o poder calorífico inferior é dado quando o processo de combustão se efetua a pressão constante, logo a água de combustão não é condensada (OWEN; COLEY, 2005).

A octanagem dos combustíveis é outro fator que influencia de forma significativa no rendimento do motor, porém ela não define a qualidade do combustível, a octanagem é definida como índice de resistência a auto detonação de combustíveis. Dependendo do índice de octanagem do combustível, o motor pode suportar maiores taxas de compressão, como também pontos de avanços por ignição adiantados, desta

forma proporcionando maior eficiência por parte do motor (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008).

Gallo (2003) desenvolveu um estudo de caso, com título de Especificações de novos combustíveis: o papel da ANP, que fez um comparativo entre as especificações de novos combustíveis, em 2003 na cidade de Londrina publicado no Congresso Seminário Paranaense De Biodiesel, onde o autor identifica que estes requisitos levaram ao desenvolvimento de novas tecnologias para reduzir as emissões antes da combustão, durante a combustão e após a combustão. Ele teve como resultado principal que as tecnologias para prevenção de pré-combustão abrangem todo o desenvolvimento de combustíveis renováveis e os mais limpos, como o diesel S10 e a aplicação de GNV em motores a diesel.

Como conclusão em seu trabalho Gallo (2003) observou que o controle de emissões durante a combustão pode ser alcançado projetando câmaras de combustão mais eficientes, correção de tempo e tempo de injeção de combustível, sistema de recirculação de gases de escape (EGR) e o desenvolvimento de sistemas eletrônicos de controle de motor.

Rosa (2014) fez um estudo de um motor ciclo Diesel monocilindro bi-combustível, na cidade de São Leopoldo no ano de 2014, com o título Estudo De Um Motor Ciclo Diesel Monocilindro Bi-Combustível, publicado pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, sendo uma monografia para obtenção de curso, usando como testes as análises de viabilidade, potência e poluição. Em sua análise o autor fez os ensaios e anotou os resultados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de Rosa (2014)

Ensaio	Unidade	1-OD	2-OD	3-OD
Número de registros	-	8	5	8
Tempo de ensaio	s	629	464	753
Data do ensaio	-	03/01	17/01	24/01
Potência corrigida	kW	6,08	5,05	5,04
Consumo específico corrigido	g/kWh	302,73	311,20	306,79
Rendimento (eq. 3.16)	%	27,93	27,35	27,69
Vazão mássica diesel	g/s	0,5249	0,4447	0,4385
Temperatura média dos gases de escape	°C	425,5	381,8	392,8

Fonte: Rosa (2014)

Como resultado em seu trabalho Rosa (2014) obteve que um aumento na eficiência de combustão significa menos emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, ou seja, combustão mais completa. Ela conclui em seu trabalho que os motores de combustão que operam com sistemas bicombustíveis de diesel e gás natural geralmente têm altos valores de emissões de hidrocarbonetos em comparados com a operação somente a diesel.

Carvalho e Júnior (2003) construíram um artigo para um trabalho de conclusão de curso, uma monografia publicada pela UNESP, com o título Emissões Em Processos De Combustão, um estudo de caso com avaliação de emissões em processos de combustão, analisando os valores de poluentes dos dois motores, um com gás natural e outro com óleos, analisados por eles na cidade de São Paulo em 2003.

Eles obtiveram como resultado em seu trabalho que perante o gás natural, a emissão de CO₂ em sua combustão é 98% menor que na combustão de óleos. Carvalho e Júnior (2003) propuseram que partir de 2003, deveria se reduzir a concentração de enxofre nos combustíveis como método de redução de emissões desse elemento, sendo que eles observaram diversas vezes em seu trabalho que o H₂S (sulfeto de hidrogênio) causa corrosão nos motores, reduzindo sua vida útil.

Pereira (2015) desenvolveu um estudo de caso que analisa de forma comparativa os custos dos veículos de combustão interna e veículos elétricos, na cidade de Brasília em novembro de 2015, com o Título Análise Comparativa Dos Custos Dos Veículos De Combustão Interna E Veículos Elétricos: Estudo De Caso Dos Correios. Publicada pelo Congresso Anual de Pesquisa em Transporte da ANPET. Foram feitos testes de emissão de CO₂ em três motores de veículos, com metodologia do ciclo Otto, o autor fez o comparativo dos custos, observando os gastos feitos pelos motores.

Os resultados obtidos por Pereira (2015) nos testes foram que motores mais novos, emitem menos quantidade de poluentes, assim como os veículos elétricos poluem menos que os motores de combustão interna, mesmo o custo mais elevado, o autor observou que a manutenção constante faz com que os automóveis emitam menos poluentes, que o tempo de uso não altera o valor de poluição, porém que o combustível colocado chega a diferenciar cerca de 7 vezes o custo total de consumo do automóvel.

De Moraes, Henríquez e Lira (2018) desenvolveram um estudo de caso com o título Estudo Da Influência De Modelos De Coeficiente Convectivo Em Motores De Combustão Interna, publicado pelo X Congresso Nacional De Engenharia Mecânica, em Salvador no ano de 2018, estudando a influência de modelos de *coeficiente convectivo* em motores de combustão interna, baseado em um modelo computacional fizeram simulados dos processos dos motores, para analisarem as características desses motores, por meio das formulas e equações da termodinâmica.

Em seu trabalho De Moraes, Henríquez e Lira (2018) criaram um modelo computacional, mostrando através de fluxograma como o programa funcionaria, demonstrando as formulas usadas, em um trabalho de 10 páginas, sem revisão bibliográfica. Nas discussões os autores mostraram as principais características do motor estudado e usando essas informações no programa, foi possível obter um resultado para ser analisado.

Como resultado em seu trabalho De Moraes, Henríquez e Lira (2018) concluíram que o modelo implementado tem resultados muito próximos com a física dos problemas e podem ser utilizados como meio de estudo paramétrico do comportamento do trabalho, rendimento, transferência de calor, e outras características dos motores. Eles reafirmaram que as simulações numéricas são uma das ferramentas para analisar e projetar fundamentais para desenvolver um motor mais eficiente. Além disso, os autores observaram que mesmo com o valor do coeficiente convectivo resultante de várias relações testadas serem um pouco distintas, elas não tem influências nos cálculos da pressão dentro dos cilindros.

De Freitas (2020) fez um estudo de caso de uma turbina em 2020 no estado de São Paulo, com o título Extrapolação Do Uso De Tecnologia Nos Motores De Combustão Interna: Um Estudo De Caso De Uma Turbina Reconfigurada, publicado pelos Anais do Simpósio Nacional De Ciências E Engenharias (SINACEN), analisando os motores de combustão interna através do método de exame de aspecto visual e cálculos com formulas de geração de energia e calor. Os autores colocaram fotos bem nítidas e marcando os pontos que eles queriam que fosse analisado, observando que ficou bem claro nas imagens os furos no motor, as danificações, os motivos detectados pelos autores, que são solucionado apenas por troca de peças.

O resultado destacado por De Freitas (2020) foi que o sistema de lubrificação e arrefecimento do motor não apoia com a quebra do motor, assim como ele menciona que é possível intervir e fazer manutenções corretivas, porém elas não são benéficas

para o geral, somente para um ponto só. Mas que para se colocar uma nova potência deve-se calcular tudo novamente analisando qual será a melhor opção de peça a ser usada para se evitar novos rompimentos desse motor analisado por eles.

3 CONCLUSÃO

Destarte, diante das análises das informações coletadas o trabalho alcançou seu resultado ao apontar que o moto de combustão interna evolui substancialmente ao longo dos anos em inúmeros aspectos. A evolução mais significativa diz respeito a emissão de poluente, com reduções memoráveis do principal poluente, sendo que o moto está se aproximando do seu limite, de maneira que torna mais complexa a missão de reduzir a emissão de poluente. O torque e a potência também foram aspectos que evoluíram bastante, aprimorando o rendimento dos motores graças a tecnologia o crescimento da mesma, com ênfase para a eletrônica.

O crescimento da eletrônica nos controles do motor foi essencial, permitindo a elaboração de sensor, atuador e central cada vez mais célere, o que foi primordial para o aprimoramento da tecnologia como também para o desenvolvimento de tecnologias novas. Os turbocompressores são de longe a inovação que mais elevou o torque e potência do motor.

Outra inovação que também se destaca são os comandos variáveis que estão cada vez mais sendo utilizados pelas indústrias, ensejando inúmeros benefícios para os motores, aprimorando, consumo, torque, potência e emissão. Mesmo que as evoluções do motor terem auxiliado no aprimoramento do consumo do veículo, nota-se que o peso do veículo possui influência significativa nesse aspecto. As indústrias podem pensar em investir mais na diminuição do peso dos veículos de maneira global provocando dessa maneira reduções no consumo de forma mais eficiente. Sugere como tema para trabalhos futuro o estudo da importância do óleo lubrificante e suas características para a manutenção e aumento da vida útil das máquinas.

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna**. Primeira edição. São Paulo: 2012.

CARVALHO, João Andrade de; JUNIOR, Pedro Teixeira Lacava. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: UNESP, 2003.

CORREIA, Pedro Miguel Cerqueira. **Desenvolvimento de Motor de Combustível Dual**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade do Minho, Lisboa, 2011.

DE FREITAS, André Luiz Silva Gomes. Extrapolação Do Uso De Tecnologia Nos Motores De Combustão Interna: Um Estudo De Caso De Uma Turbina Reconfigurada. **Anais do SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIAS E ENGENHARIAS (SINACEN)**, v. 5, n. 1, p. 21-36, 2020.

DE MORAES, Flávio Souza; HENRÍQUEZ, Jorge Recarte; LIRA JR, José Claudino. **Estudo Da Influência De Modelos De Coeficient Convectivo Em Motores De Combustão Interna**. X congresso nacional de engenharia mecânica. Salvador, 2018.

FERRARI, R.A.; OLIVERIA, V.S. e SCABIO, O.A. **Biodieselde soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia**. Química Nova, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

GALLO, W. L. R. **Especificações de novos combustíveis: o papel da ANP**. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE BODIESEL, 1, 2003, Londrina. Anais eletrônicos... Disponível em: <<http://www.tecpar.br/cerbio/Seminario-palestras.htm>> Acesso em: 23 agosto 2022.

GARCIA, O.; BRUNETTI, F. **Motores de Combustão interna**. 2ª Edição. São Paulo: 1994.

HEYWOOD, J. B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**, McGraw-Hill International, 2008.

LIMA, Francisco Lorenzo Magalhães. **Motores de combustão interna**. Faculdade de engenharia Universidade do Porto, 2009.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. Terceira edição. Universidade do Minho, 2016.

OLIVEIRA, F.C.C.; SUAREZ, P.A.Z.e SANTOS, W.L.P. **Biodiesel: possibilidades e desafios**. Química Nova na Escola, n. 8, maio, p. 3-8, 2008.

OLIVEIRA, Jorge Luiz Fernandes. **Gás natural uma alternativa energética à redução de poluentes veiculares**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1995.

OWEN, K, COLEY, T **Automotive Fuels Reference**. Book 2nd ed. SAE, 2005.

PEREIRA, Elisa Almeida. Análise comparativa dos custos dos veículos de combustão interna e veículos elétricos: estudo de caso dos Correios. In: **Congresso Anual de Pesquisa em Transporte da ANPET**. 2015. p. 2225-2235.

ROSA, Josimar Souza. **Estudo de um motor ciclo Diesel monocilindro bi-combustível**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2014.