



## MOTORES DIESEL, A EVOLUÇÃO DO CONTROLE DE POLUENTES E SEU DESEMPENHO EM RPM COM ADIÇÃO DE UM TURBOCOMPRESSOR ELETRÔNICO

Guilherme Gracioli Toni<sup>a</sup>, Renato Rama<sup>b</sup>, Igor Penso<sup>a</sup>

- a) FSG Centro Universitário
- b) Universidade de Caxias do Sul

Informações de Submissão	Resumo
<p>*Autor correspondente (orientador) Igor Penso, endereço: Rua Os Dezoito do Forte, 2366 - Caxias do Sul - RS - CEP: 95020-472</p>	<p>A utilização de motores a diesel com a tecnologia euro V trouxe muitas mudanças para as empresas de veículos automotores. Mais peças foram adicionadas aos veículos, mais tecnologia foi gerada para as mudanças poderem ser incluídas. Com os avanços tecnológicos sistemas menos poluentes puderam ser gerados, e também mais itens poluentes estão e estarão sendo mais controlados no Brasil e em países da Europa. Mesmo com estas mudanças ainda estamos tendo aumento de potência em muitos motores.</p>
<p><b>Palavras-chave:</b> RPM. Arla 32. EURO V. PROCONVE. P8. Emissão. EURO VI TURBOCOMPRESSOR. E-Turbo</p>	

### 1 INTRODUÇÃO

Os motores a combustão são cada vez mais tecnológicos e diferenciados em suas composições, isto na parte mecânica e também eletrônica. As normas fazem com que sejam cada vez menos poluentes e mais sustentáveis. No Brasil, a partir do ano de 2012 está em vigor a aplicação em todos os motores a diesel a tecnologia *EUROV* (sigla *Europeia*)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> EURO 5, O sistema é um conjunto de normas regulamentadoras que visa a diminuição da emissão de poluentes de veículos movidos a diesel. Oficialmente, no Brasil, ele é chamado de Programa de Controle da Poluição do Ar

O PROCONVE Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, é uma lei criada pelo Conama – Conselho Nacional de Meio Ambiente. O programa foi criado em 1986, e a cada ano vai se aperfeiçoando tecnologicamente, junto com as novas exigências propostas. Ele se adapta às metodologias utilizadas internacionalmente. O Euro V já é a quinta etapa da diminuição progressiva da emissão de gases. O programa já conta com a evolução desde o P1, esta nova tecnologia é chamada de P7<sup>2</sup>.

No Brasil uma gradativa diminuição dos níveis de poluentes está sendo levados em conta, e cada vez mais o Proconve vai avançando as tecnologias. Alguns problemas foram encontrados no início do processo de intervenção do novo programa, um exemplo foi o combustível necessário para a mudança.

O sistema só pode ser efetivado após a obtenção do diesel com menos teor de enxofre (S), o diesel S50 tem 50 partes por milhão (ppm) de enxofre. Assim os motores a diesel puderam ter a evolução e gerar menos poluentes. Com o novo combustível houve uma nova forma de emissão de gases. Um processo eletromecânico funciona nos veículos com a tecnologia euroV, quando o gás é emitido ele é adicionado a uma mistura de ureia e água (arla 32), assim diminuindo a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido.

Este processo exigiu que se aumentasse a potência dos motores, ou seja, que eles tenham a aceleração com a mesma efetividade. Alguns controladores digitais foram integrados aos motores, tornando-os mais eletrônicos.

Para se integrar na Proconve p7, algumas empresas utilizam métodos diferentes para garantir uma menor emissão de gases. Por exemplo, a Cummins utiliza o sistema SCR – *SelectiveCatalyticReduction*, um sistema que efetua a injeção de ureia nos gases de escape, causando uma reação de hidrólise. Assim, posteriormente transforma parte dos gases em nitrogênio e vapor de água.

Outros sistemas também são usados pelas empresas, por exemplo, o EGR - *ExhaustGasRecirculation*, que faz com que os gases de escape voltem para o coletor de admissão, gerando mais força ao motor e utilizando o gás que seria apenas expulso. Já O DPF - *Diesel ParticulateFilter*, efetua a separação dos elementos particulados dos gases de combustão do diesel.

---

por Veículos Automotores. (<http://chiptronic.com.br/blog/entenda-tudo-sobre-o-sistema-euro-5>). Acesso em 20 de julho de 2017.

<sup>2</sup> P7- sétima fase do programa PROCONVE, que teve início no P1 sequencialmente até a fase 7, a última implantada no Brasil até a data de 11 de novembro de 2017.

No ano de 2014 foi implementado na UE<sup>3</sup> o novo sistema de emissão de gases menos agressivos contra a natureza. Seguindo a mesma nomenclatura o EURO VI teve início devido as novas exigências de diminuição de gases poluentes emitidos pelos veículos a diesel. Assim como a quinta etapa, muitas mudanças foram introduzidas, uma delas foram os controles mais rigorosos em alguns gases específicos de acordo com Sílvia Figueiredo (2015, p. 4)

[...] a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) e a União Europeia (UE) subdividiram o limite de hidrocarbonetos totais (HC) em um limite parahidrocarbonetos não metano (NMHC) e um para metano (CH<sub>4</sub>), este último o principal constituinte do GNV. No outro sentido, a US EPA agregou os limites de NMHC e óxidos de nitrogênio (NOX) em um único, a soma de “NMHC+NOX” [...]

Com as novas etapas da regulamentação do euro VI não foram apenas os limites de emissão que estão sendo mais controlados, mas foram inseridos mais compostos para serem controlados, também tiveram aumentos com os requisitos do OBD<sup>4</sup>, assim mostrando fácil acesso para o acesso às informações de manutenção e reparo nos sistemas de pós tratamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com todas as mudanças exercidas, os motores sofreram grandes alterações. Os da marca Cummins que utilizam SCR<sup>5</sup> tiveram a necessidade de ter suas potências aumentadas para poder continuar atendendo a mesma força que exerciam na exigência do EURO III (figura 1).

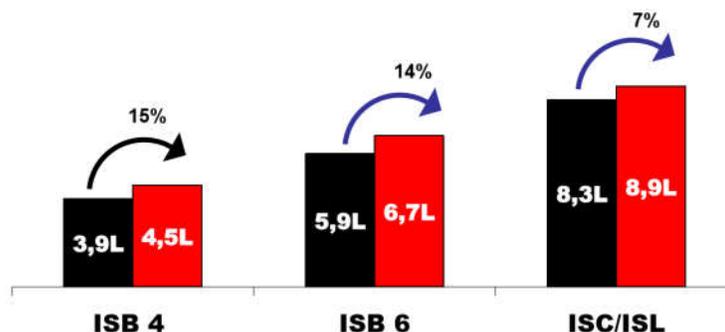


Gráfico 1- alteração das cilindradas dos motores Cummins EURO III para EURO V. Fonte: Material Edivaldo Portugal – MT Cummins

Os motores ISB 4 passaram a ter seus pistões maiores, mantendo os 4 passaram de 3900 cm<sup>3</sup> de volume (3,9 L de volume de ar) para 4500 cm<sup>3</sup>, aumento relativo de 15%. Os outros 2 exemplificados na figura 1 (ISB6, ISC/ISL) também tiveram aumentos, 14% e 7% no

<sup>3</sup> Sigla para União Europeia (composta por 28 países, incluindo como principais, Alemanha, Espanha, França Portugal) <https://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/unidade/SecLic/candidatos/estudantes-internacionais/paises-membros-da-uniao-europeia>. Acesso em 11 de agosto de 2017.

<sup>4</sup> On board diagnostic (diagnóstico de bordo), sistema para concluir problemas ou falhas nos sistemas veiculares.

<sup>5</sup>Selective Catalytic Reduction (Redução Seletiva do Catalisador)

tamanho de seus pistões respectivamente. Desta forma os motores têm mais espaço para a queima de combustível e ar, gerando mais potência em CV<sup>6</sup>.

### 2.1 SCR – *Selective Catalytic Reduction*(Redução Seletiva do Catalisador)

O sistema utiliza principalmente um composto de ureia em solução com água para resultar na mistura desejada (ARLA 32), assim tendo a máxima eficiência na menor emissão de gases poluentes. A solução é tida por 32,5% de ureia e 67,5% de água.

Os motores possuem um módulo eletrônico que faz o controle da quantidade de solução que o injetor de ureia deve mandar para o catalisador.

Após o motor ser desligado o módulo faz uma leitura da quantidade de solução que foi gasta e pode enviar diretamente ao painel do veículo, desta forma podendo ter um controle muito aproximado do quanto se está gastando por litro. Também é limpo automaticamente todo o sistema de mangueiras do veículo, assim trazendo de volta para o reservatório inicial todo o líquido que sobra nas mangueiras. (Figura 2)

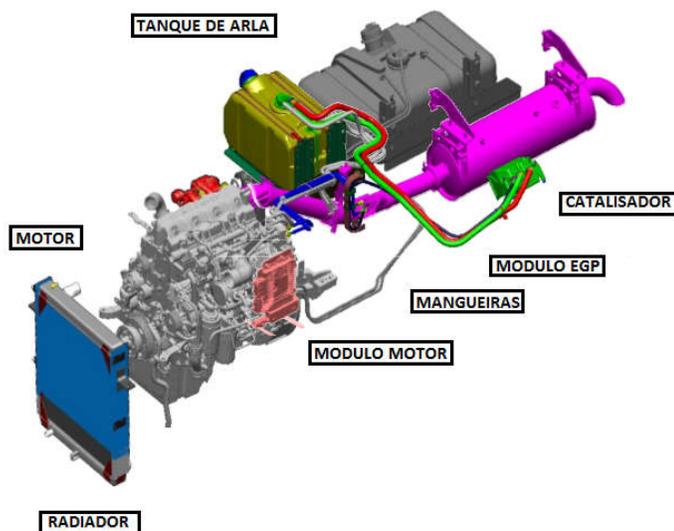


Figura 1: motor e sistema SCR. Fonte:Material Edivaldo Portugal – MT Cummins

Este sistema é o mais utilizado pela empresa Cummins no Brasil, principalmente nos motores ISB e ISL. O motor ISB é o mais vendido da marca no país.

### 2.2EGR – *Exhaust Gas Recirculation*(Recirculação dos Gases de Escape)

Funcionamento com base no reaproveitamento dos gases que são emitidos pelos motores a combustão. Faz com que o coletor de admissão receba novamente os gases,

<sup>6</sup> Quer dizer cavalo-vapor, significa potência, no Sistema Internacional de medidas utilizamos o watt (w) ou seja 1cv = 735,5 w.

misturando-os após a turbina assim gerando mais pressão que na sua entrada normal no motor. (Figura 2)

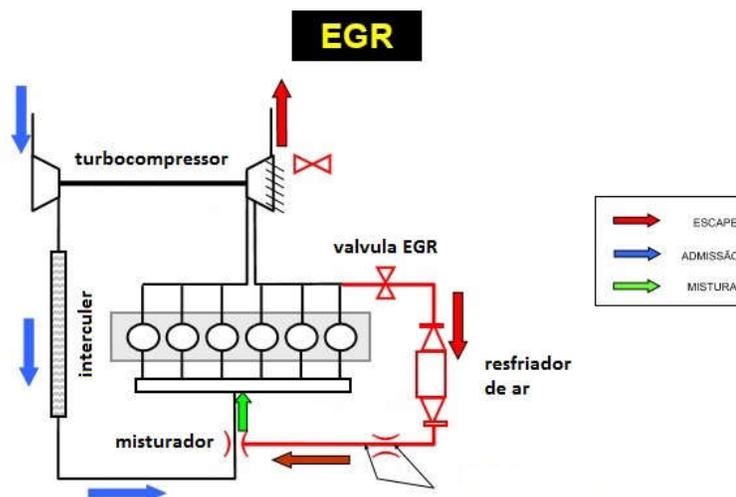


Figura 2; sistema EGR. Fonte:Material Edivaldo Portugal – MT Cummins

### 2.3 SCR + EGR

O sistema utilizado pela grande maioria das montadoras é o que utiliza das duas fontes que já são existentes. De tal forma que os motores ainda ganhem mais potência devido a alguns que utilizavam o sistema SCR terem a adição do EGR que utiliza a recirculação de gases no sistema de pressão do motor. Em relação a parte mecânica (manutenção) o sistema EGR tem uma grande desvantagem, isso se deve a sujeira gerada pelos gases que devem sair do motor. Mas da forma que eles são reutilizados a parte interior dos tubos de recirculação gera uma grande crosta preta de cinzas. Assim fazendo com que o cuidado com este sistema seja ainda maior para não ter a necessidade de existir a possibilidade de uma troca do sistema e suas válvulas.

### 2.4 Euro I ao Euro VI

Com as novas exigências das leis, e com a conscientização da população quando a poluição e o uso dos recursos naturais em grande escala, desta forma isso pode afetar muito a vida das pessoas no futuro. Os motores a combustão, principalmente os mais antigos tinham uma grande quantidade de emissão de poluentes, exemplos são o CO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub>. Com a evolução das tecnologias a poluição vai cada vez ficando menor.

O Euro, nomenclatura da evolução dos motores, teve uma evolução muito grande ao longo dos anos, existem motores desde o Euro 0, Euro I, Euro II, Euro III até o Euro V, e

## VI Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG & IV Salão de Extensão

novas pesquisas estão mostrando que o Euro VI está sendo muito cogitado para os próximos anos no Brasil. As mudanças ocorridas entre EU e Brasil estão citadas na tabela abaixo.

UE <sup>1</sup>		BRASIL			PROCED. ENSAIO	CO	HC	NMHC <sup>2</sup>	CH <sub>4</sub> <sup>2</sup>	NOX	MP	NH <sub>3</sub>	NP
FASE	ANO	FASE	ANO										
			ONIBUS	CAMINHÃO		g/kWh					ppm	n <sup>o</sup> /kWh	
-	-	P1	1987	1989	NBR 7076/7027	SOMENTE ÍNDICE DE FUMAÇA (TEOR DE FULIGEM)							
EURO 0	1988	P2	-	1994/1996	ECE R49	11,2	2,4	-	-	14,4	-	-	-
EURO I	1991	P3	1994	1996/2000	ECE R50	4,5	1,1	-	-	8,0	0,36	-	-
EURO II	1996	P4	1998	2000/2002	ECE R51	4	1,1	-	-	7	0,15	-	-
EURO III	2000	P5	2004/2005	2005/2006	ESC <sup>3</sup>	2,1	0,66	-	-	5	0,1	-	-
					ETC <sup>11</sup>	5,45	-	0,78	1,6	5	0,16	-	-
EURO IV	2005	P6	2009		ESC <sup>3</sup>	1,5	0,46	-	-	3,5	0,02	25	-
					ETC <sup>11</sup>	4	-	0,55	1,1	3,5	0,03	-	-
EURO V	2008	P7	2012		ESC <sup>3</sup>	1,5	0,46	-	-	2	0,02	25	-
					ETC <sup>11</sup>	4	-	0,55	1,1	2	0,03	-	-
EURO VI	2014	P8	?		WHSC <sup>12</sup>	1,5	0,13	-	-	0,4	0,01	10	8 <sup>11</sup>
					WHTC <sup>13</sup>	4	-	0,16	0,5	0,46	0,01	-	6 <sup>11</sup>

Tabela 1: evolução dos limites de emissões dos veículos pesados EU e Brasil. (Fonte: Análise euro VI<sup>7</sup>).

Legenda:

- (1) União Europeia.
- (2) Aplicável a motores ciclo Otto.
- (3) Sigla em inglês de Ciclo Estacionário Europeu.
- (11) Sigla em inglês de Ciclo Transiente Europeu.
- (12) Sigla em inglês de Ciclo Estacionário Harmonizado Mundial.
- (13) Sigla em inglês de Ciclo Transiente Harmonizado Mundial.

O IBAMA publicou em outubro de 2017 um arquivo mostrando algumas das exigências para o programa PROCONVE, desta vez introduzindo a implementação do P8, equivalente ao EURO VI, na tabela 1 podemos entender que o Brasil está implementando a evolução do programa em média de 4 a 5 anos após a UE, mas desta vez o que fala sobre a

<sup>7</sup> Análise preliminar sobre a implementação do padrão euro VI no Brasil (equipe IEMA, Silvio Figueiredo, São Paulo, fevereiro 2015).

exigência do P8 mostra uma exigência em uma data mais distante desta média, conforme o que diz o Ministério do meio ambiente. (2017 p. 1)<sup>8</sup>

[...]Art. 1º Ficam estabelecidos, a partir de 1º de janeiro de 2023, novos limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados aos veículos automotores pesados novos, doravante denominada Fase P8 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE [...]

No país a mudança do IV para o V aconteceu no ano de 2012, onde em janeiro do mesmo ano todos os motores de veículos a diesel comercializados tinham de ser com a nova tecnologia. O país sofreu muito no início da mudança, muitos trabalhadores e donos de frotas tinham um grande receio da utilização destas novas tecnologias. Os motores deveriam ser mais potentes para que se valesse a pena a compra dos veículos novos, e que normalmente teriam um custo maior comparado aos antigos.

Quando se falou em mudança de um para o outro no ano de 2011 muitos empresários se adiantaram, renovando frotas no mesmo ano. Assim teriam veículos novos e com o preço antigo, sem ter que usar da tecnologia nova. Desta forma tentando reduzir os seus custos como empresa.

## **2.5 Proconve P7**

A Conama criou em 1986 o programa PROCONVE – Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores. Assim visando fazer evoluções anuais sobre a diminuição de emissão de gases. Os objetivos da resolução CONAMA n° 18 em 6 de maio de 1986 são:

- Reduzir emissão de poluentes dos veículos automotores; – promover o desenvolvimento tecnológico nacional;
- Promover a melhoria das características dos combustíveis.
- Criar programas de inspeção dos veículos em uso;
- Promover a conscientização popular quanto à poluição veicular;
- Estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;

Segundo o Sr. Henry Joseph Junior da Comissão de Energia e Meio Ambiente da ANFAVEA, no Brasil as exigências dadas pela lei foi realizada dentro dos prazos. Apenas em

---

<sup>8</sup>Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/proconve-promot/2017/consulta-publica/2017-10-proposta-conama-P8-%20final-mbv-v3.pdf>>.

---

2009 a P5 e P6<sup>9</sup> eram para ter entrado em vigor, mas por falta do diesel qualificado para a utilização da ureia na emissão dos gases não pode entrar em comercialização.

Assim a partir de 1 de janeiro de 2012 o Brasil deveria adotar a resolução n° 403/2008 a P7 e que gerou muitas mudanças nas montadoras de veículos no país.

## 2.7 Turbo e e-Turbo

Os motores a diesel têm grande facilidade para a geração de força, uma das maiores dificuldades para a geração perfeita dela (força x rotação) é o que chamamos de *turbo lag*. Um atraso gerado pela falta de fluxo de ar no motor quando as rotações estão em baixa velocidade. Desta forma mostramos o quão importante é o funcionamento das turbinas mecânicas nos veículos à diesel, que precisam de força para atividades extremas em muitas circunstâncias. Nos motores a diesel da Cummins é utilizado um sistema de duas turbinas mecânicas (biturbo), isso quer dizer que, temos uma turbina com menos necessidade de fluxo de ar para ativação, para reduzir o atraso de rotação, e outra para um maior fluxo de ar, assim liberando mais fluxo para o motor, fazendo com que em baixas rotações o motor não tenha falta de fluxo, e gere o necessário para que se chegue nas rotações ou velocidades necessárias no menor tempo possível. Mesmo com esta solução encontrada para reduzir o *turbolag*<sup>10</sup> ele sempre se faz presente nos motores diesel, mesmo reduzido ainda dificulta algumas reações rápidas necessárias para os motores.

A montadora de veículos AUDI, tem como seu principal lançamento no ano de 2016 o QS7, um SUV com motor de 8 cilindros, 435 cv, mas com um diferencial muito importante, o *e-Turbo*<sup>11</sup>. Uma terceira turbina no veículo, que ajuda ainda mais a redução e quase eliminação do *turbolag*, mas com o diferencial de não ser mecânica (precisa de fluxo para gerar mais potência), este equipamento é totalmente eletrônico, e funciona realmente como um compressor de ar, gerando ar e alimentando o sistema de *intercooler*<sup>12</sup>, que este repassa para todo o resto do sistema do motor.

---

<sup>9</sup> Visualização na Tabela 1.

<sup>10</sup> Atraso nas reações do motor a diesel por falta de fluxo de ar.

<sup>11</sup> Turbo compressor eletrônico.

<sup>12</sup> Radiador de ar para resfriamento.

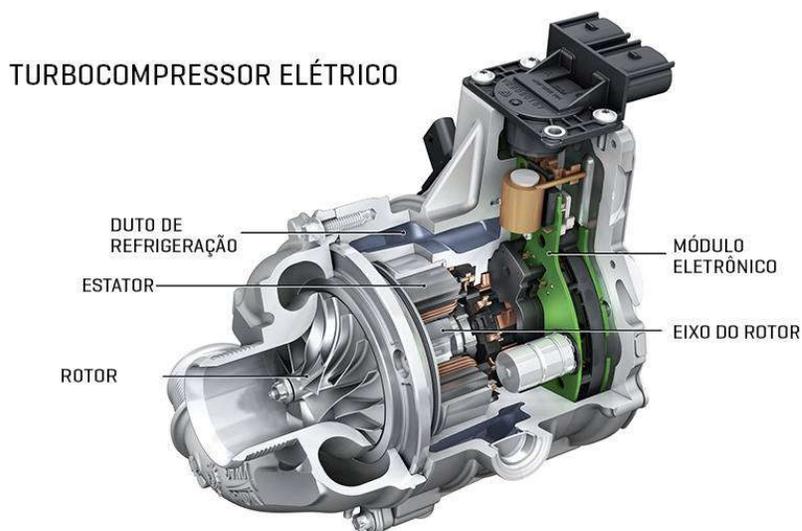


Figura 3; Turbo compressor elétrico (e-Turbo; e-Booster).

A figura 4 mostrada demonstra o sistema de compressão de um carro com turbo mecânico e turbo elétrico (eBooster<sup>11</sup>). Os gases de combustão chegam na turbina quente conforme imagem, da direita para a esquerda, passam por ela até o lado frio indo até o aftercooler. Com o e-Turbo desligado por não ter rotação de aceleração, o fluxo de ar está em inércia, pela coloração azul fraca pode se observar.

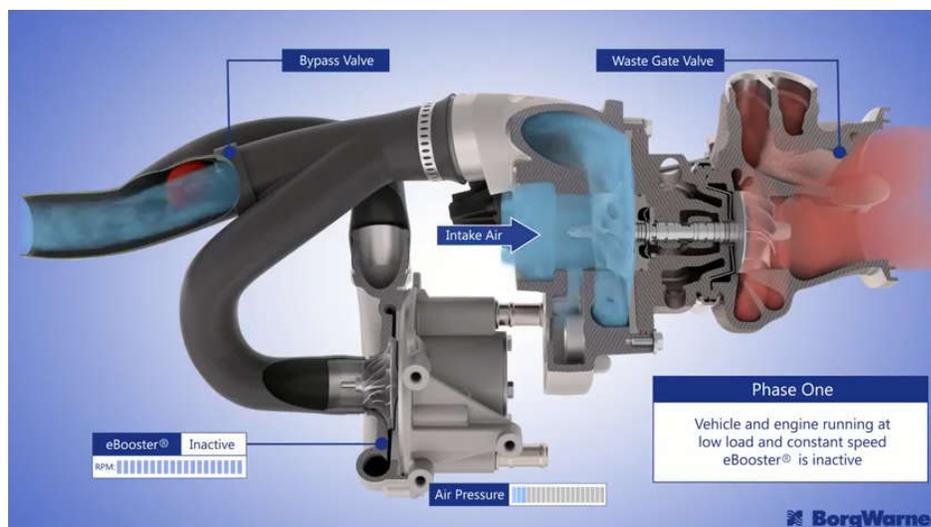


Figura 4; sistema de compressão com e-Turbo e turbo convencional.

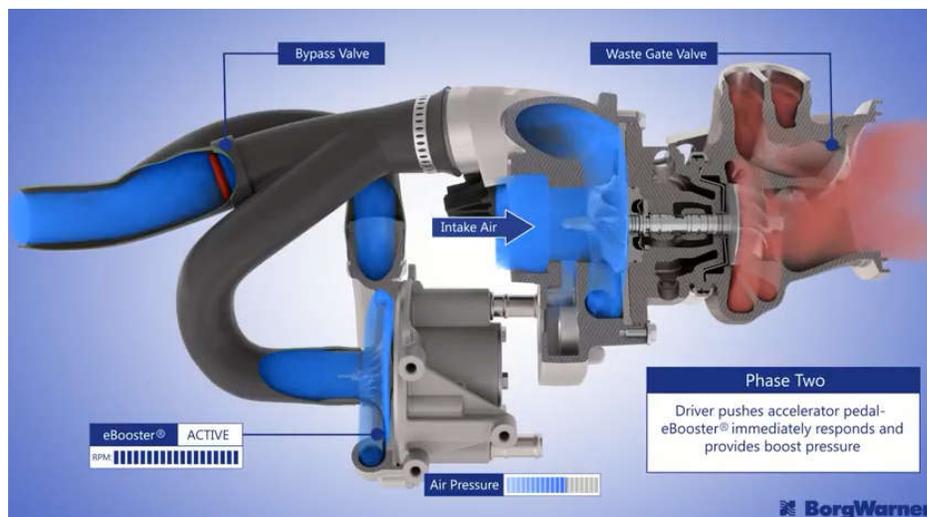


Figura 5; sistema de compressão com eBooster acionado.

Pode-se observar na figura 5 que assim que o e-Turbo é ativado, ele auxilia na geração de fluxo, aumentando ele. Pelo sistema de tubulação ele envia o ar gerado para a turbo, aumentando a sua velocidade, assim fazendo com que o motor aumente seu RPM. Quando o fluxo de ar se torna alto o e-Turbo é desligado automaticamente por um módulo interno de controle, desta forma somente a parte mecânica fica acionada (figura 6). As cores com diferentes intensidade do azul (figuras 4,5,6), mostram os acontecimentos.

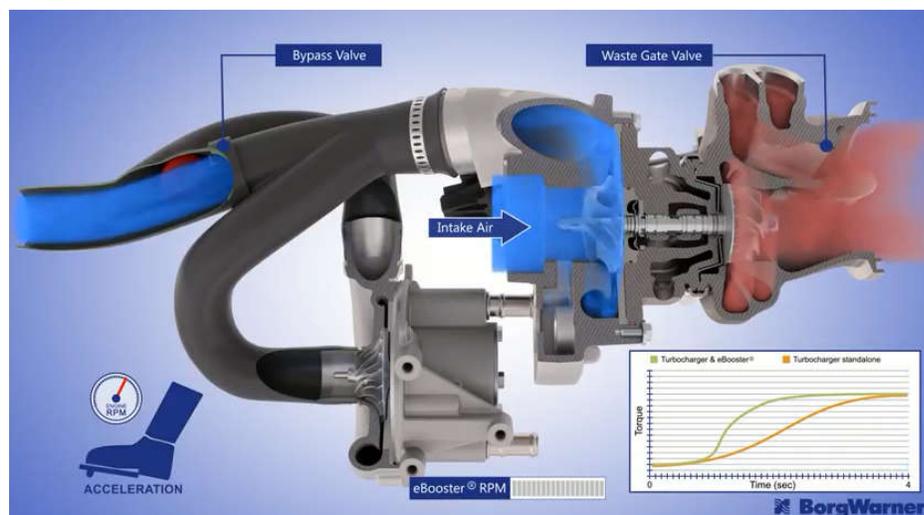


Figura 6; sistema de compressão com e-Turbo e gráfico de torque.

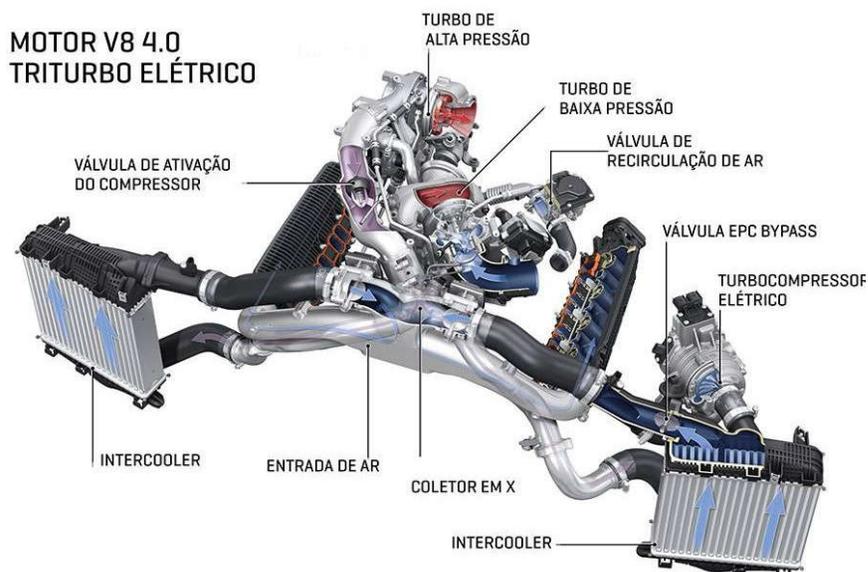


Figura 7; sistema de compressão e turbos motor v8 AUDI.

No ano de 2013 a BMW inovou, expeliu de sua engenharia um novo motor para SUV's de grande porte, também com um motor de três turbos, mas com a diferença que os três eram mecânicos, um para cada pico de rotação, para também eliminar o *turbolag*, mas, como todos eram da mesma família, precisavam de fluxo para aumentar a potência sequencialmente. Assim diferenciando dos motores atuais com um e-turbo.

Nos últimos anos um dos assuntos mais tratados é o aquecimento global, e quais são as alternativas para reduzir este fenômeno, é por isso que só falamos em redução da poluição, diminuição nas emissões de gases poluentes, e assim as novas tecnologias estão aparecendo.

Uma delas é a substituição dos motores aspirados pelos motores turbo, assim reduzindo o tamanho dos pistões internos, como exemplo podemos mostrar o Audi A3 que no ano de 2000 tinha um motor 1.8 de 125 cv, e em 2018 tem um 1.4 turbo de 150 cv. Esta foi uma das evoluções em motores a gasolina no Brasil. Em outros países os veículos de passeio podem ter motores a diesel, e a redução pode ser maior.

MARCA	ANO	MOD.	L	TIPO	CILIN D	CV	TORQUE kgfm	0-100	REL. DE REDÇ. (L%)	REL. DE AUM. (CV%)	REL. DE AUM. (T%)
AUDI	2000	A3	1,8	ASPIRADO	4	125	17,6	10,1	22,22	20,00	45,45
AUDI	2018	A3	1,4	TURBO	4	150	25,6	9,3	30,00	9,29	24,37
CHEVROLET	2011	VECTRA	2,0	ASPIRADO	4	140	19,7	10,2	44,44	7,14	12,00
CHEVROLET	2018	CRUZE	1,4	TURBO	4	153	24,5	9,0	16,67	23,57	26,55
VOLKSVAGEN	1998	GOL	1,8	ASPIRADO	4	98	15	10,5			
VOLKSVAGEN	2018	UP	1,0	TURBO	3	105	16,8	9,5			
HONDA	2007	CIVIC	1,8	ASPIRADO	4	140	17,7	10,3			

HONDA	2018	CIVIC	1,5	TURBO	4	173	22,4	8,6			
-------	------	-------	-----	-------	---	-----	------	-----	--	--	--

Tabela 2; evolução dos carros (aspirado – turbo) com espaçamento de anos. (Própria autoria)

Na tabela acima foi mostrado o desenvolvimento dos motores e carros ao longo dos anos, comparamos modelos antigos aspirados com os novos, turbo, todos do mesmo padrão, alguns tem o mesmo nome desde o ano comparado, o A3 é um exemplo. Um dos que mais chama atenção é o Volkswagen UP, que além de ter um motor de apenas 3 cilindros, tem enormes 105 cv a 5000 rpm, com o tamanho dos cilindros de 1000 cm<sup>3</sup>. Comparado ao gol em 1998 que tinha um motor de 1800 cm<sup>3</sup> (1.8) com 98 cv, isso gera uma grande diferença.

Analisando o gráfico podemos ver que o UP tem um motor muito menor, teve uma redução de 44% em seu tamanho, além de ter um cilindro a menos. Mas mesmo assim ainda garantindo maior desempenho em potência e torque. Uma das mais importantes diferenças geradas pelos motores turbo. Pois a relação de ganho de potência transparece quando necessário, nas acelerações fica explícito. Também na tabela é mostrado o tempo de reação de 0 – 100 km/h, a maior diferença é entre os modelos do Civic, antes demorava 10,3 segundos para chegar aos 100 km/h, agora com o seu motor turbo demora 1,7 segundos a menos.

O consumo destes veículos também se tornou algo que se reduz, antes para termos um consumo em média acima de 15km/l precisava de um motor 1.0 de no máximo 70 cv, hoje com um motor 1.4 de 153 temos a mesma eficiência de gasto, mas um motor com mais que o dobro de potência.

Com todas estas informações pode-se utilizar de alguns métodos para enfatizar que a implementação destas novas tecnologias, podem aparecer como uma opção na redução de poluentes, e também mostrar quais são os níveis de aceleração mais eficientes nos motores a diesel. Para mostrarmos estes dados a utilização dos cálculos de área foram cruciais no desenvolvimento, outros meios usados foram a análise de dados em porcentagem, assim tendo resultados calculados para aproximação de valores reais nos dados.

A utilização do cálculo de área foi utilizada para demonstrar concretização na análise e precisão dos resultados. Exemplos como as integrais indefinidas ou mesmo as definidas retornam os valores exatos do cálculo de área de um gráfico, tudo depende se a função é conhecida ou não.

Em casos que a função não é definida pode se realizar o cálculo de formas alternativas, mas as mesmas podem gerar algumas ‘deficiências’. Nos anos em que as integrais ainda não eram conhecidas, era usado para calcular a área de um gráfico a divisão dele em muitas partes.

### 3 METODOLOGIA

A utilização da fórmula,  $A = b \times h$  onde b é a base e h a altura podemos descobrir a área de um quadrado, para a descoberta de um triângulo é usado  $At = \frac{b \times h}{2}$ .

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 Motor ISL 400 CV

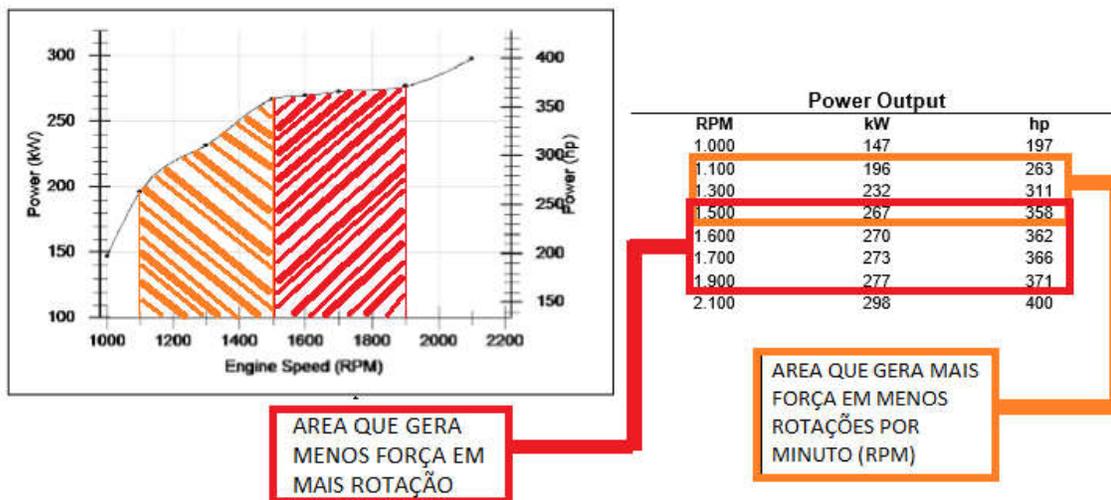


Gráfico 2: rotações do motor ISL 400, e tabela de saída de energia em RPM, kW e HP.

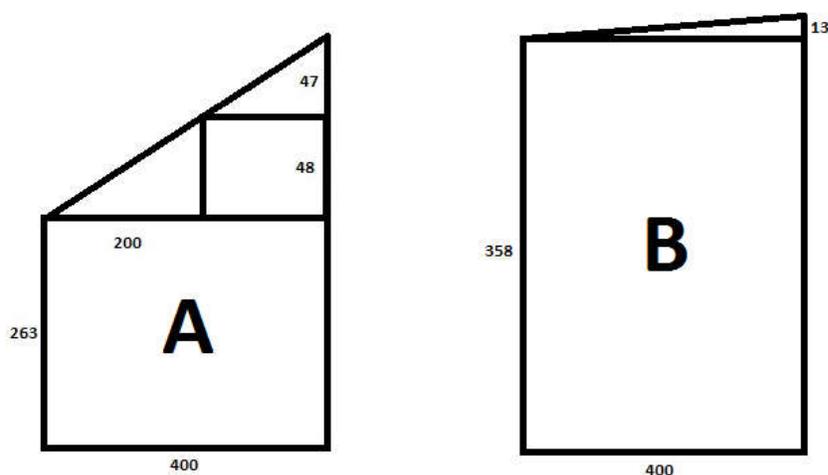


Figura 4: representação área do motor ISL 400.

$$A = 400 \times 263 = 105200 \text{ de área}$$

$$A = \frac{200 \times 48}{2} = 4800 \text{ de área}$$

$$A = \frac{200 \times 47}{2} = 4700 \text{ de área}$$

$$A = 200 \times 48 = 9600 \text{ de área}$$

Quando somados resultam em 124.200 unidades de área RPM/HP (Figura 5)

$$B = 400 \times 358 = 143200 \text{ de área}$$

$$B = \frac{400 \times 13}{2} = 2600 \text{ de área}$$

$$B - A = 145800 - 124200 = 21600$$

Quando diminuimos A e B para comparar os resultados podemos ver que a área gerada por A é menor que B, analisando isso vemos que as menores rotações estão gerando mais potência. Na faixa entre 1100 RPM e 1500 RPM a curva de geração de potência tem um grau maior de inclinação. Na tabela mostrada ao lado do gráfico 1 isso fica visível facilmente, o aumento gradativo que temos até 1500 RPM, após esta rotação o valor de potência gerada é menor. Nos anexos 1 e 2 podemos verificar o gráfico completo disponível na web site da Cummins do Brasil<sup>13</sup>.

### 3.2.1 Motores SCR

Os motores Cummins que possuem a tecnologia SCR, são motores que se enquadram no seguimento Mid Range (trabalho médio). Os motores desta linha, são de porte médio, fabricados para trabalhos de pouca força. Exemplo de sua utilização, podemos destacar o uso em redes de transporte metroviário, como ônibus, e caminhões para transporte de carga. Estes motores sofreram suas principais alterações para se enquadrarem no EURO V, os novos modelos de blocos e pistões tiveram grande influência no aumento de potência para que apenas fosse adicionado o sistema SCR e o motor continuasse com o mesmo desempenho e com mais economia de diesel se comparados com Euro III, e desta forma como explica Edvaldo Portugal em (CUMINNS EURO V p. 15)<sup>14</sup>

[...] Euro 5 SCR pode atingir uma redução de 8% no consumo de (combustível + ureia) se comparado aos motores Euro 3[...]

<sup>13</sup> <<https://www.cummins.com.br/motores>> Acesso em 12 de novembro de 2017.

<sup>14</sup> Disponível em <[http://www.feiramt.com.br/Documentos/livraria\\_do\\_conhecimento/CUMMINS\\_EURO5.pdf](http://www.feiramt.com.br/Documentos/livraria_do_conhecimento/CUMMINS_EURO5.pdf)> acesso em 12 de novembro de 2017.

A tabela 3 mostrada abaixo indica quais foram as principais mudanças ocorridas nos motores, em volume (L), cilindradas e HP, tendo a oportunidade de serem verificadas em porcentagem dos resultados.

MOTORES COM TECNOLOGIA SCR				
MOTORES	CARACTERÍSTICA	EURO III	EURO V	AUMENTO %
ISB4	LITROS	3,9 L	4,5L	15%
	CILINDRADAS	3900 CC	4500 CC	29%
	HP	207 HP	300HP	44,90%
ISB 6	LITROS	5,9 L	6,7 L	14%
	CILINDRADAS	5983 CC	6700 CC	13,80%
	HP	207 HP	320 HP	54,50%
ISL	LITROS	6,7 L	8,9 L	32,80%
	CILINDRADAS	6700 CC	8974 CC	34%
	HP	250 HP	400 HP	60%

Tabela 3- alteração dos motores Cummins. Fonte: MT Cummins Brasil.

A utilização dos motores SCR passou a ser utilizada em algumas montadoras do país, alguns exemplos são a Agrale S.A, a empresa de caminhões MAN que tem seus próprios motores que condizem com as normas do EURO V, mas utilizam a tecnologia EGR para seus motores, assim utilizando os motores diesel Cummins ISL e ISB como motores oficiais com o SCR. E também empresas como Ford, Mercedes-Benz, Scania, que no Brasil utilizam este sistema de tratamento de gases.

### 3.2.2 Motores EGR

Os motores que possuem a tecnologia EGR, também são motores Cummins, porém pertencentes a outro seguimento, o Heavy Duty (trabalho pesado). Nesta linha os motores são mais robustos, e possuintes de uma cavalaria maior. Portanto sendo utilizados para serviços pesados, como em trens, barcos de médio porte. As mudanças ocorridas nestes motores estão explicitas na Tabela 4.

MOTORES COM TECNOLOGIA EGR				
MOTORES	CARACTERÍSTICA	EURO III	EURO V	AUMENTO %
ISX 1	HP	435HP	465HP	6,90%
ISX 2	HP	385HP	500HP	29,80%
ISX 3	HP	400HP	565HP	41,25%

Tabela 4- alteração dos motores Cummins. Fonte: MT Cummins Brasil

#### **4 ANALISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

A obtenção dos resultados pode ser vista através do gráfico 1, quando as acelerações são avaliadas os resultados são positivos, a análise feita na geração de potência por rotações do motor (CV x RPM) mostra que quando a aceleração de um motor a diesel está em baixa rotação quando gera mais força em menos tempo.

A partir de certo momento os motores tem a geração de potência mais lenta, assim mostram que param de gerar força e apenas gastam combustível. Quando as acelerações são feitas nas condições necessárias para a geração de energia torna-se mais sustentável e também mais eficaz. Os motores a diesel trabalham em rotações baixas, mas mesmo assim conseguem gerar mais força se comparado a um motor a gasolina. Isso se deve que o diesel é composto por hidrocarbonetos e cadeia de carbono maiores, assim tem mais energia acumulada em menos espaço. Por isso a combustão do diesel mais lenta gera mais força (torque).

Para uma explicação mais aprofundada podemos usar um exemplo básico, o automóvel L200Triton. Temos dois modelos de motores, a gasolina e a diesel, o motor a gasolina tem 200 CV em 5000 RPM e Torque de 31,5 kgf/m a 3500 RPM, já o motor a diesel tem 165 CV em 3800 RPM e Torque de 38,1kgf/m a 2000 RPM. Aparentemente o motor a gasolina gera mais força se falando em CV, mas o motor a diesel tem força equivalente se mostrada em equivalência de RPM.

O motor a gasolina precisa de 4125 RPM para chegar aos 165 CV que o diesel fornece com apenas 3800 RPM. O torque que é gerado pela gasolina também não chega perto do que o diesel consegue fazer.

Com todos estes dados podemos comprovar que os motores a diesel são mais eficientes se falando em economia de combustível e força gerada por eles. A queima do combustível mais lento gera mais força em menos rotações. Os motores que utilizam a tecnologia euro V tem isso muito bem destacado, até mais que os outros motores que utilizam o mesmo combustível.

#### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos estudos é comprovado que os motores diesel sofreram alterações consideráveis, e que todas as nações se preocupam com o futuro. Assim normas são criadas para fazer com que estas alterações aconteçam em tempos pré-determinadas. O Brasil vem se destacando entre alguns países com a boa fase de aperfeiçoamento as tecnologias. Mas para que os resultados sejam melhorados referente aos controlados de emissão o país precisaria da

implementação do P8 o mais rapidamente possível, assim aumentando a lista de poluentes controlados e emitidos na natureza.

Os resultados obtidos nas pesquisas e cálculos, pode-se mostrar que os motores diesel do modelo euro V tem uma grande economia de combustível, e que as acelerações controladas podem trazer bons resultados se forem seguidos conforme instruções de fabricantes.

A redução de consumo, tamanho, cilindros, e algumas substituições de peças mudaram em pouco tempo o entendimento dos motores, alguns sistemas implementados ainda tem um custo muito elevado para serem produzidos em série.

Com a evolução das tecnologias em aproximadamente 20 anos conseguimos fazer a substituição de motores com 2.0 litros para 1.4 litros, mas mantendo ou melhorando o desempenho. Alguns protótipos já mostram que estamos muito à frente na produção de motores menores com mais potência. Um exemplo é o motor 1.0 e-Turbo da Volkswagen apresentado no simpósio de tecnologia em Viena (2017), que promete gerar 272 cv com apenas 3 cilindros. Apenas um protótipo, mas que deixa os amantes de motores potentes afoitos para o futuro.

## **6 REFERÊNCIAS**

REVISTA RURAL. Perfil principal. Disponível em <[www.revistarural.com.br/edicoes/item/5321-euro-5](http://www.revistarural.com.br/edicoes/item/5321-euro-5)> .Acesso em 25 de outubro 2016

CUMMINS BRASIL. Perfil motores ISL. Disponível em <[www.cummins.com.br](http://www.cummins.com.br)>. Acesso em 25 outubro 2016.

CONAMA. Proconve P7. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em 20 de outubro 2016.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. <[Http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/09/Avalia%C3%A7%C3%A3o\\_EURO\\_VI\\_3.pdf](http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/09/Avalia%C3%A7%C3%A3o_EURO_VI_3.pdf)>. Acesso em 20 de setembro 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=591>> Acesso em 10 de setembro de 2017.

IBAMA <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/proconve-promot/2017/consulta-publica/2017-10-proposta-conama-P8-%20final-mbv-v3.pdf>>. Acesso em 10 de novembro de 2017.

ANFAVEA <<http://www.anfavea.com.br/documentos/SeminarioItem1.pdf>> . Acesso em 8 agosto de 2017.

CUMMINS DO BRASIL <<https://www.cummins.com.br/motores>> . Acesso em 12 de novembro de 2017.

EDIVALDO PORTUGAL, CUMMINS BRASIL  
<[http://www.feiramt.com.br/Documentos/livraria\\_do\\_conhecimento/CUMMINS\\_EURO5.pdf](http://www.feiramt.com.br/Documentos/livraria_do_conhecimento/CUMMINS_EURO5.pdf)>

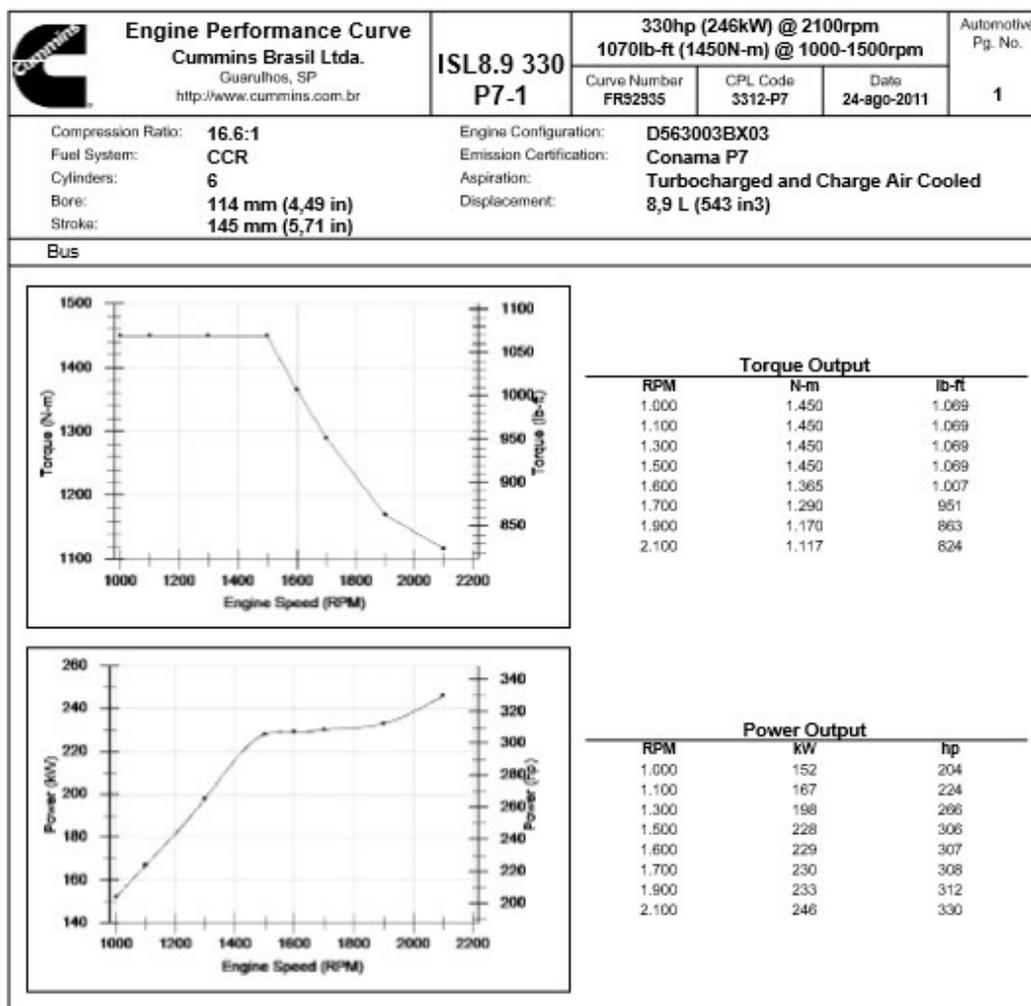
IEMA , ANALISE PRELIMINAR SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DO PADRÃO EURO VI NO BRASIL, São Paulo fevereiro de 2015. Zamboni Ademilson; Tsai S. David; Pires C. Edgar; Cremer S. Marcelo.

QUATRO RODAS, <<https://quatorodas.abril.com.br/noticias/entenda-o-funcionamento-e-as-vantagens-do-turbocompressor-eletrico/>> acesso em 15 de abril de 2018

BORG WARNER COMPRESSORES <<https://www.borgwarner.com/technologies/electric-boosting-technologies>> acesso em 6 de maio de 2018

ESTADÃO, <http://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/volkswagen-cria-motor-10-de-272-cv/> acesso em 16 de abril de 2018.

## 7 ANEXOS

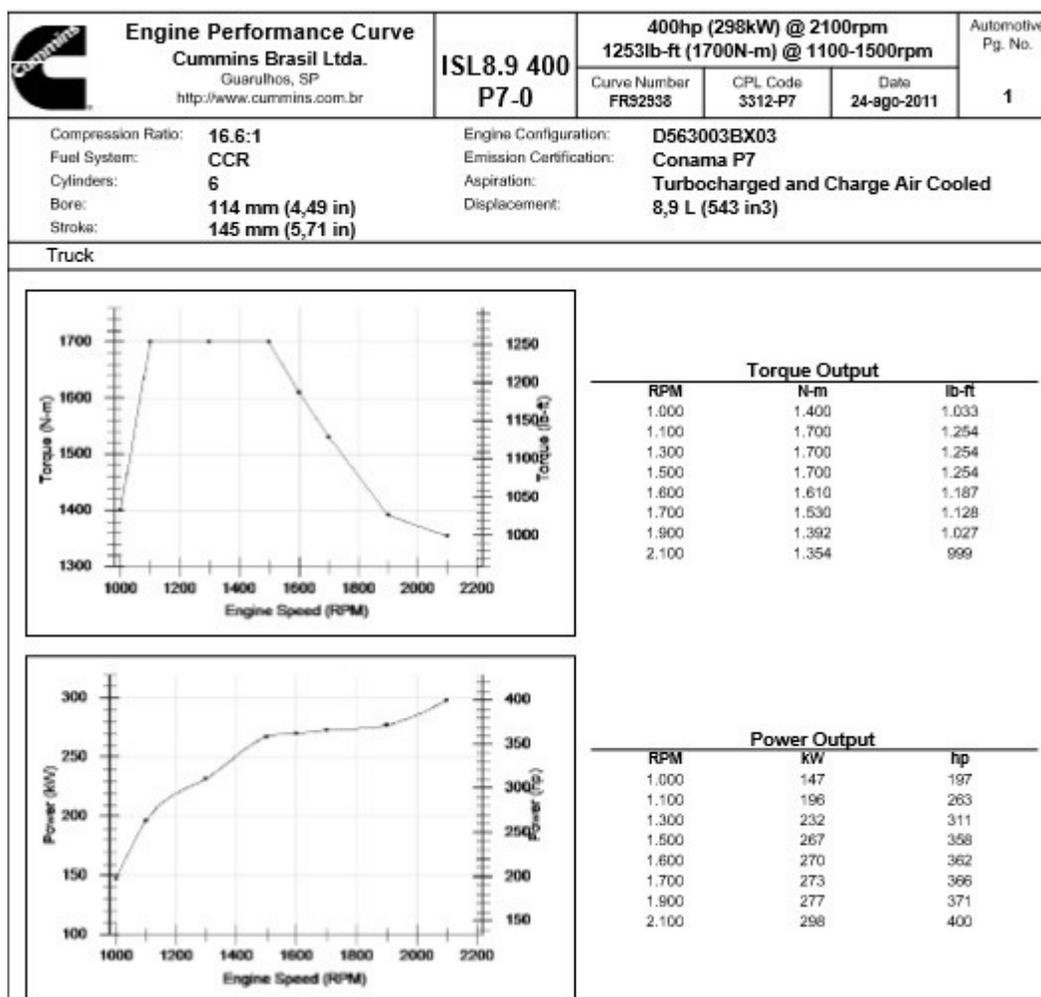


Anexo 1: gráfico do motor ISL 330 cv de 6 cilindros disponível em <https://www.cummins.com.br/motores>

Legenda:

- c) Compression ratio – Taxa de compressão
- d) Fuel system – Sistema de combustível
- e) Cylinders – Cilindros
- f) Bore – Diâmetro
- g) Engine configuration – Configuração do motor
- h) Emission certification – Certificação de emissão
- i) Aspiration – Sistema de aspiração do motor
- j) Displacement – Deslocamento
- k) Engine speed – Velocidade do motor
- l) Output – Saída
- m) Power - Força

## VI Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG &amp; IV Salão de Extensão



Anexo 2: gráfico do motor ISL 400 cv de 6 cilindros disponível em <https://www.cummins.com.br/motores>