

ANÁLISE DE POLÍTICAS

MARÇO 2016

DEFICIÊNCIAS NO PROGRAMA PROCONVE P-7 BRASILEIRO E O CASO PARA NORMAS P-8

RESUMO

Este trabalho destaca questões de implementação e conformidade com as normas do PROCONVE P-7 (equivalentes às normas Euro V) para veículos de categoria pesada (HDVs) no Brasil e identifica possibilidades de políticas para resolver estas questões. Uma vez que o Brasil é o primeiro país em desenvolvimento a adotar normas equivalentes às Euro V para HDVs, este trabalho também disponibiliza as lições aprendidas a outros países em desenvolvimento na rota do Euro.

Em janeiro de 2012, o Brasil implementou as normas de emissão PROCONVE P-7 para veículos de categoria pesada, revogando as normas P-5 anteriores (equivalentes a Euro III). As normas P-7 foram projetadas para serem equivalentes às normas Euro V implementadas na Europa em 2008, e baixaram os limites de emissões de poluentes locais, incluindo monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP).

As tecnologias de pós-tratamento que as montadoras instalam nos veículos para atender esses limites exigem o uso de óleo diesel com ultrabaixo teor de enxofre (ULSD), e geralmente um agente redutor líquido de NO_x no diesel composto por 32,5% de ureia e 67,5% de água (conhecido como DEF nos EUA, AdBlue na Europa e

Preparado por Cristiano Façanha, com apoio de Ben Gould, Francisco Posada, e Josh Miller

ARLA-32 no Brasil). Antes da implementação das normas PROCONVE P-7, o ULSD e o ARLA-32 não estavam disponíveis no Brasil, mas por meio de esforços coordenados os desafios para garantir a disponibilidade foram finalmente superados. Ao contrário de países desenvolvidos que permitem apenas uma classe de diesel veicular (este sendo o ULSD), o Brasil optou por fornecer duas classes de diesel fora das regiões metropolitanas: ULSD em quantidade suficiente exigida por veículos P-7 e um diesel de alto teor de enxofre (500 ppm, ou S500) para a frota mais antiga. Embora esta abordagem traga economias e permita uma implementação mais rápida das normas P-7, ela aumenta o risco de abastecimento incorreto de veículos P-7 com diesel S500.

Entretanto, surgiram outras questões com a implementação das novas normas. Brechas na legislação permitiram que as montadoras abandonassem sensores de qualidade e taxas de consumo do ARLA-32, permitindo assim que uma fração de motoristas de caminhões usassem estratégias para evitar o uso adequado do ARLA-32, levando a emissões muito maiores de NO_x e portanto pior qualidade do ar. Como resultado, as emissões de NO_x ficarão 36% acima do planejado para 2030 e assim continuarão sendo uma ameaça para a saúde pública. Além disso, as normas P-7 têm as mesmas falhas que as normas Euro V na Europa, o que resulta em emissões de NO_x fora do ciclo significativamente mais altas em áreas urbanas. Por fim, mesmo após as normas P-7 terem sido implementadas em janeiro de 2012, veículos P-5 (fase anterior do PROCONVE) continuaram sendo vendidos até junho de 2012, limitando significativamente os benefícios das normas P-7 durante o primeiro ano de implementação.

A opção mais eficaz para resolver estas questões é avançar rapidamente para a próxima fase PROCONVE P-8, alinhá-la com as normas Euro VI e garantir que não haja brechas na lei. Estas normas exigem limites muito mais exigentes de NO_x , MP e HC, e um melhor controle de emissões em uso através de uma combinação de requisitos de sistemas de diagnóstico de bordo (OBD) mais avançados, ciclos de testes mais representativos (incluindo um requisito de partida a frio) e requisitos de conformidade em uso. Os limites menores de emissões das normas Euro VI e as mudanças nos ciclos de testes na prática exigem catalisadores de redução catalítica seletiva (SCR) mais avançados e a adoção da tecnologia de filtros de partículas de diesel (DPF). Além disso, este trabalho também aborda medidas de curto prazo para retificar o uso inadequado do ARLA-32 (ex.: alterar normas P-7, exigir que as montadoras façam *recall* dos veículos ou invalidem disposições de garantia, e melhora da fiscalização nas estradas).

HISTÓRICO

Em 2012, o Brasil implementou as normas PROCONVE P-7 (equivalentes às normas Euro V) para veículos de categoria pesada, incluindo caminhões e ônibus pesados. Antes de 2012, a frota de veículos pesados do Brasil consistia em grande parte de veículos da categoria PROCONVE P-5 (Euro III) e P-4 (Euro II), com alguns veículos mais antigos da categoria Euro I e caminhões não controlados ainda em uso (Figura 1).

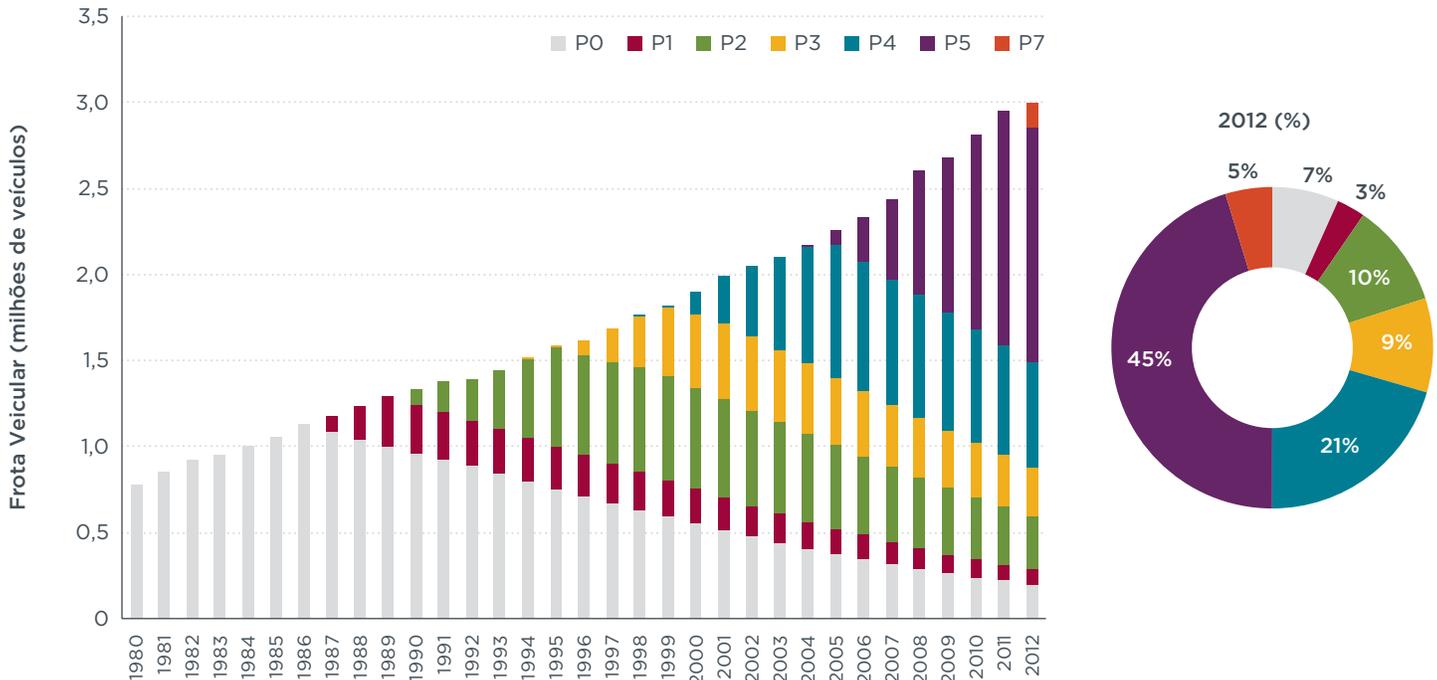


Figura 1. Estimativas da frota de veículos a diesel por fase PROCONVE¹

O programa PROCONVE alcançou reduções significativas em emissões veiculares no Brasil. O programa para veículos pesados foi implementado primeiramente entre 1987 e 1989 (fase P-1), mas os limites dos poluentes gasosos e particulados foram exigidos apenas em 1994 para ônibus e em 1996 para caminhões. Desde então, normas mais exigentes de certa forma consistentes com as normas da União Europeia têm sido implementadas. Os limites de emissões atuais das normas P-7 são 86% e 95% mais baixos que os primeiros limites de NO_x e MP, respectivamente (Tabela 1).

¹ Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2013).

Tabela 1. Normas de emissões no Brasil e europeias para motores a diesel pesados

Norma PROCONVE***	Equivalente à norma Euro	Ciclo de Testes	CO	HC	NO _x	MP	NMHC	CH ₄	PN (nº/kWh)
			(g/kWh)						
P-1 (1989)	—	NBR 7026/7027	Apenas índice de fumaça						
P-2 (1996)	—	R-49	11,2	2,45	14,40	0,60	—	—	—
P-3 (2000)	Euro I (1991)	R-49	4,9 4,5*	1,23 1,1*	9,0 8,0*	0,40 0,36*	—	—	—
P-4 (2002)	Euro II (1996)	R-49	4,0	1,1	7,0	0,15	—	—	—
P-5 (2006)	Euro III (2000)	ESC/ELR	2,1	0,66	5,0	0,10 0,13**	—	—	—
		ETC	5,45	—	5,0	0,16 0,21**	0,78	1,6	—
P-6 (ignorado)	Euro IV (2005)	ESC/ELR	1,5	0,46	3,5	0,02	—	—	—
		ETC	4,0	—	3,5	0,03	0,55	1,1	—
P-7 (2012)	Euro V (2008)	ESC/ELR	1,5	0,46	2,0	0,02	—	—	—
		ETC	4,0	—	2,0	0,03	0,55	1,1	—
P-8 (TBD)	Euro VI (2014)	WHSC	1,5	0,13	0,4	0,01	—	—	8,0 x 1011
		WHTC	4,0	—	0,46	0,01	0,16	0,5	6,0 x 1011

*Indica valores correspondentes a normas Euro

**Para motores de menos que 0,75 dm³ de volume arrastado por cilindro e velocidade de potência nominal de mais de 3000 min⁻¹

***Anos indicam a implementação completa da norma para todos os tipos de veículos pesados.

Apesar do progresso do PROCONVE, a poluição do ar em grandes zonas metropolitanas no estado de São Paulo ainda está muito acima dos níveis recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2005). A Figura 2 ilustra a faixa de concentrações de MP para a região metropolitana de São Paulo (RMSP), as áreas perto do Porto de Santos (Baixada Santista) e outras áreas no interior do estado de São Paulo (CETESB, 2014). Não apenas muitas cidades em São Paulo excederam as normas de qualidade do ar no Brasil (AQS) para MP₁₀, mas também nenhuma cidade atendeu as diretrizes da OMS. Uma tendência similar foi observada com todos os outros poluentes monitorados.

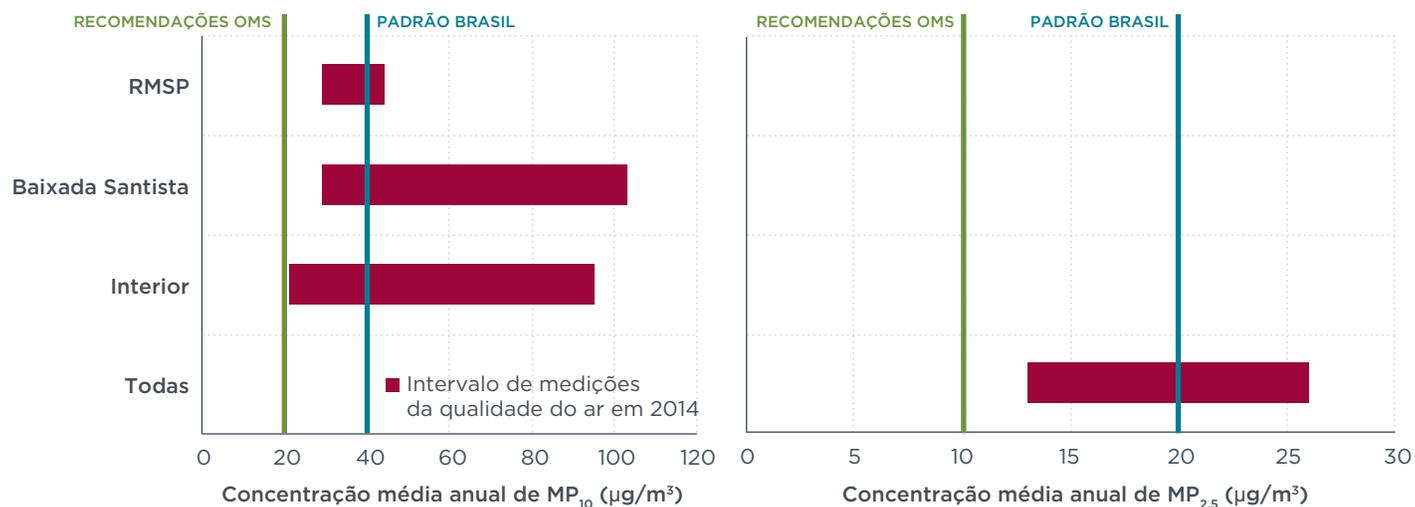


Figura 2. Qualidade do ar no estado de São Paulo (2014)

De forma a mitigar problemas de qualidade do ar e compensar o aumento da atividade veicular, são necessárias fases futuras do PROCONVE. A fase P-7 foi adotada para resolver alguns destes problemas de qualidade do ar. Os valores-limite para os principais poluentes que preocupam, NO_x e MP, estão 60% e 80% abaixo dos limites P-5, respectivamente. Infelizmente, a fase P-7 não está funcionando conforme projetado e em decorrência disto, veículos não conformes com as normas P-7 (denominados P-7 *não conforme* na Figura 3) podem estar emitindo NO_x em proporções maiores que os limites das normas P-5 anteriores (vide a próxima seção). E embora as normas P-7 resultem em reduções drásticas em emissões de MP por massa, as emissões das partículas menores, aquelas mais nocivas à saúde humana, não são controladas.

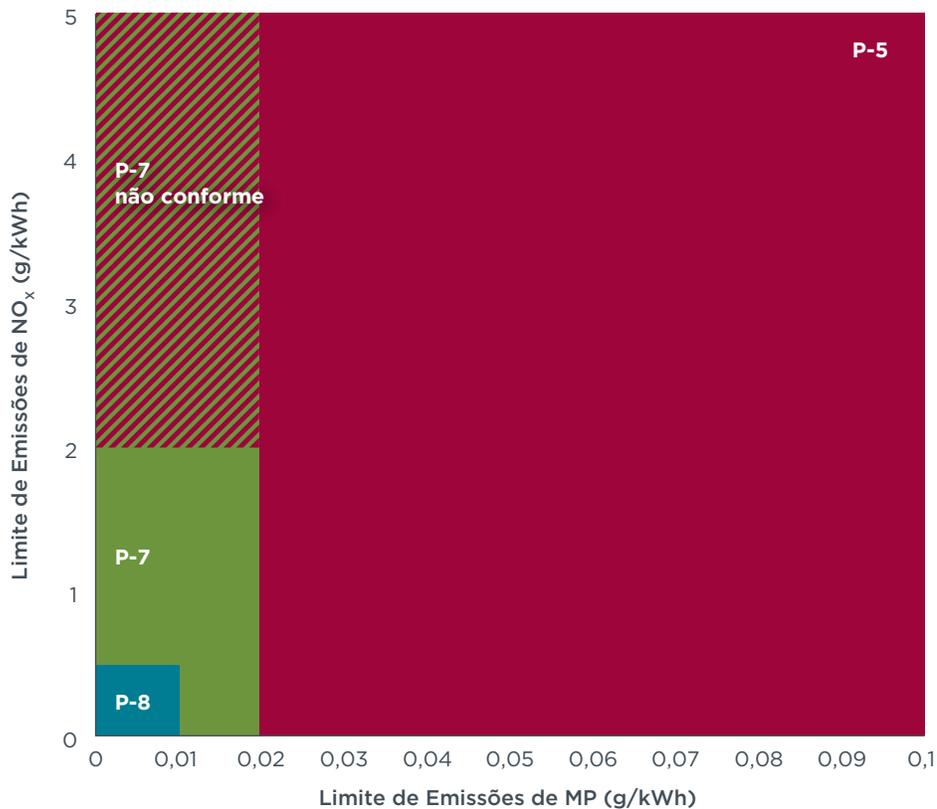


Figura 3. Mudança nos limites de emissões por fase PROCONVE

ADOÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DAS NORMAS P-7

O Brasil decidiu implementar as normas PROCONVE P-6 (equivalentes a Euro IV) em 2009, mas a falta de óleo diesel com ultrabaixo teor de enxofre (ULSD) — um requisito para o devido funcionamento dos sistemas de pós-tratamento de emissões — impediu que a norma fosse implementada a tempo. Como uma concessão para o atraso na implementação, as montadoras e as agências reguladoras concordaram em não adotar as normas PROCONVE P-6 e implementar as normas PROCONVE P-7 (equivalentes a Euro V) em 2012. As normas Euro V têm limites de emissões de NO_x um pouco menores que as normas Euro IV, mas os custos e as tecnologias veiculares necessários para atender ambos os conjuntos de normas são praticamente idênticos.

Para cumprir com a resolução CONAMA 403 de 11/11/2008 (normas P-7), a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) elaborou um plano para a distribuição em nível nacional de ULSD para novos veículos P-7, no início com o fornecimento de S50 (diesel com 50 ppm) até 01/01/2012 e sua substituição pelo S10 (diesel 10 ppm) até 01/01/2013. Este plano foi implementado em paralelo à fase de inclusão gradual do combustível ULSD para ônibus coletivos em regiões metropolitanas (Figura 4). Atualmente há duas classes de diesel sendo vendidas no Brasil, a saber diesel S10 em todas as regiões metropolitanas e em postos selecionados em nível nacional para suprir veículos P-7, e S500 (diesel a 500 ppm) no resto do país. Em outras palavras, embora o S10 esteja disponível em nível nacional, o diesel S500 continua a ser vendido fora das regiões metropolitanas. No entanto, o diesel S1800 (diesel a 1.800 ppm) ainda está disponível para equipamentos fora de estrada (não ilustrados na figura).

Regiões Metropolitanas	Municípios	Segmento	1/1/09	1/5/09	1/8/09	1/1/10	1/1/11	1/1/12	1/1/13	1/1/14
—	São Paulo, Rio de Janeiro	Transporte público	S50						S10	
Recife, Fortaleza, Belém	—	Todos	S500							
—	Curitiba	Transporte público								
São Paulo	—	Transporte público								
—	Belo Horizonte, Salvador, Porto Alegre	Transporte público								
Campinas, Baixada Santista, SJ Campos, Rio de Janeiro	—	Transporte público								
Todas	All	Veículos P-7 novos						S50		
Outras	Outros	Outros	S1800							S500

Figura 4. Cronologia da implementação do ULSD no Brasil

A Petrobras, a maior empresa de refino e distribuição de petróleo no Brasil, comprometeu-se em produzir ou importar ULSD em quantidade suficiente para atender a demanda esperada de novos veículos P-7. De forma a garantir um suprimento de ULSD suficiente para veículos P-7, eles definiram uma margem de aumento *premium* sobre o preço do ULSD em relação ao diesel comum.² A Petrobras e outros fornecedores têm superado muitos desafios de logística para garantir que o fornecimento de ULSD fosse efetivo. Tais desafios incluem a efetiva segregação de diversas classes de combustível para evitar a contaminação de combustíveis com baixo teor de enxofre, a distribuição dos combustíveis limpos para postos em todo o país, e a comunicação de onde os combustíveis limpos poderiam ser encontrados. O número total de postos que oferece ULSD aumentou de 4.225 em 2012 para 18.900 em 2014 (de um total de 38.893 postos de combustível no país), e a fatia de ULSD das vendas

² A margem de aumento *premium* variou entre 1% e 8%, dependendo do mês e da região, com uma média de 6% (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2015).

totais de diesel aumentou de 9% para 27% no mesmo período, com apenas 2,7% de não conformidade a respeito da qualidade do ULSD (Souza, 2015, e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2014).

Além do ULSD, veículos P-7 que utilizam redução catalítica seletiva (SCR) também exigem um agente redutor líquido (vendido como ARLA-32 no Brasil) para os sistemas de pós-tratamento de NO_x funcionarem. O ARLA-32, uma mistura de 32,5% de ureia, por peso, em água, está disponível no Brasil desde 2012. Uma vez que os incentivos para produção de ARLA-32, assim como a especificação técnica de qualidade e embalagem do produto ficaram além das atribuições da ANP, a comercialização do ARLA-32 foi deixada para o mercado. Apesar das incertezas e preocupações sobre a disponibilidade do ARLA-32 antes da implementação das normas P-7, o produto foi disponibilizado por empresas privadas que enxergaram a oportunidade de estabelecer a infraestrutura de produção e distribuição do ARLA-32.

Embora o sucesso da rede de distribuição de ULSD e ARLA-32 fosse imediatamente aparente, outras questões de implementação contiveram a eficácia da regulamentação. Por exemplo, embora as normas P-7 estivessem oficialmente em vigor a partir de janeiro de 2012, modelos de caminhões mais antigos que atendiam as normas P-5 (Euro III) continuaram sendo vendidos até junho de 2012, às vezes mediante um desconto. Em decorrência disto, apenas cerca da metade atendeu às normas P-7 (Braga, 2012). Este resultado não apenas significou mais 40.000 veículos Euro III nas estradas, mas também que mais quantidades de ULSD e ARLA-32 estiveram disponíveis no início de 2012 que o necessário. Além do número significativo de veículos P-5 vendidos no primeiro ano de implementação das normas P-7, também surgiram outras questões na implementação, a saber o uso inadequado do ARLA-32 e emissões de NO_x fora do ciclo em áreas urbanas como consequência das deficiências já reconhecidas das normas Euro V.

USO INADEQUADO DO ARLA-32

Para atender a norma P-7 quanto ao NO_x , muitas montadoras usam uma tecnologia de pós-tratamento conhecida como SCR.³ Esta tecnologia exige uma dose precisa de um reagente, a ureia (vendida no Brasil como ARLA-32), que permite que o catalisador converta o NO_x e a ureia em gases mais benignos (nitrogênio, dióxido de carbono e água). Quando dirigido sem ARLA-32, um caminhão que normalmente atenderia as normas P-7 poderia ter emissões em níveis muito acima do limite regulamentar de NO_x de 2 g/kWh. Testes feitos pela CENPES no Brasil indicaram que as emissões de NO_x na ausência de ARLA-32 foram da ordem de 5,2 g/kWh (Cordeiro, 2015). Entretanto, estes testes foram realizados em velocidade constante e provavelmente sem carga, e assim o uso de um ciclo de direção e carga realístico provavelmente aumentaria este valor. Dados coletados durante os testes de caminhões equipados com SCR em condições de operação normal em que nenhuma ureia foi injetada (ou seja, devido a baixas temperaturas de exaustão) mostram que durante estes períodos as emissões de NO_x variam de 4,0 a 10 g/kWh (Muncrief, 2015). Em outras palavras, caminhões sem ARLA-32 podem estar emitindo NO_x em taxas cinco vezes maiores que o limite regulamentar. De forma a garantir que os motoristas usem ureia, as normas Euro V na Europa exigem o uso de induzimentos ao

³ Algumas montadoras optaram por usar a recirculação de gases de exaustão (EGR), principalmente em caminhões levemente e meio pesados.

motorista e outros mecanismos anti-falha que limitam o torque do motor se os sensores indicarem qualquer adulteração ou problemas com o suprimento de ureia.

Entretanto, não muito tempo após os caminhões P-7 começarem a ser vendidos, começaram a surgir rumores do uso inadequado de ARLA-32. Embora um caminhão consuma apenas cerca de 3% a 5% de ARLA-32 do diesel consumido por quilômetro (Cummins Inc, 2015), e um litro de ARLA-32 normalmente custe quase o mesmo preço que um litro de óleo diesel, isto ainda pode ser um custo significativo e assim os motoristas tem um estímulo de natureza econômica para não usar o ARLA-32.

Em novembro de 2012, estórias na imprensa sugeriram diversas maneiras de fraudar o sistema, como usar água em vez de ARLA-32, remover o fusível de controle de emissões ou módulos eletrônicos que poderiam ser instalados. No início de 2013, estes emuladores eletrônicos de ARLA-32 estavam prontamente disponíveis na Internet, facilmente encontrados em uma busca no Google (Emulador ARLA-32, 2015). Até setembro de 2015, as vendas do ARLA-32 eram cerca de 32% mais baixas que os volumes esperados, sugerindo que uma grande fração dos motoristas encontravam maneiras de fraudar os sistemas OBD (sistema de diagnóstico de bordo, em sua sigla em Inglês) e evitar o uso de ARLA-32 (Figura 5). Isto foi fundamentado por diversos artigos na mídia e entrevistas com motoristas, que abertamente confirmavam usar regularmente as estratégias de evasão acima mencionadas (Grupo Globo, 2014).

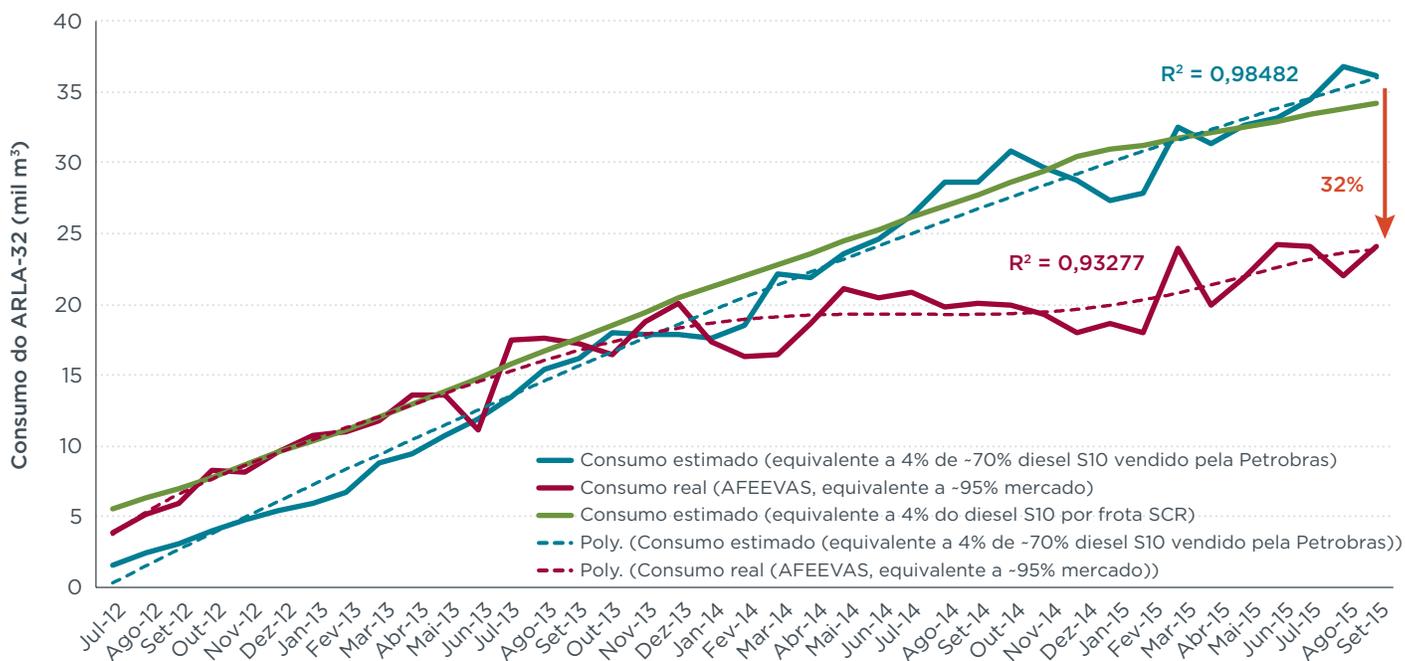


Figura 5. Consumo de ARLA-32 estimado x real (em milhares de m³)⁴

4 Dados fornecidos pela Associação dos Fabricantes de Equipamento para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul (AFEEVAS) especificamente para uso nesta publicação.

DEFICIÊNCIAS NORMATIVAS

Este nível de evasão do uso de ureia é desconhecido em outros países que implementaram normas equivalentes. Além da fiscalização insuficiente, as causas principais do uso inadequado do ARLA-32 são deficiências no processo de homologação e brechas na legislação. Quando as normas P-7 foram elaboradas e adotadas, as agências reguladoras brasileiras seguiram à risca as normas de emissão Euro V, mas não incluíram adequadamente induzimentos ao motorista e outros mecanismos anti-falha que fazem parte das normas Euro V para garantir o uso adequado de ARLA-32.

Dirigir um veículo equipado com SCR na ausência de ureia ou com ureia de baixa qualidade, ou água, invariavelmente resultaria em emissões de NO_x mais altas durante o período de operação indevida. Assim, os órgãos do governo (internacionais) têm incorporado medidas nas normas para a devida operação de sistemas de controle de NO_x baseados em reagentes líquidos. Estes sistemas alertam o motorista e pedem a correção das falhas no sistema SCR, até mesmo impedindo a operação do veículo em condições de altas emissões de NO_x .

O sistema de alertas e induzimentos ao motorista fazem parte das medidas especiais para a devida operação dos sistemas de controle de NO_x segundo as normas originais Euro IV, V e VI. Três tipos de eventos podem iniciar a ativação do sistema de alerta e induzimento ao motorista: (1) baixo nível de ureia, (2) fluido incorreto no tanque de ureia, e (3) falhas no SCR atribuíveis a dosagens incorretas ou adulteração. O sistema de alertas e induzimentos é estruturado de acordo com três níveis progressivos de severidade. Primeiro, o sistema de alerta avisará ao motorista que o nível de ureia está baixo ou a ureia é de má qualidade; segundo, se a deficiência ou problema de qualidade na ureia persistir, os alertas serão seguidos por uma ação pequena, na forma de redução no desempenho do caminhão, com o objetivo de induzir o motorista a reabastecer o tanque de ureia. O motorista sofrerá uma penalidade no desempenho, iniciada pelo módulo de injeção eletrônica (ECM), resultando em perda de velocidade do veículo e potência do motor (torque). Por fim, se a irregularidade detectada persistir e não for corrigida, o ECM fará o veículo parar. É importante notar que antes de o veículo sofrer penalidades pequenas ou imobilização, há amplos lembretes e alertas ao motorista/operador para que tome medidas corretivas. Por exemplo, os motoristas verão luzes nos painéis para lembrá-los sobre o abastecimento de ureia e serão alertados se houver um fluido incorreto no tanque de ureia.

O OBD está relacionado ao sistema de induzimento ao motorista, mas seu escopo é maior e suas ações são diferentes. O OBD alimenta os mesmos sinais que são usados para ativar os alertas e induzimentos ao motorista, especificamente quantidade de ureia, qualidade e consumo, mas não é ativado por si só até que a falha na emissão seja detectada (ou seja, quando for detectada uma falha faz com que o limite de emissão seja excedido). Por outro lado, o sistema de induzimento ao motorista é proativo e entra em ação bem antes do limite de emissão de NO_x ser ultrapassado. O OBD monitora todos os sistemas de controle de emissões no veículo, dos quais o sistema SCR é um componente.

Para garantir que o sistema de alerta e induzimento ao motorista possa detectar com exatidão se a ureia está sendo usada corretamente, as normas Euro V exigem o monitoramento direto dos níveis de NO_x ou o monitoramento do nível, consumo e

qualidade da ureia. As normas P-7 no Brasil são bastante similares às normas Euro V, mas elas notadamente têm falhas quando se trata de monitoramento de ureia (Posada & Bandivadekar, 2015). Em vez de exigir que todos os três parâmetros listados acima sejam monitorados, as normas P-7 exigem que as montadoras monitorem apenas os níveis de ureia. Em decorrência disto, parece provável que as montadoras brasileiras de veículos pesados não tenham incluído estratégias de monitoramento, tanto por medição direta ou interferência, para o consumo e qualidade da ureia, e assim caminhões que não cumprem as normas P-7 são mais facilmente encontrados que em veículos Euro V vendidos na Europa. Observe que os sistemas SCR para veículos Euro IV, Euro V e PROCONVE P-7 tipicamente não exigem sensores de NO_x como parte da estratégia de controle e confiam totalmente em níveis de emissões de NO_x obtidos a partir de sinais do motor (ou seja, sistemas de circuito aberto).

Se uma montadora for obrigada a monitorar somente os níveis de fluido no tanque de ureia e ativar o sistema de alerta e induzimento ao motorista apenas quando estes níveis estiverem muito baixos, é razoável presumir que as montadoras optarão por sensores que são capazes de fazer apenas isto e nada mais. Esta premissa explica a forma como muitos motoristas conseguem fraudar sistemas anti-falha e evitam o uso de ureia com diversas técnicas. A Figura 6 ilustra como a presença (ou ausência) destes sensores ou do monitoramento direto de NO_x pode impedir (ou permitir) que os motoristas evitem o cumprimento da exigência do uso de ureia. Pontos verdes indicam que o sensor não detecta uma irregularidade, enquanto pontos vermelhos indicam que o sensor detectaria uma violação e geraria um induzimento ao motorista para o cumprimento dos requisitos de ureia.

Estratégias de fraude	Sensores/estratégias de monitoramento		Induzimento acionado
	Nível de ARLA-32	Consumo de ARLA-32*/qualidade ou monitoramento direto de NO _x	
EURO V			
Adulterar sinal dos sensores	●	●	→ NÃO
Usar um fluido alternativo	●	●	→ SIM
Recircular o líquido usado para o tanque	●	●	→ SIM
Não usar nenhum fluido	●	●	→ SIM
P-7			
Adulteração de sinal dos sensores	●	●	→ NÃO
Usar um líquido alternativo	●	N/D	→ NÃO
Recircular o líquido usado para o tanque	●	N/D	→ NÃO
Não usar nenhum fluido	●	N/D	→ SIM**

● O sensor não indica falha; ● O sensor indica falha; N/D sensor não disponível

*O consumo pode ser deduzido, não medido diretamente.

**Se o sistema for reiniciado em 48 horas após a detecção da falha, o induzimento não será acionado.

Figura 6. Comparação das estratégias de fraude nas normas Euro V e P-7

Conforme indicado na figura acima, a presença de emuladores para adulterar o sinal dos sensores enganaria o sistema não apenas no Brasil, mas também em outros países. Em outras palavras, nenhuma norma é completamente à prova de falhas para prever o uso de todas as formas de fraude. Se um sensor de qualidade de ureia não estiver presente em aplicações P-7, nenhum outro líquido geraria uma falha, permitindo que

os motoristas usem ureia agrícola ou qualquer outro líquido em vez do ARLA-32. Além disso, se o sensor apenas notificar o sistema quando os níveis estiverem muito baixos em vez de informar se o ARLA-32 está sendo consumido, a interrupção da conexão, através da instalação de um dispositivo emulador eletrônico ou da desconexão de sensores, impediria que o sinal fosse enviado e assim o sistema não ativaria o induzimento. Como alternativa, se uma irregularidade for detectada e a luz de alerta acender, o OBD não salva o código de falha a menos que ele persista por 48 horas. Assim sendo, a desconexão da bateria em veículos Euro V e PROCONVE P-7 apagaria os códigos de falha e reiniciaria o OBD, pois este tipo de sistema OBD não têm armazenagem permanente de códigos.

O efeito desta brecha dentro das normas PROCONVE P-7 pode ter efeitos significativos em emissões de NO_x . Conforme destacado neste trabalho, a ausência de ureia pode aumentar as emissões de NO_x em até 10 g/kWh com base em testes em situações reais, consideravelmente acima do limite regulamentar de 2 g/kWh.

EMISSÕES FORA DE CICLO DE NO_x EM ÁREAS URBANAS

Além do aumento das emissões de NO_x devido ao uso inadequado do ARLA-32, os caminhões e ônibus brasileiros em áreas urbanas estão provavelmente emitindo NO_x em níveis muito mais altos que os limites de certificação, devido às emissões de NO_x fora de ciclo, resultando assim em maior exposição da população ao NO_2 e ozônio no nível do solo. Em todo o mundo, mesmo quando operados corretamente com a qualidade e dosagem de ureia corretas, descobriu-se que caminhões da categoria Euro IV e Euro V rodando em baixa velocidade (ou seja, em ambientes urbanos) emitem NO_x em proporções muito maiores que os limites estabelecidos pelas suas respectivas normas devido às temperaturas de exaustão serem muito baixas para ativar o sistema SCR. A causa principal para maiores emissões de NO_x fora de ciclo é o fato de que os protocolos de certificação Euro IV e V não são suficientes para garantir que as montadoras controlem o NO_x nas condições mais desafiadoras de exaustão de baixa temperatura (Lowell & Kamakaté, 2012). Para atender as normas Euro IV e V as montadoras normalmente usam catalisadores de vanádio no sistema SCR. Este catalisador de baixo custo necessita de temperaturas entre 300 a 450 °C para operar adequadamente. Entretanto, em uma partida a frio, ou ao parar frequentemente, como em áreas urbanas, as temperaturas de exaustão não atingem estes valores, levando a uma redução catalítica ineficaz e aumento geral das emissões de NO_x .

Além de ter limites de emissões mais rígidos, a certificação pelas normas Euro VI deve ser demonstrada em um ciclo de testes muito mais desafiador, incluindo condições de direção com partida a frio e baixa velocidade (Muncrief, 2015). Em decorrência disto, as normas Euro VI efetivamente forçam as montadoras a usar catalisadores mais caros de cobre-zeólita, que são eficazes em temperaturas baixas como 225 °C. A Figura 7 ilustra dados de testes de veículos de categoria pesada certificados pelas normas Euro IV, V e VI, realizados em 2013 e 2014 em uma célula de testes com dinamômetro de chassi no Centro de Pesquisas Técnicas VTT da Finlândia. As emissões de NO_x em todas as 210 amostras foram comparadas como emissões de NO_x em g/kWh, versus velocidade média do veículo, em km/h. Os níveis de certificação Euro IV, V e VI são indicados para fins de referência. Apesar das emissões de muitos veículos Euro IV e V estar muito acima dos níveis de certificação, principalmente em velocidades médias baixas observadas em condições urbanas, as emissões de veículos Euro VI permaneceram abaixo dos níveis de certificação na maioria das condições. Estes testes confirmam que

os novos protocolos de certificação Euro VI são de fato eficazes para mitigar emissões de NO_x fora de ciclo em situações reais.

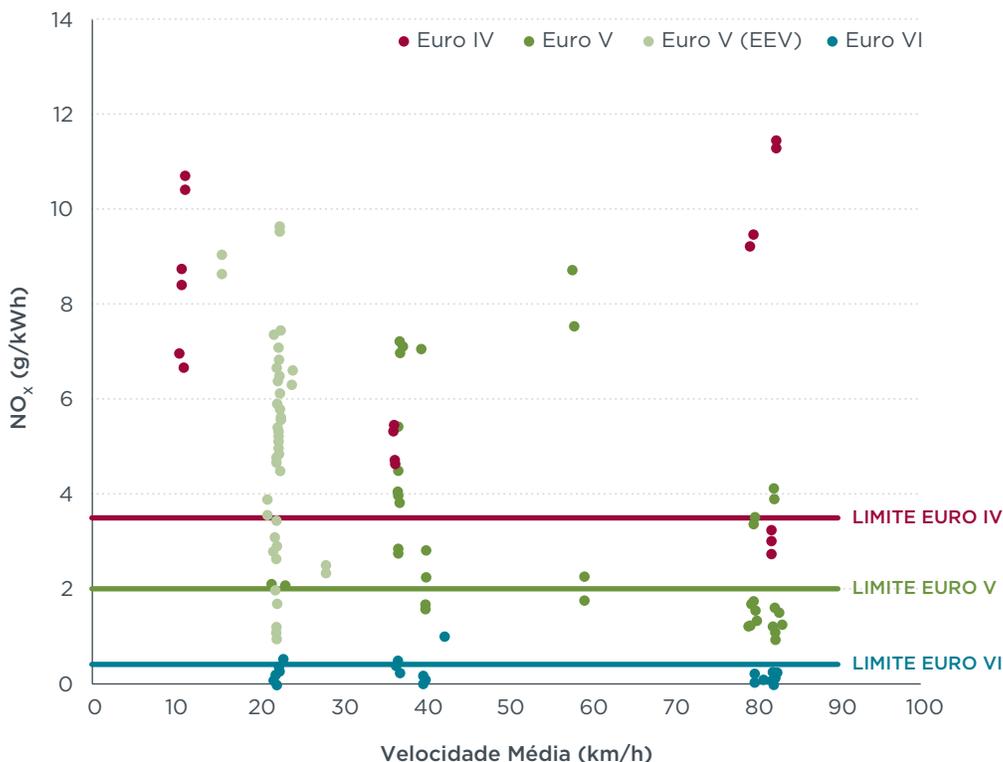


Figura 7. Emissões de NO_x previstas pelas normas Euro IV, V e VI versus velocidade média dos veículos (Muncrief, 2015)⁵

CONFORMIDADE EM USO

Além das falhas na elaboração das normas P-7 (ou seja, falta de exigência de monitoramento de consumo e qualidade do ARLA-32), outra causa principal do uso inadequado predominante do ARLA-32 é o fato de que as normas Euro IV e V são particularmente fracas em relação aos requisitos de conformidade em uso. Estes garantem que as emissões sejam efetivamente controladas em uma série de condições de direção em uso, e não apenas em condições similares às do ciclo de testes de certificação. Além disso, os requisitos de conformidade em uso proporcionam um meio e uma base legal para a autoridade certificadora exigir que uma montadora resolva a questão de emissões excessivas em uso ou seja ameaçada de ter a homologação de seu veículo protótipo revogada (Lowell & Kamakaté, 2012). O ideal é que as disposições das normas sobre conformidade em uso também proíbam especificamente “mecanismos de fraude” e exijam testes para confirmar se os requisitos de conformidade em uso sejam atendidos.

A legislação Euro VI exige a verificação da conformidade em uso de motores pesados, também conhecidos como Requisitos de Conformidade em Serviço (ISC) (Comissão

⁵ Os dados da Euro V também incluem uma categoria especial chamada Veículo Ambientalmente Amigável Aprimorado (EEV), que tem os mesmos limites de emissão de NO_x e protocolos de testes, mas exige menos emissões de MP que as normas Euro V.

Europeia, 2011). Eles incluem limites — definidos como fatores de conformidade — de 1,5 vezes o limite de emissões de NO_x , CO, HC (para motores de ignição com compressores) e CH_4 (para motores de ignição com velas).

Embora medidas de fiscalização mais rígidas sejam certamente necessárias para o desempenho ambiental de curto prazo das normas P-7, uma solução de médio prazo seria o avanço para uma fase PROCONVE mais rigorosa, de acordo com as normas Euro VI. As normas Euro VI não apenas têm limites de emissões mais rígidos, mas elas também são baseadas em um procedimento de certificação mais próximo às condições normais de uso, principalmente em áreas urbanas e contêm disposições mais fortes sobre a conformidade em uso.

EFEITOS DE PROBLEMAS DA NORMA P-7 EM EMISSÕES DE NO_x

Os problemas de implementação destacados neste trabalho — o uso inadequado de ARLA-32, emissões de NO_x fora de ciclo em áreas urbanas e vendas de veículos P-5/Euro III no primeiro ano de implementação das normas P-7 — têm sérias consequências sobre a capacidade do programa PROCONVE P-7 de controlar o NO_x no Brasil. A Figura 8 ilustra os efeitos dos diferentes níveis de conformidade com normas P-7 em emissões de NO_x de veículos de categoria pesada por todo o país. Os seguintes cenários são considerados:

- » **P-7 conformidade completa:** Novos veículos de categoria pesada a diesel atendem os requisitos P-7 (Euro V) e são abastecidos com diesel S10 e níveis adequados de ARLA-32.
- » **P-7 conformidade parcial:** Igual ao cenário “conformidade completa”, mas apenas 66% dos veículos/quilômetros percorridos (VKT) são abastecidos com os níveis adequados de ARLA-32. Presume-se que os demais veículos emitem NO_x em níveis equivalentes às normas P-5 anteriores (equivalentes a Euro III).
- » **P-8:** Novos veículos de categoria pesada a diesel atendem os requisitos P-8 (Euro VI), a partir de 2018 e continuam a usar diesel S10 e níveis adequados de ARLA-32.

Os efeitos de possíveis emissões de NO_x fora de ciclo em áreas urbanas não foram quantificados devido à falta de medições de emissões em situações reais no Brasil. Todos os cenários já levaram em conta que apenas metade dos veículos vendidos em 2012 atendiam aos requisitos P-7. Em outras palavras, as variações de emissões aqui calculadas são efeito do uso inadequado do ARLA-32.

As normas P-8 reduziram as emissões de NO_x em até 87% em 2048 com relação a um cenário P-7 com conformidade completa, equivalente a reduções cumulativas de 12 milhões de toneladas de NO_x até 2048. Os benefícios cumulativos das normas P-8 sobre NO_x seriam 18 milhões de toneladas se veículos da categoria P-7 estivessem em conformidade parcial com as normas.

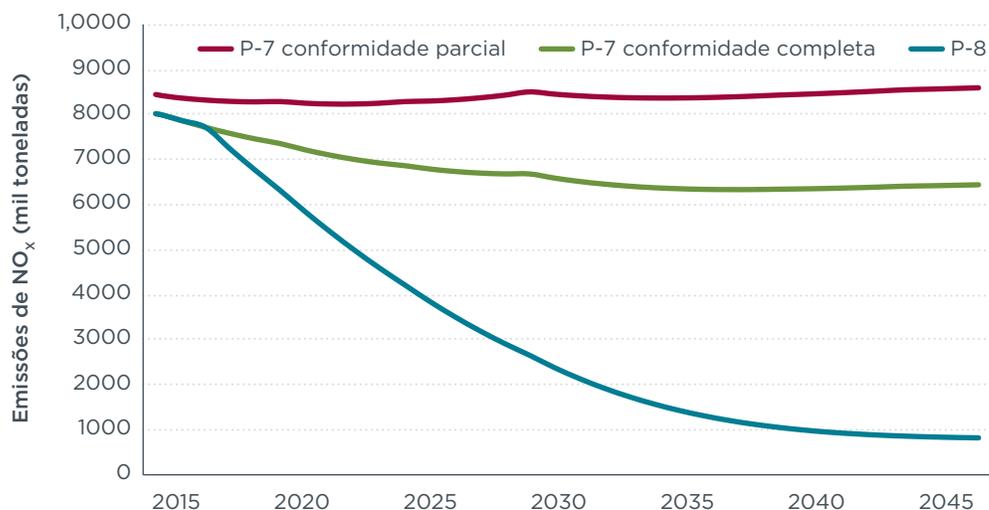


Figura 8. Efeitos de problemas na implementação das normas P-7 em emissões de NO_x

RECOMENDAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

Conforme destacado anteriormente, a fase PROCONVE P-7 provavelmente não gerará os seus benefícios desejados quanto a emissões de NO_x. Primeiro, a adaptação dos requisitos do padrão Euro V no Brasil permite muitas formas de fraude que evitam o uso adequado de ARLA-32 sem qualquer consequência prática nas limitações de torque do motor. Isto se reflete no consumo nacional de ARLA-32, que é muito menor que o consumo previsto. Segundo, falhas na norma original Euro V permitem emissões de NO_x muito maiores em situações reais que o desejado, um problema que foi demonstrado por testes abrangentes realizados na Europa. Por fim, a venda predominante de caminhões P-5/Euro III em 2012 significou que a implementação efetiva das normas P-7 iniciou apenas seis meses (julho de 2012) após sua data original (janeiro de 2012). Em decorrência dos problemas de implementação, as emissões de NO_x ficarão muito acima do planejado e assim continuarão a ser uma ameaça para a saúde pública.

Embora haja várias medidas de curto prazo para mitigar o problema, a ação mais eficaz para controlar as emissões de NO_x é imediatamente avançar para a próxima fase PROCONVE e ao mesmo tempo se alinhar com as normas Euro VI. Isto não apenas resultará em taxas de emissões de NO_x, MP e HC bem menores, mas também fechará as brechas nas normas P-7 ao mesmo tempo em que serão melhor controladas as emissões de NO_x em áreas urbanas.

MEDIDAS DE CURTO PRAZO

Várias medidas de curto prazo poderiam ser tomadas para resolver os problemas de implementação das normas P-7:

- » **Exigir que as montadoras façam recall dos veículos ou invalidem disposições de garantia.** Embora as montadoras estejam cumprindo com os procedimentos de testes das normas P-7, elas provavelmente não incluíram sensores para garantir o uso adequado de ARLA-32 e o controle eficaz de NO_x em situações reais. Em decorrência

disto, agências reguladoras brasileiras poderiam colocar o ônus sobre as montadoras de produzir ou consertar veículos cujos sistemas de pós-tratamento, induzimentos ao motorista ou mecanismos anti-falha não operem efetivamente em situações reais. Algumas opções eficazes para fiscalizar o cumprimento das normas de emissão nos Estados Unidos incluem a autoridade de demandar o *recall* e reparos de veículos e motores não conformes às custas da montadora e a capacidade de impor multas pelo uso de “mecanismos de fraude”. Como alternativa, as autoridades de certificação podem exigir que as montadoras façam o *recall* de veículos não conformes e invalidem disposições de garantia. Uma vantagem desta medida é que ela afetaria veículos P-7 existentes (ou seja, os veículos já em operação).

- » **Modificações nas normas P-7.** A ação mais imediata e direta para impedir o uso inadequado de ARLA-32 seria modificar os requisitos do protocolo P-7 para incluir todas os requisitos Euro V de sistemas de monitoramento OBD e mais especificamente exigir o monitoramento do consumo e qualidade do ARLA-32 ou o monitoramento direto das emissões de NO_x . A inclusão de um requisito sobre partida a frio e a adoção do ciclo transiente harmonizado mundial (WHTC, em sua sigla em Inglês), que reflete melhor as operações dos veículos em condições de baixa velocidade/carga, garantiriam uma melhor conformidade com os limites dos testes em áreas urbanas. Por fim, os requisitos para conformidade em uso equivalentes àqueles das normas Euro VI junto com penalidades para a não conformidade em uso iriam garantir substancialmente uma conformidade melhor. As normas Euro exigem que os Estados Membros estabeleçam punições que sejam “efetivas, proporcionais e dissuasivas” e que “tomem todas as medidas necessárias para garantir que sejam cumpridas” (EC N° 595/2009). Esta medida afetaria somente novos veículos.
- » **Melhorar a fiscalização nas estradas.** Garantir o uso adequado de ARLA-32 e verificar o uso de estratégias de fraude em veículos com fiscalizações nas estradas poderiam identificar veículos não conformes, impor multas pesadas e servir como um incentivo para uma conformidade maior. A fiscalização nas estradas poderia ser complementada por sensoreamento remoto para identificar infrações recorrentes do mesmo veículo e identificar aqueles para inspeção na estrada. Esta medida também afetaria a frota existente.

ADOÇÃO DAS NORMAS EURO VI

Além destas medidas de curto prazo, a adoção das normas Euro VI não apenas resolveria o uso inadequado do ARLA-32 e as emissões de NO_x fora de ciclo, mas também fortaleceria os limites de emissões. As normas Euro VI trazem uma série de vantagens sobre suas normas antecessoras, o que as torna a opção mais eficaz em médio prazo:

- » **Limites de emissões mais rígidos.** As normas Euro VI exigem que as montadoras reduzam as emissões de NO_x em 80% e as emissões de MP em 50% em comparação com as normas Euro V, essencialmente garantindo o uso de filtros de partículas (DPFs, em sua sigla em Inglês). Em comparação com um veículo P-7 não conforme, as normas Euro VI poderiam reduzir as emissões de NO_x em mais de 90%. Além disso, as normas Euro VI incluem limites de número de partículas para fortalecer o controle de partículas finas.
- » **Exigência de sistemas OBD mais avançados.** As normas Euro VI trazem muitas melhorias de sistemas OBD sobre as gerações anteriores, incluindo valores limite de sistemas OBD mais exigentes e aprovação de tipo com base no WHTC (ciclo

de condução transiente harmonizado a nível mundial); a adoção de razões de performance em uso, que indicam com que frequência as condições sujeitas ao monitoramento ocorreram e com que frequência o monitoramento foi realizado; e requisitos adicionais de monitoramento do fluxo de EGR (recirculação de gases de exaustão), sistema de arrefecimento de EGR, sistemas de “boost” e injeção eletrônica (Posada & Bandivakekar, 2015).

- » **Ciclos de testes mais representativos.** O ciclo de testes de certificação WHTC usado no Euro VI melhor representa condições normais de uso que os ciclos ESC e ELR usados nas normas Euro III a V. Esta mudança nos ciclos de testes de certificação, incluindo partidas a frio e direção em baixa velocidade, efetivamente força as montadoras a usarem catalisadores melhores (ex.: cobre-zeólita em vez de vanádio), resultando em taxas de emissão mais similares entre veículos em uso e homologados.
- » **Requisitos de conformidade em uso.** As normas Euro VI têm disposições específicas de conformidade em uso, o que especifica que as emissões devem ser efetivamente limitadas em todas as condições de operação em uso e não apenas naquelas que representam as condições de testes. A norma Euro VI também diminui o limite de NTE em uso para 1,5 vez o limite de teste em ciclo WHTC e exige testes de veículos em uso para demonstrar a conformidade. Isto essencialmente coloca o ônus sobre as montadoras de produzir veículos que cumpram com os limites de emissão não apenas em condições de testes, mas também em uma ampla variedade de condições em uso.

Uma análise de custo-benefício a ser publicada sobre as normas P-8, equivalentes ao padrão Euro VI, indica que os benefícios econômicos associados à redução dos impactos na saúde compensa os custos em uma razão de 11 para 1 (Miller & Façanha, 2015). Isto é compatível com análises equivalentes das normas Euro VI em outros países como o México, com uma razão de custo-benefício de 11:1 (Miller, Blumberg, & Sharpe, 2014), EUA, com uma razão de custo-benefício de 16:1 (U.S. EPA, 2000) e Índia com uma razão de custo-benefício de 8:1 (Bansal & Bandivadekar, 2013).

Entretanto, para garantir o sucesso da implementação das normas Euro VI, a distribuição de S500 deveria ser totalmente descontinuada. Os catalisadores usados em veículos Euro VI são altamente sensíveis ao enxofre, e a descontinuação da produção de diesel a 500 ppm é o modo mais eficaz de eliminar qualquer risco de abastecimento incorreto. Felizmente a Petrobras já demonstrou sua capacidade de fazer a transição eficaz do suprimento de óleo diesel no país, fornecendo ULSD em todo o território nacional e assim não deve haver preocupações sobre a disponibilidade do combustível.

Os problemas destacados neste trabalho indicam por que o Brasil deve avançar rapidamente para a próxima fase PROCONVE P-8 e se alinhar com os requisitos do Euro VI. Embora várias opções de curto prazo estejam disponíveis para resolver algumas das questões atualmente presentes, nenhuma delas é suficiente por si só. Exigir que os veículos atendam às normas de emissão Euro VI e garantir a conformidade em situações reais através de testes em uso são as únicas medidas que podem efetivamente assegurar o uso adequado do ARLA-32, restaurando todo o conjunto de requisitos de sistemas OBD, ao mesmo tempo em que simultaneamente é superado o desafio do controle ineficaz de NO_x em áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP 2014). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP 2015). Sistema de Levantamento de Preços. <http://www.anp.gov.br/preco/>
- Associação dos Fabricantes de Equipamento para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul (Afeevas 2015). Estimated Vs Actual ARLA-32 consumption. Provided with consent to use in this publication.
- Automotive Business (2012). Queda nas vendas de caminhões assusta autopeças. Disponível online em: <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/14028/Queda%20nas%20vendas%20de%20caminhões%20assusta%20autopeças>
- Bansal, G, Bandivadekar, A (2013). Overview of India's Vehicle Emissions Control Program – Past Successes and Future Prospects. International Council on Clean Transportation.
- CETESB (2014). Qualidade do ar no Estado de São Paulo.
- Cordeiro, T (2015). ARLA 32 – Effects of the quality on NO_x emissions. Presentation at the 5th Integer Emissions Summit & ARLA 32 Forum.
- Cummins Engines (2015). Diesel Exhaust Fluid. Disponível online em: <http://cumminsengines.com/diesel-exhaust-fluid>
- Diesel Diagnostics (2015). Como funciona o Arla32 emulador? Disponível online em: <http://emulador-arla32.com/index.php/arla32/como-funciona-o-arla32-emulador>
- Emulador ARLA-32 (2015). Emulador Arla | Emulador ArlaBox. Disponível online em: <http://www.emuladorarla32.com.br>
- European Commission (2011). Commission Regulation (EU) No 582/2011. Implementing and amending Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and amending Annexes I and III to Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council.
- Grupo Globo (2014). Caminhoneiros burlam lei e rodam sem aditivo que reduz poluição. Disponível online em: <http://g1.globo.com/fantastico/noticia/2014/12/caminhoneiros-burlam-lei-e-rodam-sem-aditivo-que-reduz-poluicao.html>
- Lowell, D, Kamakaté, F (2012). Urban off-cycle NO_x emissions from Euro IV/V trucks and buses - Problems and solutions for Europe and developing countries. International Council on Clean Transportation. White Paper Number 18. March 2012.
- Miller, J, Blumberg, K, Sharpe, B (2014). Cost-Benefit Analysis of Mexico's Heavy-duty Emission Standards (NOM 044). International Council on Clean Transportation. Working Paper 2014-7. August 2014.
- Miller, J, Façanha, C (2016, upcoming). Cost-Benefit Analysis of Brazil's P-8 Heavy-duty Emission Standards. International Council on Clean Transportation.

Ministério do Meio Ambiente (MMA 2013). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários — Ano-base 2012, Relatório Final.

Muncrief, R (2015). Comparison of real world off-cycle NO_x emissions control in Euro IV, V, and VI. International Council on Clean Transportation. Briefing. February 2015.

Posada, F, Bandivadekar, A (2015). Global overview of on-board diagnostic (OBD) systems for heavy-duty vehicles. International Council on Clean Transportation. White Paper. January 2015.

Shao, Z, Wagner D V (2015). Costs and benefits of motor vehicle emission control programs in China. International Council on Clean Transportation. White Paper. June 2015.

Souza, C (2015). Implementation of Ultra Low Sulfur Diesel Fuel in Brazil. Presentation at the Fuel Standards Workshop on International Best Practices and Regulation in Mexico. Petrobrás.

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA 2000). Regulatory Impact Analysis — Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards and Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements. EPA420-R-00-026

World Health Organization (2005). Air quality guidelines for particulate mater, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005.