
Avaliação dos impactos relacionados à adoção do MAR-II no mercado brasileiro

Abril/2026

VERSÃO PRELIMINAR

Sumário

1.	Contextualização.....	1
2.	Padrões de emissões em máquinas agrícolas e rodoviárias no Brasil.....	5
2.1	MAR-I.....	5
2.2	MAR-II.....	7
3.	Contexto atual e implementação do MAR-II.....	12
3.1.	Panorama da frota de máquinas agrícolas/rodoviárias.....	12
3.2.	Visão de participantes do mercado	15
4.	Biocombustíveis.....	23
5.	Considerações finais	27
6.	Referências.....	32

1. Contextualização

Em razão das mudanças climáticas e das preocupações crescentes com os impactos ambientais sobre as cidades e a saúde pública derivados do aquecimento global, tem sido importante incluir metas de redução de emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) na agenda de setores diversos, como indústria e transportes. No caso dos veículos automotores, as regulamentações relativas à emissão de poluentes atmosféricos (que têm início nos anos 1980, antes das discussões sobre efeito estufa ganharem corpo) passaram a avançar em paralelo com o avanço das emissões de GEE, a despeito da relevância e das dificuldades de implementar planos de redução de CO₂ e equivalentes.

Assim, o PROCONVE (de maio de 1986, alguns anos antes das discussões que iriam desaguar no Rio de Janeiro em 1992 e em Kioto, em 1995) e toda regulamentação derivada (a exemplo do MAR I e MAR II, que discutiremos mais adiante) avançam em seus objetivos estruturais um pouco ao largo das preocupações com os GEE e sem que haja um esforço de harmonização entre essas regulamentações, com caráter e objetivos distintos.

Em paralelo, regulamentações como o MOVER e a Lei do Combustível do Futuro, respectivamente de junho e outubro de 2024, trazem metas e desafios de investimento voltados explicitamente à redução de emissões de GEE, seja por meio de inovações nos próprios veículos ou via introdução e/ou incremento do uso de biocombustíveis, que em alguns casos requerem modificações relevantes em veículos, partes e peças. Com isso, é importante analisar as metas e os desafios de cada uma dessas frentes de regulamentação para entender se são harmônicas entre seus incentivos ou se há pontos potencialmente conflitantes, que podem levar ao desalinhamento de resultados.

No caso específico das máquinas agrícolas e rodoviárias (voltadas ao setor de

construção), as novas regulamentações já implementadas e propostas têm por principal objetivo a redução de alguns poluentes, tais como o óxido de nitrogênio (NOx), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC), que são prejudiciais à qualidade do ar e à saúde humana. Ou seja: não há metas de redução de GEE (tais como o dióxido de carbono, CO₂).

No Brasil, a regulamentação PROCONVE MAR-I, instituída pela Resolução CONAMA nº433 em 2011, estabeleceu o primeiro programa de controle de emissões do setor de máquinas agrícolas e rodoviárias, representando um avanço histórico que, todavia, já se encontra tecnicamente defasado frente aos padrões internacionais vigentes, como será apontado mais adiante neste relatório.

O MAR-I foi implementado de forma faseada, com a última etapa sendo atingida em 2019. Apesar do avanço que representou, estudos de inventário de emissões apontam que, em 2023 — quatro anos após a conclusão da implementação plena desse protocolo —, apenas 20% da frota total de máquinas não rodoviárias em operação no Brasil atendia ao padrão MAR-I, enquanto os 80% restantes ainda operavam sob padrões anteriores ao MAR-I. Essa constatação revela a lentidão intrínseca à renovação dessa frota e indica o tamanho do desafio regulatório: qualquer nova norma que envolva a necessidade de renovação de frota levará muitos anos, possivelmente décadas, para produzir efeitos plenos sobre as emissões totais do setor.

Em função da entrada em vigor de regulamentações mais rigorosas na Europa e nos Estados Unidos — Stage V e Tier 4 Final, respectivamente —, e diante do avanço de países como China, Índia e Colômbia em direção a padrões mais restritivos, há um entendimento crescente da necessidade de modernização dos atuais normativos brasileiros, visando ao estabelecimento de limites de emissões mais restritos no âmbito nacional.

Nesse contexto, o planejamento e o debate para a elaboração do PROCONVE MAR-II já estão em curso no Governo Federal, envolvendo o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) e o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC).

Contudo, a mudança para um padrão mais restritivo de emissões pode, por diversos motivos, provocar impactos negativos na cadeia local da indústria de fabricação de máquinas agrícolas e rodoviárias. Isso porque serão necessárias diversas mudanças técnicas nesses equipamentos, exigindo pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica a fim de que essas máquinas sejam compatíveis com as novas exigências de emissões.

O salto regulatório do MAR-I (equivalente ao Tier 3 / Stage IIIA) para o MAR-II (equivalente ao Tier 4 Final / Stage V) é substancial: enquanto o primeiro dispensava sistemas complexos de pós-tratamento, o segundo exige a adoção obrigatória de tecnologias como DOC (Diesel Oxidation Catalyst), DPF (Diesel Particulate Filter) e SCR (Selective Catalytic Reduction), além do uso de diesel S10 e do aditivo ARLA-32.

Essa transição implica redesenho de projetos de engenharia, ampliação do espaço físico nas máquinas para acomodar os novos sistemas, integração eletrônica avançada e, principalmente, a disponibilidade de uma cadeia de distribuição de insumos consolidada em todo o território nacional – condição que ainda não se encontra plenamente satisfeita no Brasil.

Tais inovações serão exigidas no âmbito dos motores, do design dos projetos, da operação e da integração dos sistemas de pós-tratamento. Equilibrar as exigências regulatórias ambientais com desempenho, eficiência e confiabilidade, sem que isso esteja associado a um aumento expressivo de custos e preços finais dos equipamentos, é um dos grandes desafios que devem

nortear a implementação do PROCONVE MAR-II.

Levantamentos junto ao setor, que serão apresentados em detalhe mais adiante, indicam que a migração do MAR-I para o MAR-II pode elevar o preço final das máquinas em algo entre 15% a 25% (a depender do segmento), ao mesmo tempo em que o custo operacional cresce em razão do consumo obrigatório de ARLA-32.

Por outro lado, os motores MAR-II oferecem ganhos de eficiência no consumo de diesel (redução de 3% a 5%) e reduções expressivas de poluentes: estimativas apontam redução de 73% a 95% nas emissões de material particulado e de 70% a 90% nas emissões de NOx, com impactos diretos e positivos sobre a saúde pública. Esse dilema — entre o imperativo ambiental e a viabilidade econômica — é o pano de fundo sobre o qual o presente estudo se desenvolve.

Neste sentido, o objetivo deste relatório, preparado para a Abimaq (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos), é o de avaliar os potenciais impactos relacionados à implementação da fase MAR-II para o mercado de máquinas agrícolas e rodoviárias brasileiro. O documento servirá de apoio à Abimaq em discussões com o Governo Federal (MDIC e MMA) sobre os caminhos prováveis e viáveis para a redução da emissão de poluentes no setor de máquinas.

Os tópicos tratados a seguir se baseiam na análise de estudos sobre o tema, entrevistas realizadas pela equipe da LCA junto a algumas empresas associadas à Câmara Setorial de Máquinas e Implementos Agrícolas, doravante CSMIA, da Abimaq, além de outros players da cadeia de sistemistas e fabricantes de motores deste setor.

O presente relatório está estruturado em quatro seções complementares. A **Seção 2** descreve os padrões regulatórios de emissões aplicáveis às máquinas

agrícolas e rodoviárias no Brasil, detalhando as características técnicas dos protocolos MAR-I e MAR-II e sua equivalência com os padrões internacionais vigentes. A **Seção 3** apresenta o contexto atual da implementação do MAR-II, abrangendo um panorama da frota de máquinas em operação no país e a visão dos participantes do mercado sobre os desafios e impactos esperados com a transição regulatória. A **Seção 4** examina o papel dos biocombustíveis como alternativa complementar à redução de emissões no setor, discutindo seu potencial e as condições necessárias para sua adoção em larga escala. Por fim, a **Seção 5** traz as considerações finais, sintetizando as principais conclusões do estudo e apontando recomendações para o processo de implementação do MAR-II de forma tecnicamente viável e economicamente equilibrada.

2. Padrões de emissões em máquinas agrícolas e rodoviárias no Brasil

2.1 MAR-I

Atualmente, os limites de emissões aplicáveis aos motores utilizados em máquinas agrícolas e rodoviárias são regulamentados pelo protocolo PROCONVE MAR-I, instituído por meio da Resolução CONAMA nº433/2011. Esse programa constituiu o primeiro marco regulatório nacional para o controle de poluentes atmosféricos provenientes dessas categorias de máquinas e equipamentos.

Em termos de equivalência internacional, o PROCONVE MAR-I corresponde ao estágio Tier 3 dos Estados Unidos (que vigorou até 2008) e ao Stage IIIA da União Europeia (que valeu até 2011), sendo aplicável a máquinas com potência entre 19 kW e 560 kW. A implementação do MAR-I foi estruturada de forma escalonada, conforme as categorias de máquinas e respectivas faixas de potência.

Desse modo, a partir de janeiro de 2015 as máquinas de construção com potência superior a 75 kW passaram a estar sujeitas aos novos limites. Em janeiro de 2017, essa obrigatoriedade foi estendida às máquinas agrícolas acima de 75 kW. Por fim, a partir de janeiro de 2019, todas as máquinas com potência entre 19 kW e 75 kW foram incorporadas ao programa, completando o ciclo de implementação do MAR-I.

Os principais poluentes sujeitos às normas nacionais e internacionais de regulamentação de emissão são os seguintes: o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), o óxido de nitrogênio (NOx) e o material particulado (MP). Vale ressaltar que essas normas focam a emissão de poluentes, embora restrinjam as emissões GEE de forma indireta à medida que as mudanças também incrementam a eficiência dos veículos, contribuindo de forma indireta para redução da emissão de GEE.

Os limites de emissões definidos pelo protocolo MAR-I podem ser atingidos pela utilização, nos motores a diesel, de tecnologias como injeção eletrônica de alta precisão, turboalimentação com intercooler e EGR (Exhaust Gas Recirculation – Recirculação de Gases de Escape) de baixa rotação¹.

Desse modo, esses limites do MAR-I não demandam a utilização de sistemas complexos de pós-tratamento, tais como o DPF (Diesel Particulate Filter – Filtro de Partículas Diesel) e o SCR (Selective Catalytic Reduction – Redução Catalítica Seletiva) – os quais passaram a ser utilizados por outros veículos movidos a diesel no Brasil (caminhões, ônibus e comerciais leves) a partir de 2012, com a adoção do protocolo Proconve P8 (equivalente ao padrão Euro V).

Cabe destacar, ainda, que a norma vigente no âmbito do MAR-I não estabelece distinção entre as emissões de hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio

¹ Estudo comparativo entre normas regulatórias de emissões PROCONVE MAR-I vs. EU Stage V [12].

(NO_x), tampouco impõe requerimentos de controle do número de partículas (NP). Adicionalmente, por não demandar catalisadores mais modernos, o MAR-I admite a utilização de diesel do tipo S500, com teor de enxofre de 500 ppm – ao passo que os motores a diesel de caminhões, ônibus e comerciais leves fabricados e vendidos a partir de 2012 no Brasil demandam a utilização do diesel do tipo S10². A tabela a seguir apresenta os limites de emissões do PROCONVE MAR-I.

Tabela 1 – Limite de emissões MAR-I

Potência (kW)	CO (g/kWh)	HC + NO _x (g/kWh)	MP (g/kWh)	NP (partículas/kWh)
19 a 37	5,5	7,5	0,6	–
37 a 75	5	4,7	0,4	–
75 a 130	5	4	0,3	–
130 a 560	3,5	4	0,2	–

Fonte: [12] e Resolução CONAMA nº433/2011. Elaborado: LCA Consultores.

2.2 MAR-II

A adoção do MAR-II tem como principal objetivo, por meio de uma atualização da regulamentação vigente, promover uma redução adicional do volume de poluentes atmosféricos responsáveis por impactos diretos à saúde humana e emitidos pelas máquinas agrícolas e rodoviárias. Esta atualização implica normas de emissões equivalentes aos padrões Tier 4 Final (padrão vigente nos Estados Unidos desde 2015) e Stage V (padrão vigente na União Europeia desde 2018/19).

² Ambos os tipos de diesel correspondem, na verdade, a uma mistura entre o diesel fóssil e o biodiesel. Atualmente, o percentual de biodiesel nessa mistura é de 15%.

Em contraste com o MAR-I, o MAR-II requer a aplicação obrigatória de sistemas de pós-tratamento, tais como o DOC (Diesel Oxidation Catalyst), DPF (Diesel Particulate Filter) e SCR (Selective Catalytic Reduction). Além disso, no que diz respeito às emissões, há separação entre níveis de HC e NOx e, para preservar os catalisadores associados a esses novos conjuntos propulsores, é requerida a utilização de diesel com baixo teor de enxofre³ (diesel S10)⁴.

Do ponto de vista técnico, o MAR-II demanda que as máquinas apresentem um sistema completo de pós-tratamento termodinâmico e químico, o que, por sua vez, exige máquinas com novo design e espaço adicional, controle térmico e integração eletrônica. Ademais, a operação com eficiência dos veículos demanda a utilização do aditivo Arla-32, para além do diesel S10.

Tais alterações, tanto do projeto de engenharia como operacionais, geram um encarecimento, para o usuário final, da aquisição (Capex) destes maquinários e da sua operação rotineira (Opex) – como será apontado mais adiante neste relatório.

As tabelas a seguir apresentam os limites de emissões propostos no âmbito do MAR-II, bem como uma comparação entre os limites atuais consubstanciados no MAR-I e aqueles das principais regulamentações internacionais atualmente em vigor – TIER4F e Stage V – que servem de referência para o MAR-II.

³ Estudo comparativo entre normas regulatórias de emissões PROCONVE MAR-I vs. EU Stage V [12].

⁴ A utilização de diesel com maior teor de enxofre propicia a formação de sulfatos e de outros resíduos químicos que podem causar falhas nos sistemas de pós-tratamento, comprometendo todo o sistema de controle de emissões do veículo.

Tabela 2 – Limite de emissões MAR-II

Potência (kW)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx(g/kWh)	MP (g/kWh)	NP (partículas/kWh)
19 a 56	5	0,19	0,4	0,015	1×10^{-12}
56 a 75	5	0,19	0,4	0,015	1×10^{-12}
75 a 130	5	0,19	0,4	0,015	1×10^{-12}
130 a 560	3,5	0,19	0,4	0,015	1×10^{-12}

Fonte: Resolução Conama 433/2011. Elaboração: LCA Consultores.

Tabela 3 – Comparação MAR-I, Tier 4 Final e Stage V

Potência P (kW)	CO (g/kWh)			HC + Nox (g/kWh)			HC		NOx		MP (g/kWh)		
	MAR-I (Brasil)	Tier 4F (EUA)	Stage V (UE)	MAR-I (Brasil)	Tier 4 F (EUA)	Stage V (UE)	Tier 4 F (EUA)	Stage V (UE)	Tier 4 F (EUA)	Stage V (UE)	MAR-I (Brasil)	Tier 4 F (EUA)	Stage V (UE)
P < 8	-	8	8	-	7,5	7,5	-	-	-	-	-	0,4	0,4
19 ≤ P < 37	5,5	5,5	5	7,5	4,7	4,7	-	-	-	-	0,6	0,03	0,015
37 ≤ P < 56	5	5	5	4,7	4,7	4,7	-	-	-	-	0,4	0,03	0,015
56 ≤ P < 75	5	5	5	4,7	-	-	0,19	0,19	0,4	0,4	0,4	0,02	0,015
75 ≤ P < 130	5	5	5	4	-	-	0,19	0,19	0,4	0,4	0,3	0,02	0,015
130 ≤ P ≤ 225	3,5	3,5	3,5	4	-	-	0,19	0,19	0,4	0,4	0,2	0,02	0,015
225 ≤ P ≤ 450	3,5	3,5	3,5	4	-	-	0,19	0,19	0,4	0,4	0,2	0,02	0,015
450 ≤ P ≤ 560	3,5	3,5	3,5	4	-	-	0,19	0,19	0,4	0,4	0,2	0,02	0,015
P > 560	-	3,5	3,5	-	-	-	0,19	0,19	3,5	3,5	-	0,04	0,045

Fonte: Resolução Conama 433/2011; DieselNet; [1]. Elaboração: LCA Consultores.

No contexto internacional, alguns mercados relevantes já utilizam a tecnologia equivalente ao MAR-II há cerca de 10 anos, como é o caso dos Estados Unidos com o Tier 4 Final e da União Europeia, com o Stage V. Adicionalmente, alguns

países, como China e Índia, já adotaram ou estão em processo de implementação de programas de redução de emissões mais restritivos do que aqueles estipulados pelo MAR-I, porém com aspectos similares ao proposto no MAR-II, localizando a regulação atual desses países em um “meio caminho” entre o MAR-I e MAR-II[1].

Tabela 4 – Linha do tempo regulamentação internacional

Região	Engine (kW)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2028
Emissão	UE	56-130	EU Stage IV	EU Stage V NRSC/NRST Nox = 0,4g/kWh PM = 0,015g/kWh PN = 1x10^12*/kWh						
		130-560	EU Stage V NRSC/NRST Nox = 0,4g/kWh PM = 0,015g/kWh PN = 1x10^12*/kWh							
	USA	56-130	Tier 4 final NRSC/NRST Nox = 0,4g/kWh PM = 0,02g/kWh							CARB Tier 5 (planned)
		130-560								
	China	56(75) - 130	Phase III NRSC Nox (+HC) = 4,0 PM = 0,30g/kWh				Phase IV NRSC/NRST Nox = 3,3/PM = 0,025g/kWh PN = 5x10^12*/kWh		Phase V = EU St V (introduction assumed)	
		130-560	Phase III NRSC Nox (+HC) = 4,0 PM = 0,20g/kWh				Phase IV NRSC/NRST Nox = 2,0/PM = 0,025g/kWh PN = 5x10^12*/kWh			
	Índia	56(75) - 130	Bharat TREM III NRSC Nox (+HC) = 4,0 PM = 0,30g/kWh				Bharat TREM IV NRSC/NRTC Nox = 0,4g/kWh PM = 0,025g/kWh	Bharat TREM V NRSC/NRTC Nox = 0,4g/kWh PM = 0,015g/kWh PN = 1x10^12*/kWh		
		130-560	Bharat TREM III NRSC Nox (+HC) = 4,0 PM = 0,20g/kWh							

Fonte: Elaboração: LCA Consultores.

Na América do Sul, o tema ainda passa por discussões no Chile. Foi publicado, em outubro de 2021, um decreto⁵ definindo [9], a partir de 2023 ou 2024 (dependendo do tipo de equipamento), limites mais rigorosos de emissões para novas máquinas agrícolas e rodoviárias – equivalentes aos padrões Tier 4 dos EUA e Stage IV/V europeu. Contudo, a norma foi modificada após pressões do setor do agronegócio. De acordo com a Sociedade Nacional de Agricultura (SNA) chilena [15], os novos padrões poderiam aumentar em cerca de 20% os custos de aquisição de tratores novos.

Dentre os motivos da oposição aos novos limites, a SNA apontou o impacto do alto custo para substituir a frota para os produtores pequenos, bem como o encarecimento da operação devido aos aditivos adicionais (AdBlue, equivalente ao Arla32) e à logística de distribuição desses aditivos. Ademais, a entidade apontou que hoje é relativamente baixa a emissão de material particulado pelos tratores operando no país (inferior a 1% de PM_{2,5}), gerando um benefício mínimo em termos de redução de emissões comparativamente ao custo total necessário para a mudança.

Diante das mobilizações, em outubro de 2024 o governo chileno prorrogou o prazo para 2030 no caso dos tratores (para máquinas de construção e agrícolas, exceto tratores, os limites já estão valendo desde 2024) [10]. Entre os argumentos presentes no documento do Ministério, destaca-se o aumento dos custos relacionados à importação de máquinas agrícolas – visto que, atualmente, parte relevante desses equipamentos é importada do Brasil, México e China, países que ainda não adotaram os padrões do Stage IV/V.

Além disso, o governo destacou a dificuldade para assegurar que o combustível necessário para os tratores cumprirem o Stage IV/V esteja disponível em todo o

⁵ Decreto Supremo nº 39 de 2020 do Ministério de Meio Ambiente.

país, o que contribuiria no encarecimento dos custos. Convém ressaltar que o próprio Ministério reconheceu que tais fatores não haviam sido considerados anteriormente, gerando diversas intercorrências durante o processo de implementação da norma.

3. Contexto atual e implementação do MAR-II

3.1. Panorama da frota de máquinas agrícolas/rodoviárias

Antes de qualquer análise acerca da implementação de uma nova regulamentação de emissões mais restritiva, é importante observar o panorama atual da frota de máquinas não rodoviárias.

Há poucas informações públicas atualizadas sobre a frota de máquinas agrícolas e rodoviárias – o último Censo Agropecuário foi realizado em 2017 (talvez um novo seja realizado em 2026). No entanto, estão disponíveis algumas estimativas preparadas por algumas entidades com base na evolução das vendas correntes menos taxa de sucateamento desse maquinário.

Destaca-se um estudo de inventário de emissão de máquinas agrícolas e rodoviárias elaborado pela AFEEVAS [2] – Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul –, no qual há uma estimativa da frota circulante brasileira em 2023 e uma projeção para essa mesma variável até 2030. Ademais, além da segregação da frota total entre máquinas agrícolas e rodoviárias, há uma diferenciação de composição da frota entre os padrões TIER-1 (pré MAR-I) e MAR-I.

Conforme é possível observar na tabela abaixo, em 2023, após 4 anos da implementação total do MAR-I, apenas 20% da frota total de máquinas não rodoviárias estavam de acordo com a nova regulamentação de emissões. Tal

aspecto demonstra como a renovação da frota de máquinas não rodoviárias ocorre de forma lenta. Vale dizer que a modernização de grande parte da frota já impactaria parte relevante das emissões desse setor.

**Tabela 5 – Composição da Frota de máquinas agrícolas e rodoviárias
(unidades)**

Categoria	Agrícola		Construção		Total
	TIER 1	MAR-I	TIER 1	MAR-I	
CULTIVADORES MOTORIZADOS	54.163				54.163
TRATORES RODAS - PEQUENOS	539.229	105.143	184.878	36.049	865.299
TRATORES RODAS - MÉDIOS	146.947	42.069	85.878	24.586	299.480
TRATORES RODAS - GRANDES	20.038	5.737	28.626	8.195	62.596
TRATORES ESTEIRAS	8.622	1.288			9.910
TRATORES ESTEIRAS - PEQUENOS			9.053	1.352	10.405
TRATORES ESTEIRAS - MÉDIOS			8.047	1.202	9.249
TRATORES ESTEIRAS - GRANDES			3.018	451	3.469
COLHEITADEIRAS GRÃOS	151.393	41.399			192.792
COLHEDORAS CANA	3.979	5.357			9.336
RETROESCAVADEIRAS	28.524	8.742	66.556	20.399	124.221
PÁS CARREGADEIRAS - PEQUENAS			13.394	6.276	19.670
PÁS CARREGADEIRAS - MÉDIAS			6.775	4.372	11.147
PÁS CARREGADEIRAS - GRANDES			21.122	13.629	34.751
ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS	3.870	3.579			7.449
ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS - PEQUENAS			10.025	6.735	16.760
ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS - MÉDIAS			20.897	19.327	40.224
ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS - GRANDES			5.224	4.832	10.056
MOTONIVELADORAS			18.665	6.056	24.721
ROLOS COMPACTADORES			14.959	4.719	19.678
MINI-CARREGADEIRAS			14.403	3.794	18.197
MANIPULADORES TELESCÓPICOS			308	849	1.157
TOTAL	956.765	213.314	511.828	162.823	1.844.730
Total				Percentual	

Total Agrícola	1.170.079	63%
Total Construção	674.651	37%
Total TIER I	1.468.593	80%
Total MAR-I	376,137	20%

Fonte: [2]. Elaboração: LCA Consultores.

Com base nos dados apresentados sobre potência média, consumo e trabalho, por tipo de maquinário, bem como suas respectivas emissões, o estudo apresenta o inventário de emissões de cada um dos principais poluentes regulamentados pelo MAR-I, demonstrado a seguir.

Tabela 6 – Inventário de emissão de poluentes (2023)

	Frota	TIER 1	MAR-I	CO (Ton/ano)	HC (Ton/ano)	NOx (Ton/ano)	MP (Ton/ano)
Máquinas Agrícolas	1.170.079	82%	18%	599.690	69.060	522.827	44.535
Máquinas Construção	674.649	76%	24%	692.516	79.638	619.165	48.439
Frota total	1.844.728	80%	20%	1.292.206	148.698	1.141.992	92.974

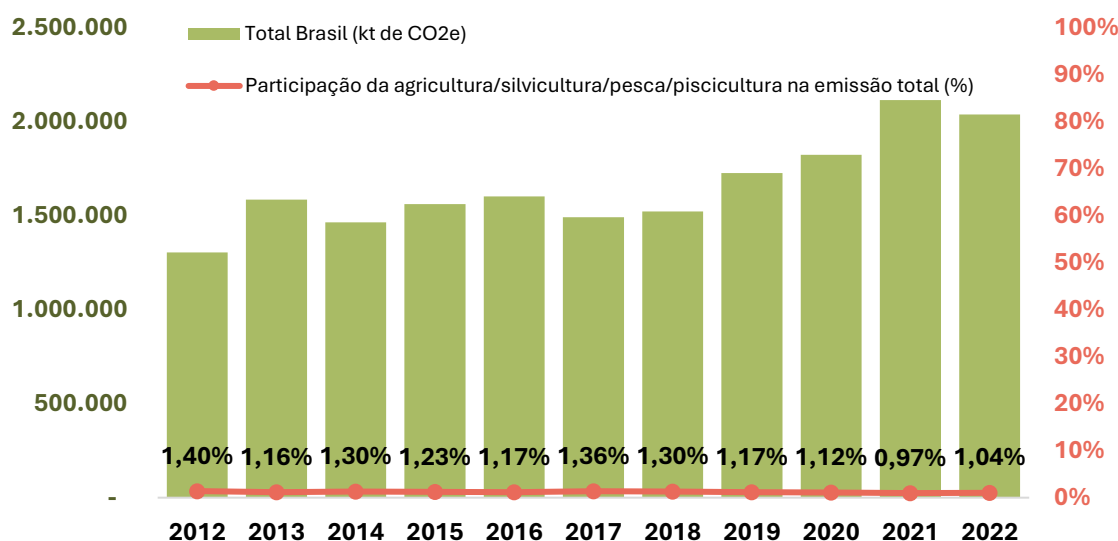
Fonte: [2]. Elaboração: LCA Consultores.

Vale notar que o estudo não apresenta todos os dados necessários para uma possível replicação, principalmente a diferenciação entre os limites adotados para emissão de poluentes em equipamentos que pertencem ao *TIER 1* e ao MAR-I. Um exercício interessante seria analisar qual seria a redução das emissões de poluentes caso a participação do maquinário que atendesse aos critérios do MAR-I aumentasse em relação patamar atual de cerca de 20%.

No entanto, sem desconsiderar a relevância de limites para a emissão de poluentes locais, é importante entender como o setor se apresenta com relação às emissões de GEE. O Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), desenvolvido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, possui dados

das emissões de GEE de diferentes setores e subsetores no Brasil. Embora ainda seja bastante abrangente, a categoria “Agricultura/silvicultura/pesca/piscicultura”, dentro do setor de Energia, é aquela que mais se aproxima das emissões oriundas da queima de combustíveis fósseis pelas máquinas agrícolas⁶. Como pode ser notado na figura abaixo, as emissões de GEE oriundas do consumo energético nas atividades de agricultura, silvicultura, pesca e piscicultura possuem historicamente baixa participação no total de emissões de GEE e esse percentual vem recuando ao longo do tempo.

Gráfico 1 - Participação na emissão nacional de GEE



Fonte: [Relatório do Inventário Nacional 1990-2022](#). Elaboração: LCA Consultores.

3.2. Visão de participantes do mercado

A LCA realizou entrevistas, conversas e coletou dados com empresas participantes da CSMIA, da ABIMAQ, e fabricantes de motores, para compreender suas percepções acerca da implementação do MAR-II e subsidiar a análise contida neste trabalho. Em razão da heterogeneidade dos produtos

⁶ Importante notar que isso não inclui outras emissões associadas à agropecuária, tais como aquelas geradas pelas mudanças de uso de solo e pela emissão de metano por conta da fermentação entérica. Ou seja: estamos apontando somente as emissões oriundas da queima de combustíveis de origem fóssil pelas máquinas agrícolas.

vendidos e tipos de aplicações, além dos tamanhos das empresas, dos mercados relevantes atendidos e da participação das exportações nas respectivas vendas, as visões acerca do timing de implementação do MAR-II são dissonantes.

Algumas empresas indicam que a postergação ou demora na implementação do MAR-II prolongaria uma defasagem tecnológica (já notável relativamente aos países desenvolvidos) na respectiva cadeia produtiva, com o risco de que passe a faltar componentes, partes e peças para uma rota tecnologicamente ultrapassada. Para além dos impactos negativos em termos de emissões locais e sobre a eficiência das máquinas, este atraso poderia reduzir o grau de competitividade do produto local no mercado internacional. O grupo com estas preocupações defende que 8 anos (prazo proposto para o atendimento completo das novas normas) sejam suficientes para a necessária adequação tecnológica e operacional de toda a cadeia.

Por outro lado, outro grupo defende que a adoção do MAR-II aumentaria o custo de aquisição e a complexidade da operação das máquinas, via adição de diversos sensores e dispositivos à máquina que terão que ser gerenciados pelo operador, além de elevar o Capex e Opex – fatores que podem afetar negativamente a demanda por máquinas novas, sobretudo por pequenos e médio produtores, limitando o aumento da frota circulante com padrão MAR-II.

Numa esfera contrária à do grupo que atua mais próximo aos mercados desenvolvidos, o encarecimento da aquisição de motores para empresas que não possuem fabricação própria é uma questão relevante, bem como a possibilidade de perda da inserção em mercados externos importantes que continuariam no padrão MAR-I (como Argentina, México e África do Sul). Além do aumento de custos, algumas empresas indicaram que, pelo fato do MAR-II ser equivalente ao Tier IV-F europeu e ao Stage V norte-americano – padrões

adotados há cerca de 10 anos –, o mercado brasileiro estaria se movimentando para se fixar em uma tecnologia anterior, já defasada e perto de ser substituída nesses países desenvolvidos por padrões mais avançados logo mais, nos próximos anos (ver Tabela 4, acima).

Alguns players argumentaram que, para além do elevado custo incremental do MAR-II, não valeria a pena no Brasil, pois grande parte das máquinas agrícolas opera em áreas afastadas dos centros urbanos, sem exigir controles muito rigorosos de poluentes devido à pouca probabilidade de que essas emissões ocorridas nas áreas agricultáveis se desloquem aos centros urbanos⁷.

Outro ponto de atenção nas conversas foi a necessidade de utilização do aditivo ARLA 32 e do diesel com baixo teor de enxofre (S10), ambos produtos que tendem a enfrentar problemas de suprimento quanto mais interiorizado for seu uso, uma vez que a rede de distribuição desses produtos não é tão consolidada como no caso do diesel S500. Cabe mencionar que o uso de biocombustíveis foi sinalizado como algo factível no mercado brasileiro por viabilizar simultaneamente a redução da emissão de poluentes e de GEE, porém de forma mais restrita, por ora, a aplicações agrícolas específicas. Ainda assim, há o entendimento de que tal cadeia produtiva ainda precisa de avanços para ganhar escala, o que também implicaria custos para o seu desenvolvimento.

Vale notar um contraponto ao uso de biocombustíveis – a exemplo do etanol ou do biometano: por não constar da abordagem do MAR-II, restrito ao ciclo diesel⁸, seria necessário desenvolver toda regulamentação específica para os motores especificados para esses novos combustíveis⁹. O quadro abaixo sintetiza os aspectos favoráveis e desfavoráveis associados à implementação do MAR-II.

⁷ Diferente para as máquinas rodoviárias, que atuam mais próximas a grandes centros urbanos.

⁸ Com exceção do biodiesel.

⁹ É possível que o tempo necessário para a realização de testes de emissão em todas as condições necessárias para dar comparabilidade e compatibilidade com os realizados para o ciclo diesel seja de 2 a 4 anos, segundo um fabricante de motor que participou da concepção do MAR-II.

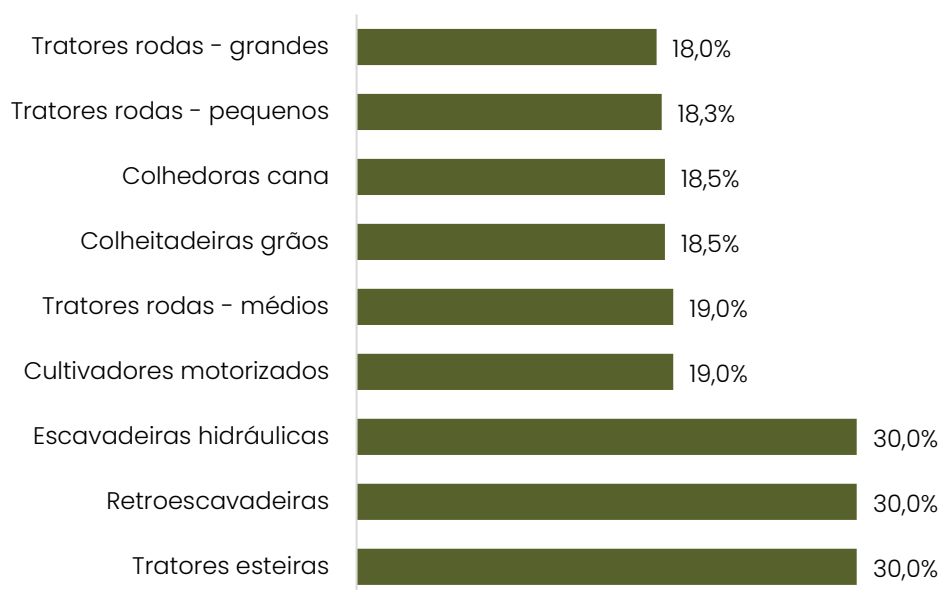
Tabela 7 – Balanço sobre a implementação do MAR-II

Prós	Contras
Ampliação das trocas comerciais de partes, peças e máquinas com países desenvolvidos, que já aderiram aos padrões de emissões semelhantes ao MAR-II, expandindo o espaço de mercado do produto brasileiro.	Acréscimo de custos (Capex e Opex), necessitando de algum apoio público para promover a renovação da frota
Cadeia brasileira de máquinas agrícolas acompanharia a tecnologia de outros players (União Europeia e EUA), evitando a defasagem e o isolamento tecnológico brasileiro.	Necessidade da utilização de ARLA-32 implicará maior custo operacional e maior complexidade para o cliente. Dificuldades de logística e redes de suprimento e pouca oferta poderão provocar problemas na distribuição deste insumo.
Filtro de pós-tratamento permite maior eficiência do motor MAR-II em relação ao MAR-I, com um consumo menor de diesel por unidade de força ou tempo de uso.	Operadoras podem desligar o sistema de pós-tratamento (ARLA-32), sobretudo na ausência de combustível e aditivos adequados, o que reduz a eficiência da máquina (caracteriza descumprimento da legislação).
Cronograma de implementação é dividido em fases de acordo com a potência das máquinas, o que já teria levado em conta as especificidades do mercado brasileiro.	Atualmente, não há produção nacional de diversas peças/insumos que atendam ao MAR-II, sendo necessário importá-las.
Tecnologia requerida pelo MAR-II é similar a adotada por veículos pesados a diesel a partir do Proconve P7 (2012), o que facilitaria o supply-chain.	Mudança é mais fácil para empresas que contam com fabricação própria de motores. Contudo, empresas menores dependem da compra deste insumo.
	Possível perda de mercado caso o Brasil não tenha opção de motores MAR-I, visto que outros mercados (como Argentina, México e África do Sul) podem não migrar para padrões semelhantes ao MAR-II.
	O MAR-II é equivalente ao Tier 4F, em vigor desde 2015. Sendo assim, o Brasil já migrará para uma tecnologia estabelecida há 10 anos, que estará próxima da substituição em outros mercados. Desse modo, a adoção do MAR-II, que estaria plenamente implementado no Brasil apenas em 2034, pode manter o atraso em relação aos EUA e Europa.
	Possível isolamento do agricultor pequeno devido ao encarecimento da cadeia, como ocorreu no Chile
	O MAR-II foca no controle da emissão de poluentes (e não da emissão de GEE), os quais afetam a saúde humana. Porém, entende-se que isto não é uma questão relevante no campo devido a grandes distâncias dos principais centros urbanos.
	Contribuição do MAR-II à descarbonização e aos esforços contra o aquecimento global é reduzida (limitada à maior eficiência dos motores).
	Investimentos e custo adicional para a migração de MAR-I para MAR-II são elevados, e se somam aos investimentos (também necessários) para viabilizar a descarbonização; Disponibilidade e custo de capital são obstáculos a tocar duas frentes de inovação, e custo final aos operadores também.

Elaboração: LCA Consultores.

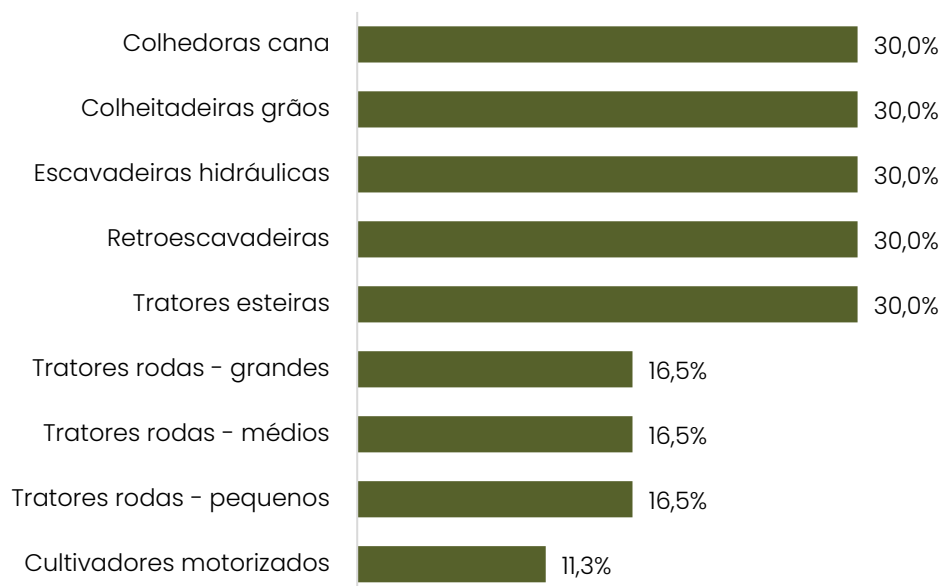
Com o intuito de analisar os possíveis impactos que a implementação do MAR-II pode gerar no setor de máquinas agrícolas, a LCA confeccionou um questionário para coletar as respostas das empresas representadas pela Abimaq. As informações são apresentadas a seguir:

Gráfico 2 – Peso médio no preço final, em %, do custo com motores, em cada um dos tipos de equipamentos



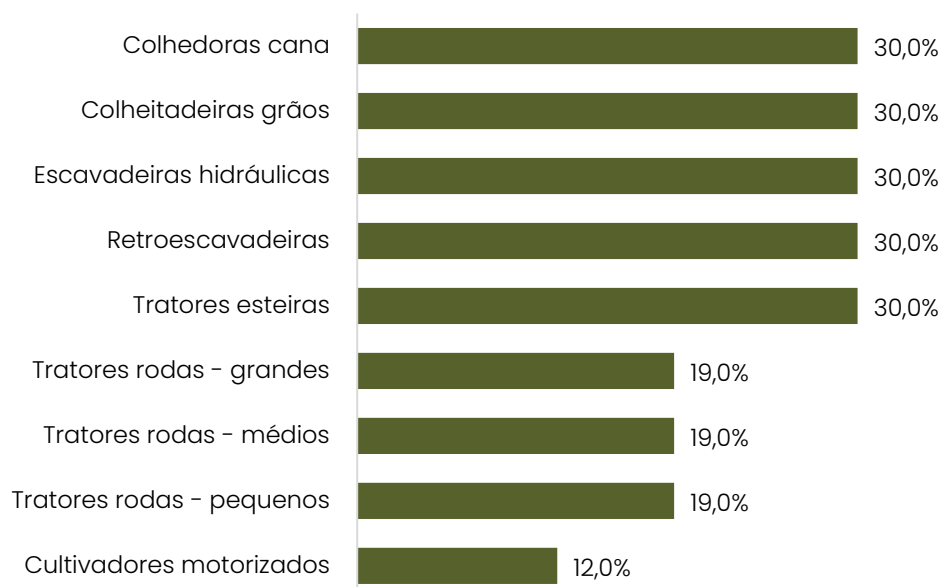
Fonte: ABIMAQ/DEEE.

Gráfico 3 – Peso médio no preço final, em %, do custo com Sistemas de pós-tratamento, em cada um dos tipos de equipamentos



Fonte: ABIMAQ/DEEE.

Gráfico 4 – Peso médio no preço final, em %, do custo com Sistemas SCR –catalisador, em cada um dos tipos de equipamentos



Fonte: ABIMAQ/DEEE.

Gráfico 5 – Impacto no preço final da migração do protocolo MAR-I (TIER 3/STAGE IIIA) para o MAR-II (TIER 4F/STAGE V), em termos de variação %



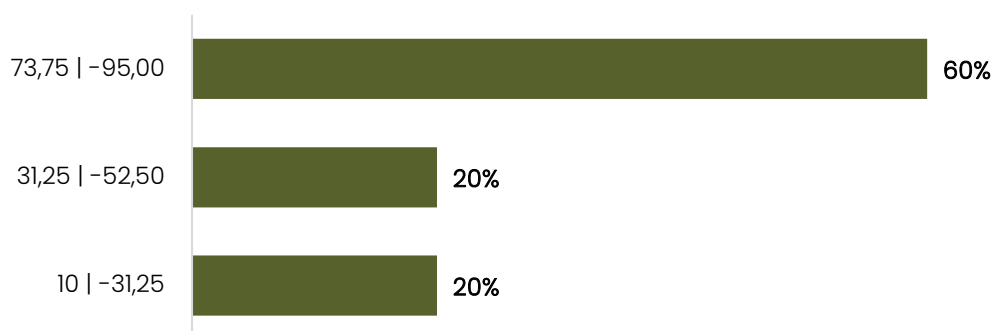
Fonte: ABIMAQ/DEEE.

Gráfico 6 – Média do aumento do custo operacional (DIESEL, ARLA e manutenção) decorrente da migração do protocolo MAR-I para o MAR-II (%)



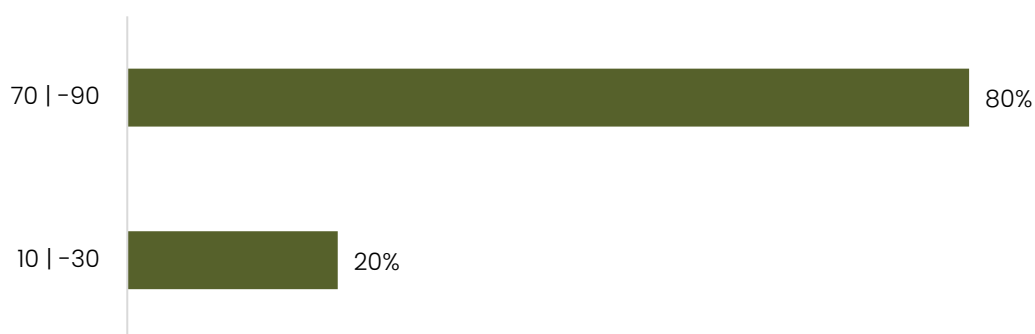
Fonte: ABIMAQ/DEEE.

Gráfico 7 – Redução média de emissões de Material Particulado na mudança de MAR-I para MAR-II



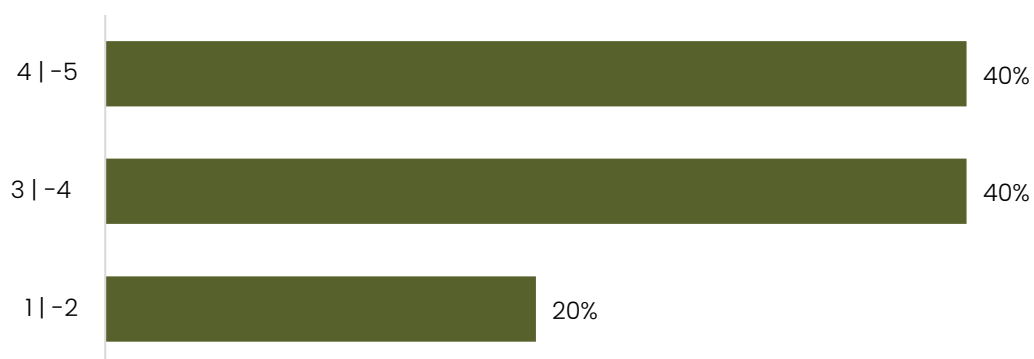
Fonte: ABIMAQ/DEEE.

Gráfico 8 – Redução média de emissões de NOx na mudança de MAR-I para MAR-II (Var.%)



Fonte: ABIMAQ/DEEE.

Gráfico 9 – Redução média de consumo de diesel (ganho de eficiência) com os motores MAR-II em comparação ao MAR-I (Var.%)



Fonte: ABIMAQ/DEEE.

Numa grande síntese, o levantamento indica que: i) a tecnologia MAR-II de fato tende a gerar uma redução expressiva da emissão de poluentes e, em menor grau, de GEE; ii) o preço dos equipamentos tende a se elevar entre 15% e 25% por conta da migração de MAR-I para MAR-II; iii) a despeito da maior eficiência dos motores MAR-II, o custo operacional tende a se elevar em algo entre 9% e 20%, por conta da utilização do diesel S10 (mais caro que o S500) e do ARLA-32.

4. Biocombustíveis

Como abordado anteriormente, o uso de biocombustíveis é visto como uma alternativa ao estabelecimento do MAR-II no Brasil, com destaque para o etanol e o biometano. De acordo com um estudo elaborado por uma empresa do setor¹⁰, o motor a etanol se destaca por viabilizar a redução de material particulado e fuligem quando comparado ao diesel, além de ser possível separar seus efeitos relacionados ao NOx segundo o tipo de motor.

De acordo com estudo de uma empresa do setor^[12], os motores dual-fuel (diesel piloto + injeção de etanol) reduzem a emissão de NOx, conforme a mistura dos combustíveis, chegando a níveis equivalentes ou menores comparados ao MAR-I; este resultado torna-se ainda melhor com a inserção do sistema de pós-tratamento simplificado (DOC+DPF leve), permitindo que a redução de NOx atinja os padrões do Stage V. Já a opção de 100% etanol permite o controle de emissões a partir de um catalisador de três vias (TWC) e uma queima quase isenta de partículas sólidas, sendo a melhor opção para diminuir as emissões a partir deste biocombustível ^[12].

Outra opção é o biometano que, devido à sua capacidade de queima completa,

¹⁰ Estudo comparativo entre normas regulatórias de emissões PROCONVE MAR-I vs. EU Stage V ^[12].

é capaz de reduzir as emissões de HC e NOx, bem como praticamente anular a formação de material particulado. O seu pós-tratamento também é realizado a partir do TWC (em vez do sistema DPF+SCR), resultando em emissões menores ao estipulado pelo *Stage V*. No entanto, é importante salientar que algumas das empresas entrevistadas destacam que a solução via biometano é ainda muito incipiente, sobretudo em termos da disponibilidade e capacidade de distribuição do produto.

A seguir, encontram-se os quadros elaborados pelo estudo mencionado acima. Os Quadros 1 e 2 resumem os efeitos dos motores a etanol e a biometano nas emissões em comparação a utilização do diesel, e o Quadro 3 compara os padrões MAR-I e *Stage V* com o uso de combustíveis alternativos.

Quadro 1 – Comparativo entre emissões de motor a etanol e a diesel

Componente	Comparativo emissão vs. Diesel	Comentários
CO	Leve aumento	Combustão parcial em mistura rica
HC	Aumento	Presença de combustível não queimado e aldeídos
NOx	Redução leve	Menor temperatura de pico de combustão
PM	Grande redução	Menor carbono elementar na queima
PN	Grande redução	Combustão mais limpa e homogênea

Fonte: [12] JACTO. Elaboração: LCA Consultores.

Quadro 2 – Comparativo entre emissões de motor a biometano e a diesel

Componente	Comparativo emissão vs. Diesel	Comentários
CO	Redução acentuada	Combustão mais homogênea e catalisador de três vias
HC	Redução moderada	Queima mais completa do gás
NOx	Redução expressiva	Menor temperatura de combustão e controle TWC
PM	Quase zero	Ausência de fuligem sólida
PN	Quase zero	Sem partículas ultrafinas na queima
CO ₂	Redução de até 15%	Menor carbono por unidade de energia e origem renovável

Fonte: [12] JACTO. Elaboração: LCA Consultores.

Quadro 3 – Comparativo geral entre todas as alternativas de emissões

Combustível / Norma	PM / PN	NOx	HC / CO	Sistema pós- tratamento	Complex.	Conformidade ambiental
MAR-I	Alto	Médio- Alto	Baixo	Nenhum	Baixa	Parcial
Stage V	Muito baixo	Muito baixo	Muito baixo	DOC + DPF + SCR	Alta	Total
Etanol (dual-fuel)	Baixo	Baixo	Médio	DOC + DPF leve	Média	Alta
Etanol (Otto)	Muito baixo	Baixo	Médio	Catalisador TWC	Média- baixa	Alta
Biometano (Otto)	Quase zero	Muito baixo	Muito baixo	Catalisador TWC	Baixa	Total

Fonte: [12] JACTO. Elaboração: LCA Consultores.

Seguindo a metodologia utilizada no balanço de prós e contras da implementação do MAR-II, foi possível também elaborar, a partir dos aspectos destacados das entrevistas, um balanço sobre a utilização de combustíveis alternativos no setor em comparação ao atendimento das normas necessárias para o MAR-II.

Tabela 8 – Balanço sobre os biocombustíveis no setor agrícola

Prós	Contras
Brasil já possui experiência com biocombustíveis em outras cadeias	Motores a etanol podem emitir mais poluentes em relação ao motor do diesel
Etanol: expansão do etanol de milho facilita o alcance do biocombustível para várias regiões	Alternativa de longo prazo, visto que ainda é necessário resolver questões de logística, disponibilidade de insumos e cadeia de distribuição
Barateamento do Opex nos casos em que a empresa é autoprodutora de biocombustível	O desenvolvimento de combustíveis alternativos é paralelo ao desenvolvimento de uma cadeia MAR-II. Dificilmente uma empresa teria escala para desenvolver as duas frentes
Máquinas movidas a etanol podem ser convertidas para utilizarem metanol	Biodiesel: necessita de um controle de qualidade rigoroso para evitar a proliferação de bactérias e formação de borras
Possibilidade de uso dual-fuel, em que a combustão base é o diesel com injeção de etanol como substituidor	NOx dissipado no ambiente pelo diesel é menor em relação ao dissipado pelo etanol
	O uso de etanol e biometano elimina a emissão de particulados, mas o NOx continua sendo um obstáculo. Para controlá-lo, também seria necessário o uso do Arla-32 (que traria complexidade e custos)

Elaboração: LCA Consultores.

5. Considerações finais

A análise desenvolvida ao longo deste relatório revela um quadro de tensão legítima entre dois imperativos igualmente válidos: a urgência ambiental e de saúde pública que sustenta a adoção do PROCONVE MAR-II, e as restrições econômicas, tecnológicas e operacionais que tornam sua implementação imediata e integral um desafio considerável para parcela relevante do setor produtivo nacional.

O diagnóstico é claro: a norma MAR-I encontra-se tecnicamente defasada, com o Brasil acumulando atraso regulatório em relação não apenas a Estados Unidos e União Europeia, mas também a China, Índia e Colômbia.

Ao mesmo tempo, o salto direto para os padrões equivalentes ao *Tier 4 Final* ou *Stage V*, sem as condições estruturais necessárias — cadeia de ARLA-32 consolidada, disponibilidade de diesel S10 em todas as localidades do país, capacidade produtiva local de componentes de pós-tratamento e suporte técnico ao usuário final —, carrega riscos de descontinuidade industrial, encarecimento abrupto da mecanização agropecuária e exclusão de pequenos produtores rurais.

Nesse cenário, este estudo propõe a consideração de um caminho intermediário — denominado aqui como MAR-“1,5” —, concebido como uma etapa de transição regulatória que atenua o salto abrupto entre o MAR-I e o MAR-II pleno.

Essa proposta não constitui um recuo ambiental, mas sim uma estratégia pragmática de gradualismo regulatório que reconhece as assimetrias setoriais do mercado brasileiro e busca maximizar os ganhos ambientais efetivamente realizáveis no curto e médio prazos, sem comprometer a trajetória de longo

prazo em direção aos padrões *Tier 4 Final / Stage V*.

O MAR-“1,5” estruturar-se-ia sobre quatro eixos fundamentais. O primeiro consiste na adoção de limites mais restritivos de emissão de forma sequencial. Em um primeiro momento, o foco recairia sobre os parâmetros de material particulado (MP), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) – poluentes cujo controle é tecnicamente mais acessível com tecnologias já disponíveis, como o DOC e o DPF, e cuja redução produz impacto sobre a saúde humana mais direto, sem exigir o uso obrigatório de ARLA-32. Essa priorização suprime a principal barreira operacional e logística associada à implementação plena do MAR-II.

Sequencialmente, as restrições para a emissão de NOx seriam escalonadas, dado que a redução efetiva desse poluente requer o uso do SCR e, conseqüentemente, do ARLA-32 – insumo cujo mercado no segmento de máquinas agrícolas e rodoviárias ainda não conta com uma rede de distribuição consolidada em todo o território nacional.

O MAR-“1,5” estabeleceria, assim, um limite intermediário de NOx – mais restritivo que o MAR-I, mas menos exigente que o MAR-II pleno –, com previsão normativa de revisão e apertamento progressivo à medida que a cobertura logística do ARLA-32 fosse comprovada. Esse mecanismo de condicionamento regulatório a indicadores de infraestrutura já encontra precedentes em experiências internacionais e representa uma salvaguarda contra o risco de burla sistêmica ao SCR – problema que compromete a efetividade dessa norma.

Uma segunda prescrição diz respeito ao tratamento diferenciado por segmento de uso e porte de máquina. Os dados de inventário de emissões do setor indicam que as máquinas de maior potência (acima de 130 kW) concentram a maior parte das emissões absolutas de NOx e MP, enquanto as máquinas de

menor potência (abaixo de 75 kW) respondem por menor impacto ambiental agregado, mas apresentam maior impacto proporcional do custo tecnológico sobre o preço final.

Nesse contexto, o MAR-“1,5” poderia: (i) aplicar imediatamente os novos limites intermediários às máquinas de grande porte, onde o benefício ambiental é maior e o impacto econômico relativo é menor; (ii) conceder prazos mais dilatados para as máquinas de médio porte, condicionados à consolidação da cadeia produtiva nacional de componentes de pós-tratamento; e (iii) adotar, para as máquinas de pequeno porte operando exclusivamente em contexto rural remoto — longe de centros urbanos e populações densas —, um regime transitório mais flexível. Esse tratamento assimétrico não implica permissividade estrutural, mas ajuste de prioridades baseado em evidências de impacto.

No tocante à competitividade internacional e ao desenvolvimento da cadeia produtiva doméstica, a norma intermediária forçaria a indústria nacional a iniciar o processo de desenvolvimento tecnológico e a construção de cadeias produtivas domésticas para os sistemas DOC e DPF. Esse aprendizado industrial é condição necessária para a subsequente migração ao MAR-II pleno, evitando o risco de o Brasil “pular” diretamente para uma tecnologia cuja curva de aprendizado ainda não foi percorrida pela cadeia local.

Além disso, máquinas produzidas no Brasil com certificação MAR-“1,5” poderiam ampliar o acesso a mercados que, embora ainda não adotem o *Stage V*, já evoluíram além do MAR-I — como certos países da América Latina e da África —, sem incorrer nos custos plenos do MAR-II para exportação.

Uma outra prescrição envolveria a definição de uma política ativa de renovação de frota, cuja importância estratégica não pode ser subestimada. Como demonstrado ao longo deste estudo, cerca de 80% da frota de máquinas

agrícolas e rodoviárias em operação no Brasil ainda opera sob padrões anteriores ao MAR-I, o que evidencia a lentidão estrutural do processo de substituição de equipamentos nesse setor.

Mesmo com a implementação de normas de emissões mais restritivas para máquinas novas, seus efeitos sobre as emissões totais do setor serão necessariamente lentos, podendo levar décadas para se materializarem plenamente.

Nesse contexto, uma política governamental ativa de indução à renovação de frota de equipamentos agrícolas — por meio de instrumentos como financiamento subsidiado, incentivos fiscais, programas de sucateamento ou linhas de crédito rurais diferenciadas — poderia acelerar significativamente a redução das emissões no curto e médio prazos, complementando os ganhos proporcionados pela adoção de padrões mais restritivos para os equipamentos novos.

Ademais, os equipamentos pré-MAR-I apresentam elevado grau de defasagem tecnológica, não apenas sob a perspectiva ambiental, mas também do ponto de vista de eficiência produtiva. A substituição desses equipamentos por máquinas mais modernas representaria, portanto, um duplo dividendo: redução das emissões de poluentes e aumento da produtividade agrícola, contribuindo para a competitividade do agronegócio brasileiro e para a renda dos produtores rurais.

É importante destacar que o MAR-“1,5” não constitui uma alternativa ao MAR-II, mas sim um trampolim regulatório em sua direção. A proposta é que a norma intermediária já estabeleça, em seu próprio texto, uma cláusula de revisão compulsória — vinculada a indicadores mensuráveis de cobertura de ARLA-32, disponibilidade de diesel S10 e capacidade produtiva nacional de pós-

tratamento —, garantindo que a progressão ao MAR-II pleno ocorra de maneira previsível, transparente e juridicamente vinculante. Essa arquitetura regulatória reduz a incerteza para os fabricantes, que podem planejar seus investimentos em inovação com maior horizonte temporal, ao mesmo tempo em que assegura ao poder público e à sociedade que os ganhos ambientais avançarão de forma contínua, e não ficarão indefinidamente paralisados em um patamar intermediário.

A experiência internacional ampara essa abordagem. A própria trajetória regulatória dos Estados Unidos e da União Europeia foi construída por meio de fases sucessivas e progressivas — do *Tier 1* ao *Tier 4 Final*, do *Stage I* ao *Stage V* —, cada uma delas calibrada às condições tecnológicas e industriais do momento, sem abrir mão da direção estratégica de longo prazo. O Brasil, ao contrário, implementou o MAR-I em 2011 e permaneceu estagnado por mais de uma década, acumulando um atraso que hoje torna qualquer transição mais custosa e disruptiva. O MAR-“1,5” seria, em essência, a correção de trajetória que o país deveria ter promovido de maneira mais gradual ao longo dos anos 2010: um passo significativo, porém calibrado, que combina rigor ambiental com responsabilidade econômica e social.

Em síntese, este estudo recomenda que as discussões em curso no âmbito do Governo Federal — entre o MMA, o MDIC e os demais atores da cadeia produtiva — contemplem seriamente a alternativa do MAR-“1,5” como um instrumento de política regulatória que balanceia, simultaneamente, o compromisso ambiental do Brasil, a competitividade da indústria nacional de máquinas, a proteção dos pequenos produtores rurais e a saúde das populações expostas às emissões dessas máquinas.

Esse conjunto de recomendações deveria ser acompanhado de uma política ativa de renovação de frota, capaz de acelerar os ganhos ambientais e

produtivos independentemente do cronograma de implementação dos novos padrões de emissão. A adoção de um “caminho do meio” não é sinal de fraqueza regulatória; é, antes, o reconhecimento de que a melhor política ambiental é aquela que se implementa de fato — e não aquela que, por ser excessivamente ambiciosa, encontra resistências que a tornam inócua ou que geram distorções de mercado difíceis de reverter. O momento é propício: o debate está aberto, a demanda social por melhor qualidade do ar é crescente e o setor produtivo, em grande medida, sinaliza disposição de avançar — desde que o faça em bases realistas e com previsibilidade regulatória.

6. Referências

- [1] ABRANTES, R. D.; FORCETTO, A. L. S.; "Os benefícios ambientais da adoção do próximo passo de controle de emissões de poluentes para máquinas agrícolas e rodoviárias no Brasil", p-297-300. In: Anais do XXXI Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva . São Paulo: Blucher, 2024. ISSN 23577592, DOI 10.5151/simea2024-PAP60.
- [2] AFEEVAS (2024) "Inventario Preliminar de Emisiones de Maquinaria Agrícola y Vial". Disponível em: <https://programacalac.com/wp-content/uploads/2024/07/24-Eduardo-Oliveira-Inventario-Emissoes-NRMM.pdf>.
- [3] ABIMAQ. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. Relatório setorial: máquinas e equipamentos – janeiro de 2026. 2026. Disponível em: <https://abimaq.org.br/wp-content/uploads/2026/03/2026030681141001774898911.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2026.
- [4] ANATC. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE CARGAS. ANP desiste de prazo para fim do diesel S500 e opta por monitoramento. 6 set. 2025.

Disponível em: <https://anac.com.br/anp-desiste-de-prazo-para-fim-do-diesel-s500-e-opta-por-monitoramento/> . Acesso em: 2 abr. 2026.

[5] ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Óleo diesel S500: infográfico. 26 fev. 2026. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/infograficodieselS500_26_02_26.pdf . Acesso em: 2 abr. 2026.

[6] ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. ANP faz estudo sobre descontinuidade dos óleos diesel S500 e S1800. 8 set. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canal_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/anp-faz-estudo-sobre-descontinuidade-dos-oleos-diesel-s500-e-s1800. Acesso em: 2 abr. 2026.

[7] BURSZEIN, Valéria. Frete global e volatilidade redesenham o mercado de Arla 32 no Brasil. Transporte Moderno, 27 jan. 2026. Disponível em: <https://transportemoderno.com.br/2026/01/27/frete-global-e-volatilidade-redesenham-o-mercado-de-arla-32-no-brasil/> . Acesso em: 2 abr. 2026.

[8] CASTRO, Bruno. Mercado ilegal prejudica indústria de Arla 32. Investing.com Brasil, 2025. Disponível em: <https://br.investing.com/analysis/mercado-ilegal-prejudica-industria-de-arla-32-200474342> . Acesso em: 2 abr. 2026.

[9] CHILE. Ley Nº 21.325, de 2021. Establece la Ley de Migración y Extranjería. Disponível em: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1166850&idVersion=2021-10-21>. Acesso em: 2 abr. 2026.

[10] CHILE. Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 33, de 21 de outubro de 2024.

Prorroga el plazo para la entrada en vigencia de norma de emisión para maquinarias móviles, específicamente aplicable para tractores, cosechadoras y maquinaria móvil menor. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Santiago, 2024. Disponível em: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1207629>. Acesso em: 6 abr. 2026.

[11] IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Cartilha de conscientização pública do uso do ARLA 32. Brasília: IBAMA, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/arquivos/cartilha-arla-32.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2026.

[12] JACTO. Estudo comparativo entre normas regulatórias de emissões: PROCONVE MAR-I vs. EU Stage V. Pompéia, SP: Jacto, 2025.

[13] PETROBRAS. FAFENs Bahia e Sergipe entram em operação e reforçam produção nacional de fertilizantes. 13 jan. 2026. Disponível em: <https://agencia.petrobras.com.br/w/fafens-bahia-e-sergipe-entram-em-opera%C3%A7%C3%A3o-e-refor%C3%A7am-produ%C3%A7%C3%A3o-nacional-de-fertilizantes>. Acesso em: 2 abr. 2026.

[14] RUDDY, Gabriela. Retorno da Petrobras à produção de ureia garante disponibilidade e pode reduzir fraudes, diz Argus. Eixos, 30 dez. 2025. Disponível em: <https://eixos.com.br/empresas/retorno-da-petrobras-a-producao-de-ureia-garante-disponibilidade-e-pode-reduzir-fraudes-diz-argus/>. Acesso em: 2 abr. 2026.

[15] SOCIEDAD NACIONAL DE AGRICULTURA (SNA). SNA advierte que normativa ambiental encarecerá un 20% recambio de tractores. 2024. Disponível em: <https://www.sna.cl/2024/08/05/sna-advier-te-que-normativa-ambiental-encarecera-un-20-recambio-de-tractores/>. Acesso em: 2 abr. 2026.



www.lcaconsultores.com.br