

Emissões de Material Particulado (MP) e de Óxidos de Nitrogênio (NO_x) da frota de veículos a Diesel:

Efeitos decorrentes do não atendimento da Resolução Conama 315/02 (Diesel) e das medidas propostas

**André Luís Ferreira
Carmen Araujo
David Tsai**

São Paulo, Outubro de 2008

1. Metodologia de Cálculo

$$E_{\text{poluente, ano}} = \sum_{\text{ano-modelo}} (Fe \times Fd \times Fr \times C)$$

- ***E***: emissão de poluente;
- ***Fe***: fator de emissão para veículos novos, em $\text{kg}_{\text{poluentes}}/\text{kg}_{\text{diesel}}$;
- ***Fd***: fator de deterioração para veículos em uso;
- ***Fr***: frota de veículos;
- ***C***: consumo/demanda de óleo Diesel.

- ANFAVEA/Montadoras
- ANP
- CETESB
- IBAMA
- Ministério do Meio Ambiente
- Petrobras
- Ministério Público Federal
- Instituto de Energia e Meio Ambiente

- ▶ **Evolução da frota e sua composição;**
- ▶ **Projeção de vendas de veículos novos;**
- ▶ **Fatores de Emissão e de Deterioração para as diferentes fases (g/kWh, g/kg_{diesel}).**
- ▶ **Intensidade de uso (km_{anual}).**

- ▶ Para o cálculo da frota ano a ano (1957 a 2008), foram considerados os dados de licenciamento de veículos novos a diesel para cada ano desagregados em ônibus, comerciais leves e caminhões, e aplicada uma **taxa de sobrevivência** em função da idade desses veículos.
- ▶ Para o cálculo da frota de 2008 a 2040, estimou-se as vendas futuras e aplicou-se a mesma taxa de sobrevivência.

Dados de licenciamento de veículos novos

- ▶ Para o período de 1957 a 2007, foram considerados para cálculo da frota os dados de licenciamentos de veículos novos fornecidos pelo Denatran, disponíveis tanto no Anuário como na Carta da ANFAVEA de janeiro de 2008 (referentes a 2007). Para 2008, foram obtidos os dados de licenciamentos até setembro e foi feita a projeção para os meses faltantes desse período.

	Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves
1957	8106	1904	-
1958	11313	3333	-
1959	10100	2830	466
1960	9742	3422	310
1961	5714	2850	4
1962	7403	3193	538
1963	5977	2299	1489
1964	5482	2553	2222
1965	6759	2927	979
1966	10334	3609	859
1967	10007	4765	648
1968	15058	6995	921
1969	16875	5621	914
1970	21100	4100	589
1971	21771	4304	504
1972	30441	4205	589
1973	38930	6333	573
1974	42048	7070	545
1975	53551	8780	726
1976	66762	10972	1449
1977	88373	12012	2614
1978	78372	11859	4315
1979	77526	11524	15870
1980	81350	11532	19686
1981	54819	9171	34889
1982	40217	8042	43983
1983	32322	6575	28638
1984	40189	5983	29183
1985	53748	7141	26169
1986	70236	8488	27421
1987	55795	10068	23759
1988	54769	12968	36042
1989	48069	9485	43612
1990	41186	10091	36415
1991	41338	16865	34913
1992	25594	13706	29732
1993	38317	11396	51417
1994	52326	12595	60132
1995	58725	17368	53898
1996	42134	15518	43521
1997	54931	14862	70857
1998	52768	15761	76465
1999	50665	10679	62433
2000	69092	16439	83062
2001	73517	16578	80432
2002	66484	16790	64341
2003	68121	17413	54729
2004	85729	16982	66247
2005	80334	15370	77446
2006	76258	19768	82954
2007	98498	23198	92175
2008	118976	27042	128607

Projeção de vendas de veículos diesel novos

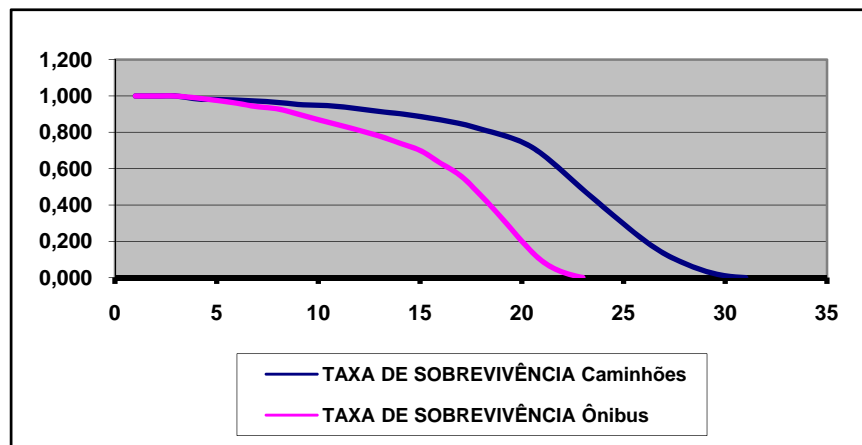
- ▶ A estimativa de vendas apresentada baseou-se em um estudo sobre competitividade do setor automobilístico no Brasil feito pela Pricewaterhouse Coopers no início de 2008 (estudo encomendado em 2006 pela Anfavea, contemplando um horizonte de 10 anos). Foram identificadas variáveis que impactam diretamente a venda de veículos, como PIB, rentabilidade agrícola, taxa de juros, taxa de risco país. A partir desse estudo, foram adotadas estimadas as vendas futuras de veículos novos (2009-2046).

Taxa de Crescimento de Vendas (Anual)		
Caminhões	Ônibus	Com Leves
2,20%	1,70%	2,20%

	Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves
2009	121593	27502	131436
2010	124269	27969	134328
2011	127002	28445	137283
2012	129796	28928	140303
2013	132652	29420	143390
2014	135570	29920	146545
2015	138553	30429	149769
2016	141601	30946	153064
2017	144716	31472	156431
2018	147900	32007	159872
2019	151154	32551	163390
2020	154479	33105	166984
2021	157878	33668	170658
2022	161351	34240	174412
2023	164901	34822	178249
2024	168529	35414	182171
2025	172236	36016	186179
2026	176025	36628	190275
2027	179898	37251	194461
2028	183856	37884	198739
2029	187901	38528	203111
2030	192034	39183	207579
2031	196259	39849	212146
2032	200577	40527	216813
2033	204990	41216	221583
2034	209499	41916	226458
2035	214108	42629	231440
2036	218819	43354	236532
2037	223633	44091	241736
2038	228553	44840	247054
2039	233581	45602	252489
2040	238720	46378	258044
2041	243971	47166	263721
2042	249339	47968	269523
2043	254824	48783	275452
2044	260430	49613	281512
2045	266160	50456	287705
2046	272015	51314	294035

Taxas de sobrevivência de veículos

- ▶ Utilizada tabela gerada a partir de dados estatísticos de estudos do GEIPOT específicos para caminhões e ônibus. Para comercial leve foi adotada a mesma taxa de sobrevivência de caminhões.



TAXA DE SOBREVIVÊNCIA		
ANO	Caminhões	Ônibus
1	1,000	1,000
2	1,000	1,000
3	1,000	1,000
4	0,984	0,989
5	0,981	0,976
6	0,977	0,960
7	0,973	0,941
8	0,965	0,929
9	0,953	0,900
10	0,949	0,870
11	0,942	0,840
12	0,930	0,810
13	0,914	0,780
14	0,903	0,740
15	0,887	0,700
16	0,868	0,630
17	0,848	0,560
18	0,817	0,450
19	0,786	0,330
20	0,747	0,200
21	0,680	0,090
22	0,584	0,030
23	0,486	0,000
24	0,389	
25	0,296	
26	0,206	
27	0,132	
28	0,078	
29	0,036	
30	0,010	
31	0,000	

Fatores de emissão de motores para veículos pesados do ciclo Diesel em g/kWh

FASE PROCONVE	CO	HC	NO _x	MP
I e II	1,86	0,68	10,7	0,66
III	1,62	0,54	6,55	0,318
IV	0,85	0,29	6,16	0,12
V	0,86	0,17	4,67	0,08
VI	1,500	0,460	3,150	0,018
VII	1,500	0,460	1,800	0,018

Fonte: CETESB

Os valores dos fatores de emissão das fases I a V correspondem à média aritmética dos valores obtidos no processo de homologação.

Considerou-se que os valores dos fatores de emissão das fases VI e VII correspondem a 90% dos limites legais para estas fases, em função do observado nas fases anteriores

Fatores de emissão em $g_{\text{poluente}}/g_{\text{diesel}}$

- ▶ Para o cálculo dos fatores de emissão, em $g_{\text{poluente}}/g_{\text{diesel}}$, foram considerados os seguintes valores de consumo específico por fase:

Fases do PROCONVE	Consumo Específico ($g_{\text{diesel}}/\text{kWh}$)
FI + FII (E0)	225,000
FIII (E1)	218,000
FIV (E2)	210,000
P-5 (E3)	220,000
P-6 (E4)	210,000
P-7 (E5)	210,000

Intensidade de uso (km/ano): Hipóteses

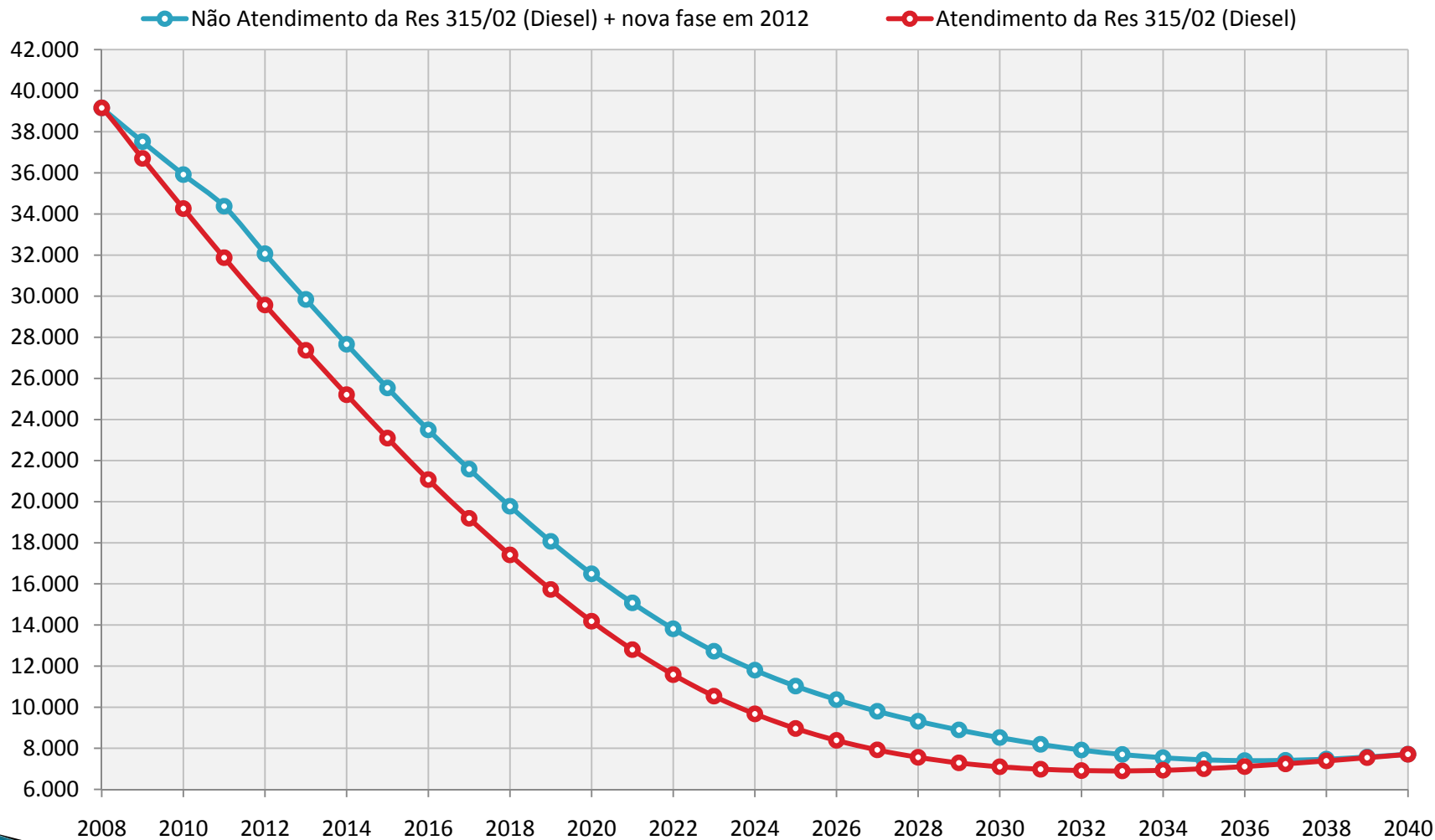
Os valores de intensidade de uso correspondem à média ponderada de valores estimados para cada categoria. Para a ponderação, utilizou-se a participação relativa destas categorias, obtidas a partir do RENAAM 2006.

Os valores foram, então, ajustados pelo consumo de diesel rodoviário informado no Balanço Energético Nacional Ano Base 2006, obtendo-se:

<i>Caminhões:</i>	<i>51500</i>	<i>km/ano</i>
<i>Ônibus:</i>	<i>73500</i>	<i>km/ano</i>

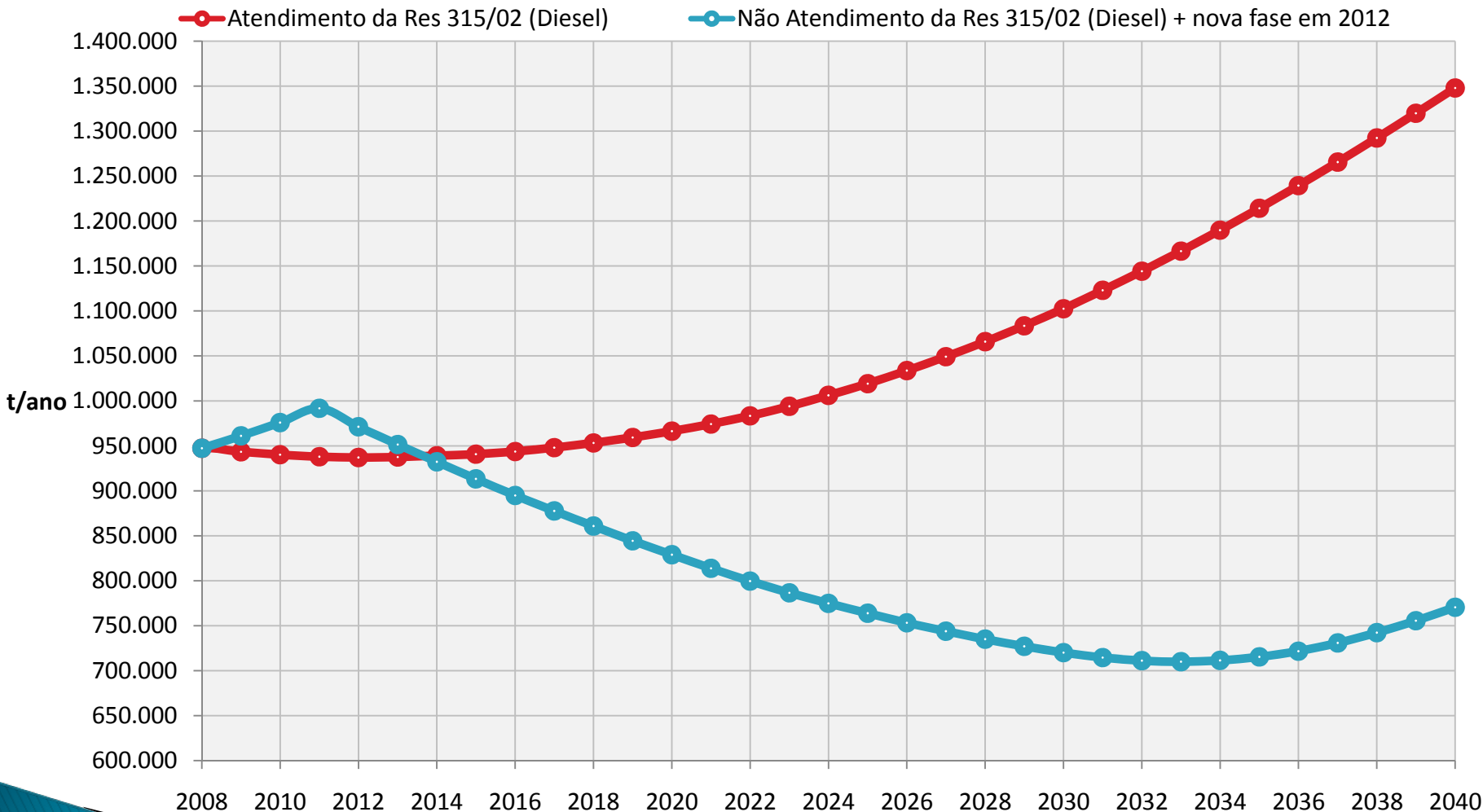
2. Estimativa de emissões de MP e NO_x que deixarão de ser abatidas pelos veículos diesel Cenário: Não atendimento da Res 315/02 (Diesel) e entrada de nova fase em 2012

Evolução e Projeção das Emissões de Material Particulado



2. Estimativa de emissões de MP e NO_x que deixarão de ser abatidas pelos veículos diesel Cenário: Não atendimento da Res 315/02 (Diesel) e entrada de nova fase em 2012

Evolução e Projeção das Emissões de Óxidos de Nitrogênio



2. Estimativa de emissões de MP e NO_x que deixarão de ser abatidas pelos veículos diesel

Cenário: Não atendimento da Res 315/02 (Diesel) e entrada de nova fase em 2012

	MP [t/ano]	NOx [t/ano]
2009	818	17.610
2010	1.652	35.591
2011	2.505	53.952
2012	2.493	34.190
2013	2.476	13.927
2014	2.454	-
2015	2.439	-
2016	2.421	-
2017	2.396	-
2018	2.368	-
2019	2.339	-
2020	2.310	-
2021	2.272	-
2022	2.230	-
2023	2.184	-
2024	2.130	-

2. Estimativa de emissões de MP e NO_x que deixarão de ser abatidas pelos veículos diesel

Cenário: Não atendimento da Res 315/02 (Diesel) e entrada de nova fase em 2012

	MP [t/ano]	NOx [t/ano]
2026	1.979	-
2027	1.878	-
2028	1.754	-
2029	1.605	-
2030	1.422	-
2031	1.214	-
2032	1.002	-
2033	801	-
2034	610	-
2035	434	-
2036	285	-
2037	169	-
2038	86	-
2039	32	-
2040	7	-

3. Estimativa do Impacto das Medidas Propostas Previamente Quantificáveis

Efeito do Teor de Enxofre nas Emissões de MP: Metodologias de Cálculo

- A) Valores obtidos em testes efetuados com motores P4 e P5 utilizando Diesel S2000, S1800 e S50 (*Nota Técnica do MME, 2008*).
- B) Cálculo de sulfatos particulados a partir do *Worldwide Fuel Charter, 2006* (*Nota Técnica da CETESB, 2008*).

$$BSSO_4 = BSFC \times \frac{FSC}{100} \times \frac{PCSC}{100} \times 7$$

$BSSO_4$ = Emissão específica de sulfatos (g_{sulfatos}/kWh)

BSFC = Consumo específico (g_{diesel}/kWh)

FSC = Teor de enxofre no diesel (%)

PCSC = Percentual de conversão de S para sulfatos (tipicamente 1)

7 = Fator de aumento de peso pela adsorção de água de S para (SO_4 + água)

Efeito do Teor de Enxofre nas Emissões de MP: Fatores de Redução de Emissões

	S2000 → S1800		S2000 → S500		S500 → S50	
	Nota Técnica MME (testes de motores)	Nota Técnica CETESB (WWFC)	Nota Técnica MME (testes de motores)	Nota Técnica CETESB (WWFC)	Nota Técnica MME (testes de motores)	Nota Técnica CETESB (WWFC)
P1 e P2	2,5%	0,49%	20,0%	3,66%	10,9%	1,14%
P3	2,5%	0,99%	20,0%	7,46%	10,9%	2,42%
P4	2,5%	2,57%	20,0%	19,29%	10,9%	7,17%
P5	2,5%	2,84%	20,0%	21,33%	10,9%	8,13%

Efeito do Teor de Enxofre nas Emissões de NOx: Fatores de Redução de Emissões

	S2000 → S1800		S2000 → S500		S500 → S50	
	Nota Técnica MME (testes de motores)	Nota Técnica CETESB (WWFC)	Nota Técnica MME (testes de motores)	Nota Técnica CETESB (WWFC)	Nota Técnica MME (testes de motores)	Nota Técnica CETESB (WWFC)
P1 e P2	1,4%	-	1,4%	-	1,4%	-
P3	1,4%	-	1,4%	-	1,4%	-
P4	1,4%	-	1,4%	-	1,4%	-
P5	1,4%	-	1,4%	-	1,4%	-

**Impacto das medidas propostas previamente quantificáveis pela Petrobras em MP (t/ano)
para veículos regulamentados pelo PROCONVE , *Brasil – Worldwide Fuel Charter***

Ano	Emissões Não Abatidas	Interior	RMs	Balanço	Ano	Emissões Não Abatidas	Interior	RMs	Balanço
2009	818	297	26	-495	2025	2.065	251	5	-1.808
2010	1.652	527	49	-1.077	2026	1.979	195	4	-1.781
2011	2.505	717	80	-1.707	2027	1.878	147	3	-1.728
2012	2.493	1.111	71	-1.310	2028	1.754	107	2	-1.645
2013	2.476	1.200	64	-1.212	2029	1.605	75	1	-1.529
2014	2.454	1.638	56	-760	2030	1.422	50	1	-1.371
2015	2.439	1.436	50	-954	2031	1.214	32	0	-1.182
2016	2.421	1.253	43	-1.125	2032	1.002	19	0	-983
2017	2.396	1.089	37	-1.270	2033	801	10	0	-791
2018	2.368	941	31	-1.396	2034	610	5	0	-605
2019	2.339	806	26	-1.507	2035	434	2	0	-432
2020	2.310	685	22	-1.603	2036	285	1	0	-285
2021	2.272	576	17	-1.679	2037	169	0	0	-169
2022	2.230	479	13	-1.738	2038	86	0	0	-85
2023	2.184	392	10	-1.782	2039	32	0	0	-32
2024	2.130	317	7	-1.805	2040	7	0	0	-7

Impacto das medidas propostas previamente quantificáveis pela Petrobras em MP (t/ano) para veículos regulamentados pelo PROCONVE , Brasil – Nota Técnica MME

Ano	Emissões Não Abatidas	Interior	RMs	Balanco	Ano	Emissões Não Abatidas	Interior	RMs	Balanco
2009	818	685	47	-86	2025	2.065	260	8	-1.798
2010	1.652	1.158	123	-371	2026	1.979	195	5	-1.779
2011	2.505	1.470	188	-848	2027	1.878	144	4	-1.730
2012	2.493	2.216	162	-115	2028	1.754	103	2	-1.648
2013	2.476	2.304	139	-33	2029	1.605	72	2	-1.532
2014	2.454	3.019	118	683	2030	1.422	48	1	-1.374
2015	2.439	2.519	101	181	2031	1.214	30	1	-1.184
2016	2.421	2.088	83	-250	2032	1.002	17	0	-984
2017	2.396	1.720	68	-608	2033	801	10	0	-791
2018	2.368	1.405	56	-908	2034	610	5	0	-605
2019	2.339	1.135	45	-1.159	2035	434	2	0	-432
2020	2.310	909	36	-1.365	2036	285	1	0	-285
2021	2.272	721	28	-1.524	2037	169	0	0	-169
2022	2.230	566	21	-1.644	2038	86	0	0	-85
2023	2.184	440	15	-1.729	2039	32	0	0	-32
2024	2.130	340	11	-1.779	2040	7	0	0	-7

Impacto da substituição dos óleos Diesel de uso ferroviário e agropecuário de S2000 para S1800, a partir de janeiro de 2009

Foi acordado entre Petrobras, ANFAVEA, CETESB, MPF, ANP e IBAMA que, para fins de simulação, fosse utilizado o fator de emissão correspondente à fase P3 do PROCONVE nas aplicações ferroviárias e agropecuárias.

Quanto ao fator de redução de MP devido à mudança no teor de enxofre acordou-se a adoção da equação proposta pelo Worldwide Fuel Charter, conforme segue:

$$BSSO_4 = BSFC \times \frac{FSC}{100} \times \frac{PCSC}{100} \times 7$$

$BSSO_4$ = Emissão específica de sulfatos (g_{sulfatos}/kWh)

BSFC = Consumo específico (g_{diesel}/kWh)

FSC = Teor de enxofre no diesel (%)

PCSC = Percentual de conversão de S para sulfatos (tipicamente 1)

7 = Fator de aumento de peso pela adsorção de água de S para (SO_4 + água)

Impacto da substituição dos óleos Diesel de uso ferroviário e agropecuário: S2000 para S1800 (MP em t/ano)

Ano	Ferrovário	Agropecuário		Ano	Ferrovário	Agropecuário
2009	9,5	82		2025	19,1	166
2010	10,0	87		2026	19,7	171
2011	10,6	92		2027	20,3	176
2012	11,2	97		2028	20,9	181
2013	11,8	102		2029	21,5	186
2014	12,4	107		2030	22,1	191
2015	13,0	112		2031	22,6	196
2016	13,6	118		2032	23,2	200
2017	14,2	123		2033	23,7	205
2018	14,8	128		2034	24,2	210
2019	15,4	134		2035	24,8	214
2020	16,1	139		2036	25,3	219
2021	16,7	144		2037	25,8	224
2022	17,3	150		2038	26,4	228
2023	17,9	155		2039	26,9	233
2024	18,5	160		2040	27,5	238

Balço Total de Medidas Propostas Previamente Quantificáveis (MP em t/ano)

- Medidas calculadas a partir do Worldwide Fuel Charter -

Ano	Emissões Não Abatidas	Medidas p/ diesel rodoviário	Medidas p/ diesel não rodoviário	BALANÇO
2009	818	322	91	-404
2010	1.652	576	97	-980
2011	2.505	797	102	-1.605
2012	2.493	1.182	108	-1.202
2013	2.476	1.264	114	-1.098
2014	2.454	1.694	119	-641
2015	2.439	1.486	125	-828
2016	2.421	1.297	131	-993
2017	2.396	1.126	137	-1.133
2018	2.368	972	143	-1.253
2019	2.339	832	149	-1.358
2020	2.310	707	155	-1.448
2021	2.272	594	161	-1.518
2022	2.230	492	167	-1.571
2023	2.184	402	173	-1.609
2024	2.130	325	179	-1.627

Ano	Emissões Não Abatidas	Medidas p/ diesel rodoviário	Medidas p/ diesel não rodoviário	BALANÇO
2025	2.065	257	185	-1.624
2026	1.979	199	190	-1.590
2027	1.878	150	196	-1.532
2028	1.754	109	202	-1.443
2029	1.605	76	208	-1.321
2030	1.422	51	213	-1.158
2031	1.214	32	218	-964
2032	1.002	19	224	-759
2033	801	10	229	-562
2034	610	5	234	-371
2035	434	2	239	-193
2036	285	1	244	-40
2037	169	0	249	81
2038	86	0	255	169
2039	32	0	260	228
2040	7	0	266	259

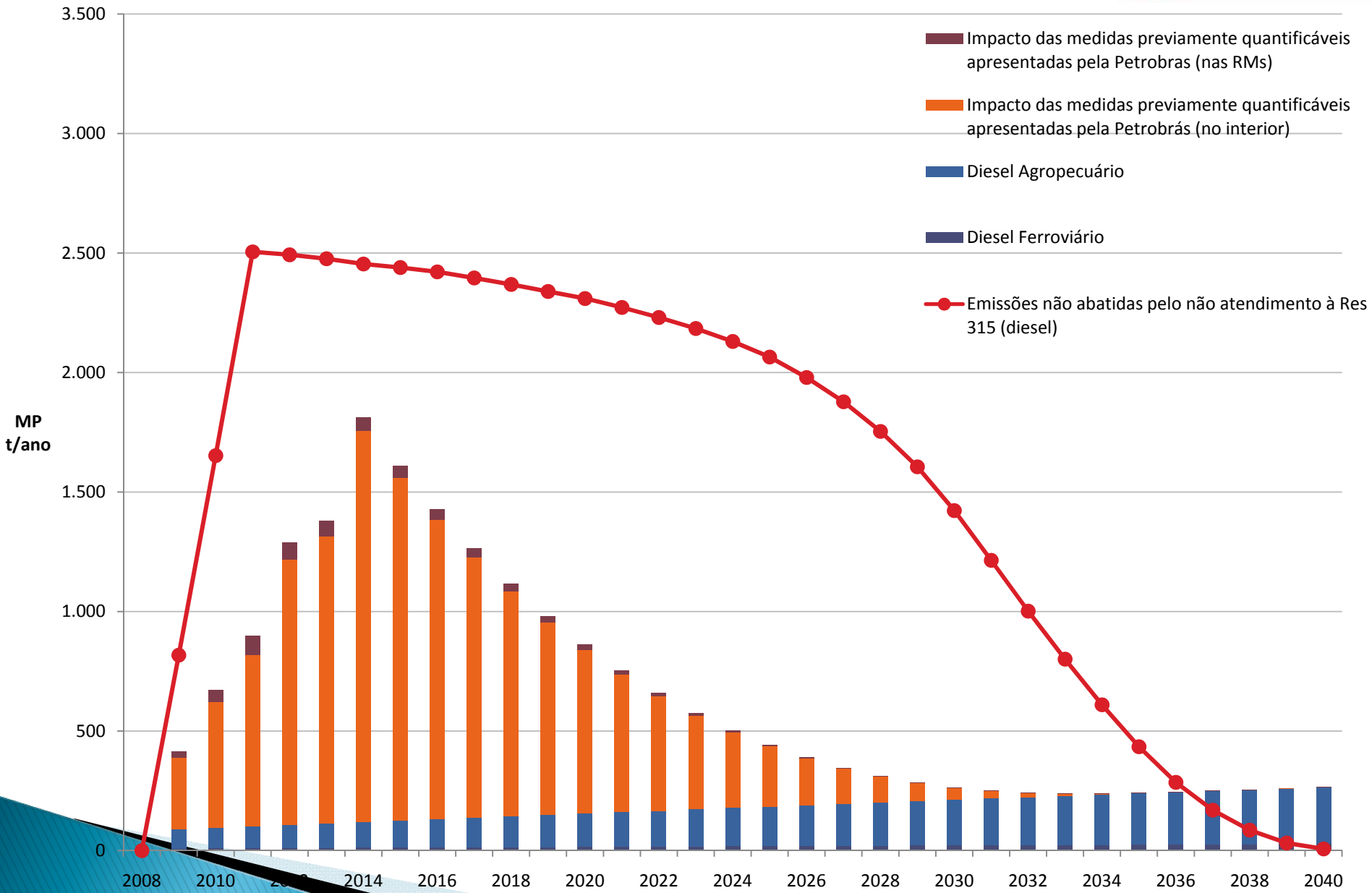
Balço Total de Medidas Propostas Previamente Quantificáveis (MP em t/ano) - Medidas calculadas a partir da Nota Técnica MME -

Ano	Emissões Não Abatidas	Medidas p/ diesel rodoviário	Medidas p/ diesel não rodoviário	BALANÇO
2009	818	732	91	6
2010	1.652	1.282	97	-274
2011	2.505	1.657	102	-746
2012	2.493	2.378	108	-7
2013	2.476	2.443	114	80
2014	2.454	3.137	119	803
2015	2.439	2.620	125	306
2016	2.421	2.171	131	-119
2017	2.396	1.788	137	-471
2018	2.368	1.460	143	-765
2019	2.339	1.180	149	-1.010
2020	2.310	945	155	-1.210
2021	2.272	749	161	-1.363
2022	2.230	587	167	-1.477
2023	2.184	456	173	-1.556
2024	2.130	351	179	-1.600

Ano	Emissões Não Abatidas	Medidas p/ diesel rodoviário	Medidas p/ diesel não rodoviário	BALANÇO
2025	2.065	267	185	-1.613
2026	1.979	200	190	-1.588
2027	1.878	147	196	-1.534
2028	1.754	106	202	-1.446
2029	1.605	73	208	-1.325
2030	1.422	49	213	-1.161
2031	1.214	30	218	-965
2032	1.002	18	224	-760
2033	801	10	229	-562
2034	610	5	234	-371
2035	434	2	239	-193
2036	285	1	244	-40
2037	169	0	249	81
2038	86	0	255	169
2039	32	0	260	228
2040	7	0	266	259

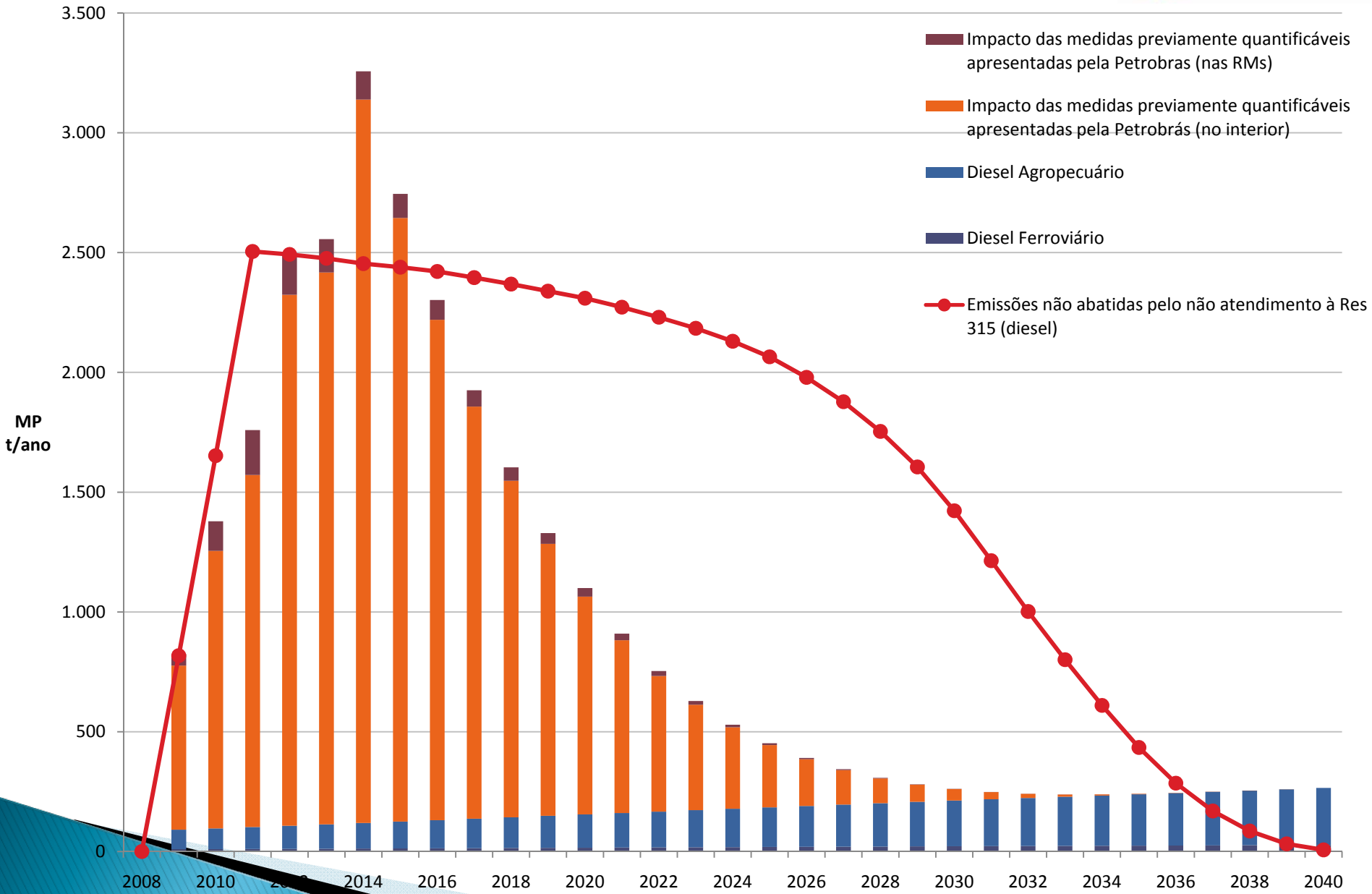
Resultados do Balanço de Emissões no Brasil

- Estimativa do efeito do teor de enxofre a partir do Worldwide Fuel Charter -



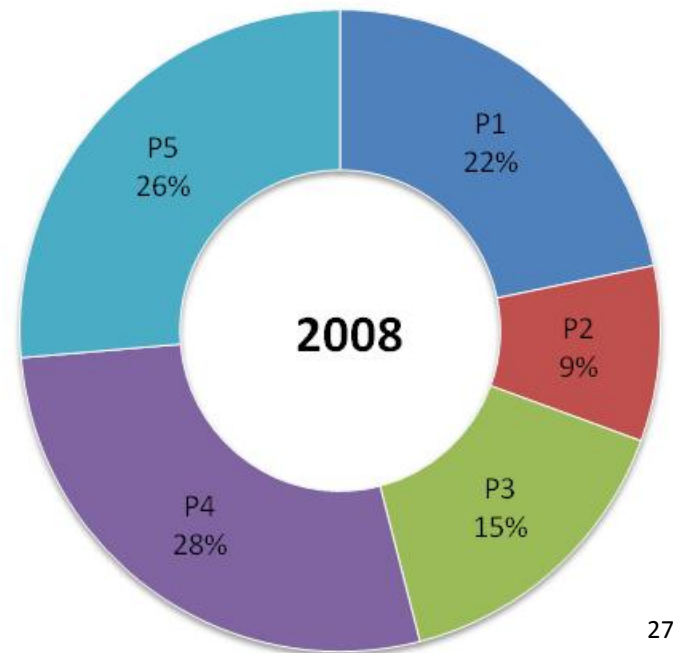
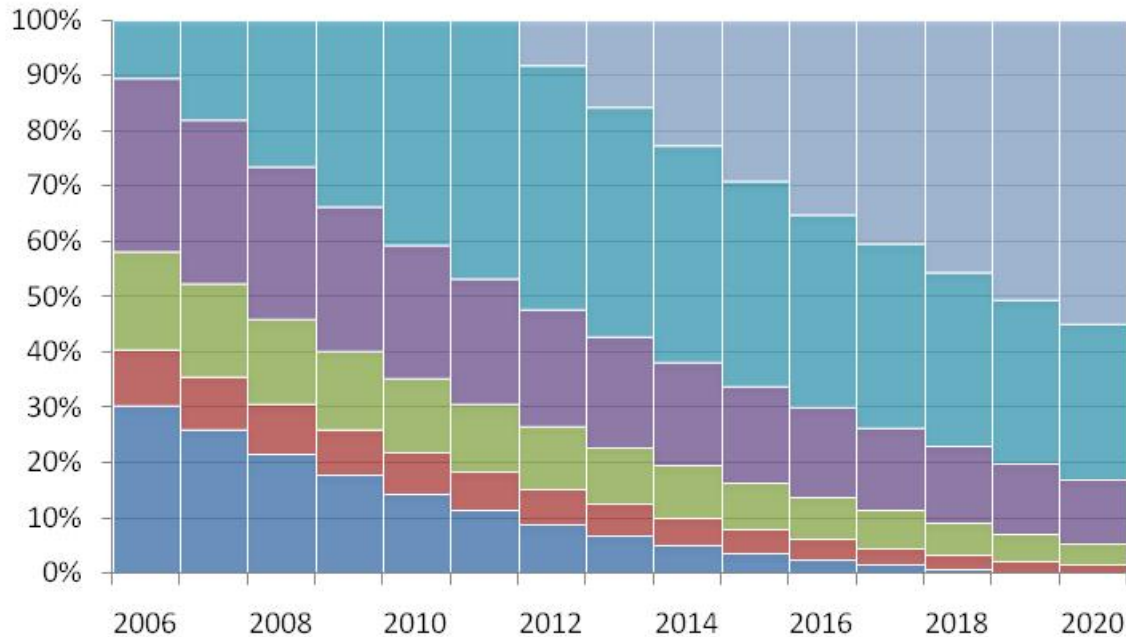
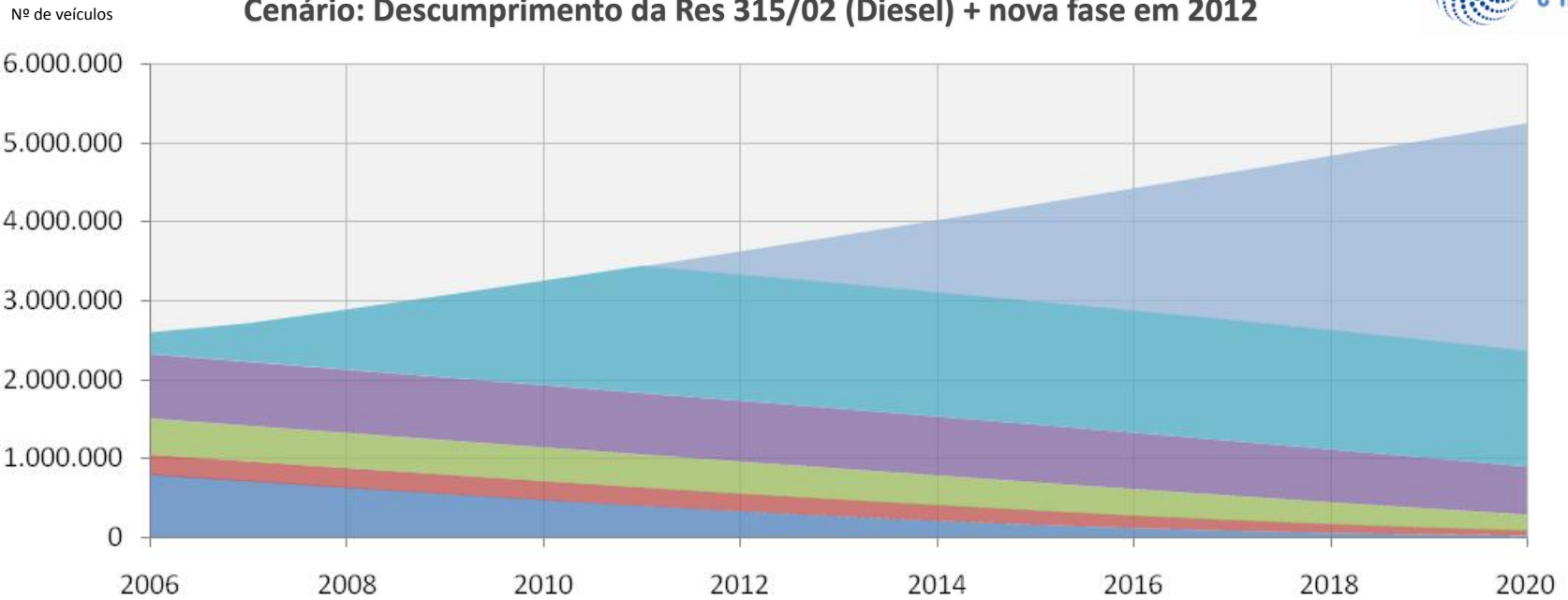
Resultados do Balanço de Emissões no Brasil

- Estimativa do efeito do teor de enxofre a partir da Nota Técnica MME -



Projeção da frota veicular Diesel por fase do PROCONVE

Cenário: Descumprimento da Res 315/02 (Diesel) + nova fase em 2012



Projeção das emissões de MP por fase do PROCONVE

Cenário: Descumprimento da Res 315/02 (Diesel) + nova fase em 2012

