

**“Inventário Estadual de Gases de Efeito Estufa do  
Estado São Paulo: gestão de emissões de GEE,  
período de 1990-2008 , gases cobertos pelo  
Protocolo de Montreal”**

***Inventário das Emissões de HFCs  
PFCs, SF<sub>6</sub>, CFCs e HCFCs***

***Roberto de Aguiar Peixoto***

***Instituto Mauá de Tecnologia***

***Junho/2009***



# Protocolo de Kyoto 1997

## Substâncias Controladas

- $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , PFCs,  $\text{SF}_6$ , HFCs



“High GWP  
Gases”

## Global Warming Potentials (100 Year Time Horizon)

Gas	GWP	
	SAR <sup>a</sup>	TAR <sup>b</sup>
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	1	1
Methane (CH <sub>4</sub> )*	21	23
Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O)	310	296
HFC-23	11,700	12,000
HFC-125	2,800	3,400
HFC-134a	1,300	1,300
HFC-143a	3,800	4,300
HFC-152a	140	120
HFC-227ea	2,900	3,500
HFC-236fa	6,300	9,400
HFC-4310mee	1,300	1,500
CF <sub>4</sub>	6,500	5,700
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	9,200	11,900
C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	7,000	8,600
C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	7,400	9,000
SF <sub>6</sub>	23,900	22,200

<sup>a</sup> IPCC Second Assessment Report (1996)

<sup>b</sup> IPCC Third Assessment Report (2001)



# Emissões de HFCs PFCs, SF<sub>6</sub>

- Emissões de gás de efeito estufa também são produzidas em diversas atividades industriais não relacionadas à energia.
- Durante estes processos, gases além de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, perfluorcarbonos (PFCs) e hidrofluorcarbonos (HFCs), podem ser liberados.
- Diversos HFCs, PFCs e SF<sub>6</sub> também são usados como alternativas a substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDOs) em várias aplicações, ou consumidos em processos industriais.



# HFCs

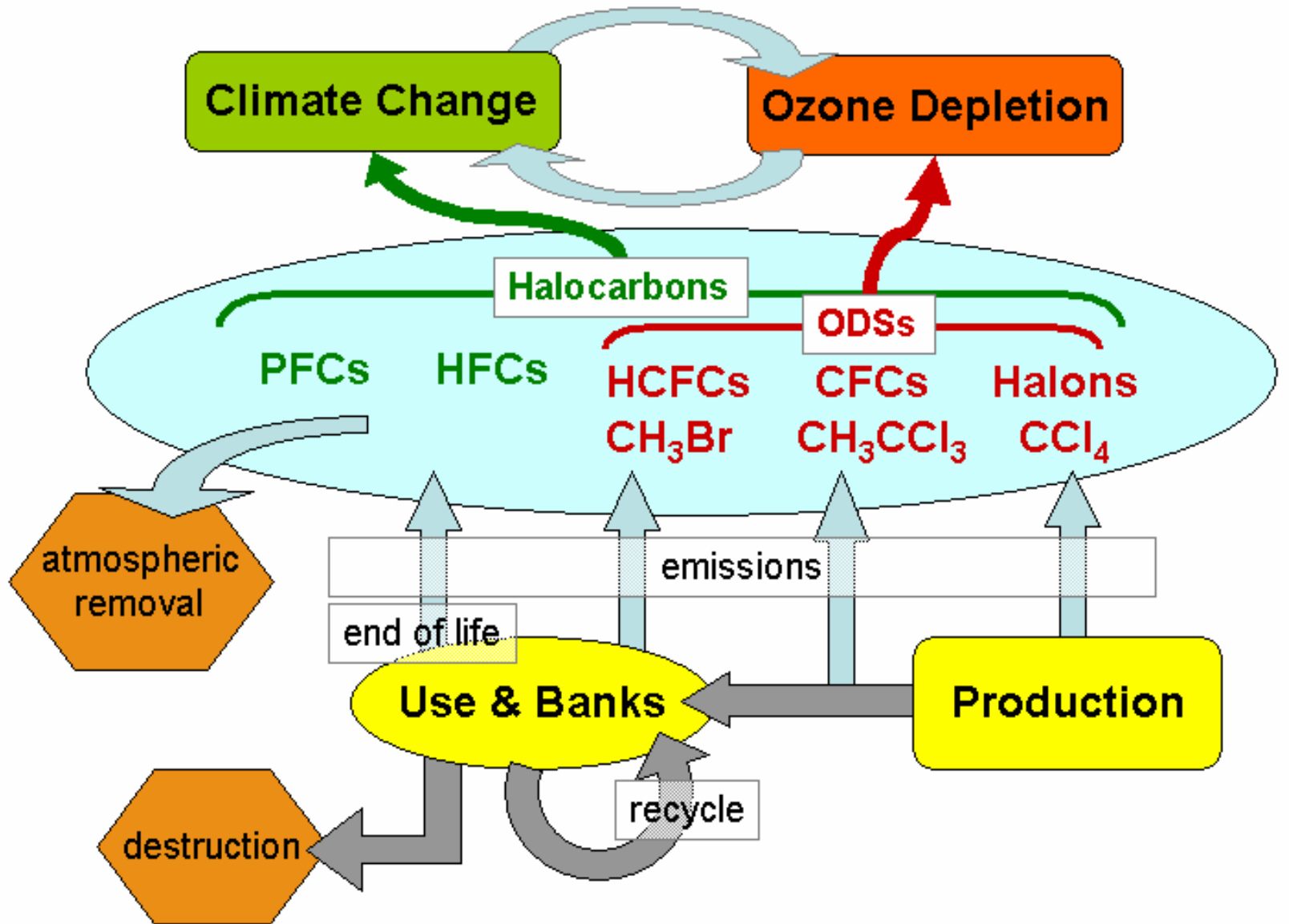
- **Usos atuais:**
  - **refrigeração e condicionamento de ar, extinção de incêndio, aerosols, solventes, e produção de espuma.**
- **HFCs, também são emitidos de processos industriais, tais como produção de halocarbonos (por exemplo, Clorodifluormetano - HCFC-22).**



# HFCs

- **Desde o estabelecimento do Protocolo de Montreal, a indústria tem procurado substitutos para os CFCs e HCFCs.**
- **Os hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs) são usados como alternativas a SDOs que estão sendo eliminadas gradualmente conforme as medidas do acordo internacional firmado no Protocolo Montreal.**





# PFCs e SF<sub>6</sub>

- PFCs são utilizados também em refrigeração, como agente de extinção de fogo, solventes e são emitidos na produção de alumínio.
- SF<sub>6</sub> é usado como isolante em equipamento elétrico de alta tensão. SF<sub>6</sub> é usado também em produção de magnésio
- Emissões de HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> ocorrem também na produção de semicondutores





Chemical	Refrigeration and Air Conditioning	Fire Suppression and Explosion Protection	Aerosols		Solvent Cleaning	Foam Blowing	Other Applications <sup>2</sup>
			Propellants	Solvents			
HFC-23	X	X					
HFC-32	X						
HFC-125	X	X					
HFC-134a	X	X	X			X	X
HFC-143a	X						
HFC-152a	X		X			X	
HFC-227ea	X	X	X			X	X
HFC-236fa	X	X					
HFC-245fa				X		X	
HFC-365mfc				X	X	X	
HFC-43-10mee				X	X		
PFC-14 <sup>3</sup> (CF <sub>4</sub> )		X					
PFC-116 (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )							X
PFC-218 (C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> )							
PFC-31-10 (C <sub>4</sub> F <sub>10</sub> )		X					
PFC-51-14 <sup>4</sup> (C <sub>6</sub> F <sub>14</sub> )					X		

<sup>1</sup> Several applications use HFCs and PFCs as components of blends. The other components of these blends are sometimes ODSs and/or non-greenhouse gases. Several HFCs, PFCs and blends are sold under various trade names; only generic designations are used in this chapter.

<sup>2</sup> Other applications include sterilisation equipment, tobacco expansion applications, plasma etching of electronic chips (PFC-116) and as solvents in the manufacture of adhesive coatings and inks (Kroeze, 1995; U.S. EPA, 1992a).

<sup>3</sup> PFC-14 (chemically CF<sub>4</sub>) is used as a minor component of a proprietary blend. Its main use is for semiconductor etching.

<sup>4</sup> PFC-51-14 is an inert material, which has little or nil ability to dissolve soils. It can be used as a carrier for other solvents or to dissolve and deposit disk drive lubricants. PFCs are also used to test that sealed components are hermetically sealed.



# **METODOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES**

- **As metodologias para estimativa de emissões de HFCs, PFCs e SF<sub>6</sub>, a serem utilizadas são as propostas no "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (GPG 2000)".**



# Questões Relativas a Agregação dos Dados

- Cada setor ou aplicação usuária de HFCs e PFCs pode ser dividida em sub-aplicações
- As aplicações com um número alto de sub-aplicações (refrigeração, espuma) poderão se beneficiar de um nível mais alto de desagregação no conjunto de dados, em função das diferenças entre as sub-aplicações.



# **A Questão da Disponibilidade de Dados**

- **Normalmente há dificuldades em coletar dados**
- **Questões de confidencialidade/sigilo comercial**
- **Alternativa: bases de dados globais e regionais com informações sobre atividade histórica e atual (consumo) para aplicações específicas e sub-aplicações**



# Tipos de Estimativas de Emissões

- **Emissões reais e potenciais**
- **Emissões instantâneas (“prompt”) ou com atraso (“solventes x espumas”)**
- **Métodos Tier 1 e Tier 2**
  - **A alternativa simplificada é referida como Tier 1 e a metodologia mais detalhada como Tier 2**
  - **Variantes das duas alternativas básicas foram desenvolvidas**



# Tipos de Estimativas de Emissões

- O método Tier 1 permite uma estimativa das emissões potenciais
- *Potencial de Emissões = Produção + Importação - Exportação - Destruição*
- Tier 1a e Tier 1b



# Tipos de Estimativas de Emissões

- O método Tier 2 exige informações muito mais detalhadas que o Tier 1
- Tier 2 estima as emissões reais
- Existem dois enfoques diferentes para a determinação dos valores de distribuição do consumo.
  - “*bottom-up*”
  - “*top-down*”



# Estimativa de Emissões de HFCs na categoria AC e Refrigeração Estacionária

- O método Tier 2 no GPG 2000
- *Emissões Totais = Emissões na Montagem + Emissões na Operação + Emissões na Disposição*





# Estimativa de Emissões de HFCs na categoria AC e Refrigeração Estacionária

- *Emissões na Montagem = emissões associadas com fabricação de produto, mesmo que os produtos sejam eventualmente exportados.*
- *Emissões na Operação = vazamento anual de refrigerante, incluindo emissões durante a manutenção, que ocorre no conjunto de equipamentos em uso.*
- *Emissões na Disposição = a quantidade de refrigerante liberado de sistemas sucateados, ou em disposição final.*



# Estimativa de Emissões de HFCs na categoria AC e Refrigeração Estacionária

- Método top-down
- Para o procedimento top-down, as três etapas de emissões são combinadas
- *Emissões = (Vendas Anuais de Refrigerantes Novos )  
– (Carga Total em Equipamentos Novos) + (Carga  
Total Original de Equipamentos Sucateados) –  
(Quantidade Destruída Intencionalmente)*



# Estimativa de Emissões de HFCs na categoria AC e Refrigeração Estacionária

- **Método bottom-up**
- **Para a implementação do procedimento Tier 2 *bottom-up* é necessário estimar**
  - a quantidade de refrigerante contida nos equipamentos em funcionamento no campo
  - os fatores de emissão para representar os vários tipos de vazamentos e perdas de refrigerante (montagem, operação e disposição final).



# Estimativa de Emissões de HFCs na categoria AC e Refrigeração Estacionária

- *Emissões na montagem = (Total de HFC e PFC utilizado como carga no ano t) • k / 100*
- *Emissões durante a operação = (Total de HFC e PFC em estoque no ano t) • X/ 10*
- *Emissões na disposição final = (carga de HFC e PFC no ano t-n) • (y) • (1 - z) - (Total destruído intencionalmente).*



# Fatores de Emissão

Application	Charge (kg)	Lifetimes (years)	Emission Factors (% of initial charge/year)		
Factor in Equation	( $E_{i,charge}$ )	(n)	(k)	(x)	(z)
			Initial Emission	Lifetime Emission	End-of-Life Emission (recovery efficiency)
Domestic Refrigeration	$0.05 \leq c \leq 0.5$	$12 \leq t \leq 15$	$0.2 \leq e \leq 1$	$0.1 \leq e \leq 0.5$	70% of remainder
Stand-alone Commercial Applications	$0.2 \leq c \leq 6$	$8 \leq t \leq 12$	$0.5 \leq e \leq 3$	$1 \leq e \leq 10$	$70 \leq r \leq 80\%$ of remainder
Medium & Large Commercial Refrigeration	$50 \leq c \leq 2000$	$7 \leq t \leq 10$	$0.5 \leq e \leq 3$	$10 \leq e \leq 30$	$80 \leq r \leq 90\%$ of remainder
Transport Refrigeration	$3 \leq c \leq 8$	$6 \leq t \leq 9$	$0.2 \leq e \leq 1$	$15 \leq e \leq 50$	$70 \leq r \leq 80\%$ of remainder
Industrial Refrigeration including Food Processing and Cold Storage	$10 \leq c \leq 10K$	$10 \leq t \leq 20$	$0.5 \leq e \leq 3$	$7 \leq e \leq 25$	$80 \leq r \leq 90\%$ of remainder
Chillers	$10 \leq c \leq 2000$	$10 \leq t \leq 30$	$0.2 \leq e \leq 1$	$2 \leq e \leq 15$	$80 \leq r \leq 95\%$ of remainder
Residential and Commercial A/C, including Heat Pumps	$0.5 \leq c \leq 100$	$10 \leq t \leq 15$	$0.2 \leq e \leq 1$	$1 \leq e \leq 5$	$70 \leq r \leq 80\%$ of remainder
<p>Note: Distribution Losses = 2 to 10% of annual sales of refrigerant (heel left in the tanks from and losses during transfer (ICF 1998). Analysis of Refrigerant Emissions Resulting from Improper Disposal of 30-lb Cylinders. Prepared by ICF Incorporated, Washington, DC. June 2, 1998).            It should be noted that each country will use its own national data when preparing its national greenhouse gas inventory.            Source: Clodic (1999).</p>					



# Estimativa de Emissões de HFCs na categoria AC Automotivo

Bottom-up Emission Parameters	IPCC Default Values	Updated Default Values
Average vehicle lifetime (n)	12 years	12 years
MAC system emission rate (x)	10-30%	10-20%
First-Fill emission rate (k)	4-5%	0.5%
Typical remaining charge (y)	75%	40%
Fraction Recovered <sup>a</sup> (z)	0%	0%

<sup>a</sup> The fraction recovered by a recovery/recycling program is a function of the efficiency of the recovery equipment, the skill of the technician (amount of potential HFC-134a recovered/recycled) and the program effectiveness (fraction of service operations adopting the program).

Source: Baker (1999).



# Espumas

- **Espuma de célula aberta**
  - *Emissões de HFCs ou PFCs no ano  $t = 100\%$  da quantidade de HFCs ou PFCs comercializados para produção de espumas de célula aberta no ano  $t$*
- **Espuma de célula fechada**
  - *Emissões de HFCs ou PFCs no ano  $t = 10\%$  da quantidade total de HFC ou PFC usado na fabricação de espuma isolante no ano em  $t + 4,5\%$  da quantidade de HFC ou PFC originalmente utilizada na espuma fabricada entre o ano  $t$  e  $t - 20$*



# Extintores de Incêndio

- Emissões de HFCs ou PFCs no ano  $t = 60\%$  da quantidade total de HFC ou PFC usado em equipamentos novos de extinção de incêndio portáteis instalados no ano  $t$ .*
- As emissões de HFCs ou PFCs no ano  $t = 35\%$  da quantidade total de HFC ou PFC usada em novos equipamento instalados no ano  $t$ .*





# Aerosols

- *Emissões de HFCs no ano  $t = 50\%$  da quantidade de HFCs contida em aerosols vendidos no ano  $t + 50\%$  da quantidade de HFCs contida em aerosols vendidos no ano  $t-1$*



# Solventes

*– Emissões de HFCs no ou PFCs ano  $t = 50\%$  da quantidade de HFCs ou PFCs vendida para aplicações como solventes no ano  $t + 50\%$  da quantidade de HFCs ou PFCs vendida para aplicações como solventes no ano  $t-1$*



# Estimativa de Emissões de PFC na Produção de Alumínio

- Métodos Tier 1, Tier 2 e Tier 3
- Tier 1: método mais simples de estimar emissões multiplicar a produção de alumínio por fatores de emissão padrões

Technology	CF <sub>4</sub>		C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	
	kg/tonne Al <sup>a</sup>	Uncertainty Range <sup>a</sup>	kg/tonne Al <sup>a</sup>	Uncertainty Range <sup>a</sup>
CWPB	0.31	0.0003-1.3	0.04	0.00004-0.2
SWPB	1.7	0.8-3.8	0.17 <sup>b</sup>	0.08-0.4
VSS	0.61 <sup>c</sup>	0.4-1.1	0.061 <sup>c</sup>	0.04-0.1
HSS	0.6 <sup>d</sup>	0.0006-1.4	0.06 <sup>d</sup>	0.00006-0.13



# Estimativa de Emissões de de PFC na Produção de Alumínio

- Método Tier 2 utiliza valores de referência (*default*) que podem ser utilizados junto com parâmetros específicos da unidade de produção

Technology <sup>a</sup>	Slope <sup>b,d</sup> [(kg PFC/t <sub>Al</sub> ) / (AE-Minutes/cellday)]				Overvoltage coefficient <sup>b</sup> [(kg PFC/t <sub>Al</sub> ) / (mV/cellday)]	
	CF <sub>4</sub>	Uncertainty	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	Uncertainty	CF <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>
CWPB	0.14	±0.009	0.018	±0.004	1.9	NA
SWPB	0.29	±0.02	0.029 <sup>c</sup>	±0.01	1.9	NA
VSS	0.068 <sup>g</sup>	±0.02	0.003 <sup>g</sup>	±0.001	See note e	–
HSS	0.18 <sup>f</sup>		0.018		–	–



# Estimativa de Emissões de Emissões de PFC na Produção de Alumínio

- **Método Tier 3b:** utiliza medições periódicas para estabelecer uma relação específica para a unidade produtora entre parâmetros operacionais (por ex. frequência e duração dos “efeitos anódicos”) e emissões de  $\text{CF}_4$  e  $\text{C}_2\text{F}_6$ .
- Uma vez estabelecidos estes fatores de emissão eles são multiplicados pela produção específica da unidade produtora para estimar as emissões.



# Estimativa de Emissões de Emissões de PFC na Produção de Alumínio

- **Método da Declividade:**
- **Este método usa um ajuste linear baseado nos mínimos quadrados para determinar um fator de ajuste relacionando o efeito anódico e emissões,**
- **FE = Fator de ajuste • EA**
  - **FE = fator de emissão (kg CF<sub>4</sub> ou C<sub>2</sub> F<sub>6</sub> por ton de Al)**
  - **EA = efeito anódico (minutos por cuba)**



# Estimativa de Emissões de SF<sub>6</sub> de Equipamentos Elétricos e Outras Fontes

- **Método Tier 1**
- **O método mais simples para estimativa de emissões avalia emissões potenciais de SF<sub>6</sub> de todos usos associando as emissões com o consumo total de SF<sub>6</sub>:**
- **Emissões potenciais de SF<sub>6</sub> = Produção + (Importação – Exportação) – Destruição**



# Estimativa de Emissões de SF<sub>6</sub> de Equipamentos Elétricos e Outras Fontes

- Método Tier 2a
- Se estão disponíveis apenas dados limitados de vendas anuais, emissões podem ser estimadas usando fatores de emissão que são específicos de cada etapa.
- *Emissões Totais = Emissões na fabricação + Emissões na Instalação + Emissões no uso + Emissões na disposição*





# Estimativa de Emissões de SF<sub>6</sub> de Equipamentos Elétricos e Outras Fontes

- Método Tier 2b
- Se apenas informação sobre a carga total de equipamentos instalados e sucateados for disponível, fatores de emissão podem ser aplicados
- *Emissões de SF<sub>6</sub> no ano  $t = (2\%$  da carga total de SF<sub>6</sub> contida no estoque de equipamentos em operação no ano  $t) + (95\%$  da capacidade de placa de SF<sub>6</sub> nos equipamentos sucateados)*



# Estimativa de Emissões de SF6 de Equipamentos Elétricos e Outras Fontes

- Método Tier 3a
- Este procedimento permite determinar como e quando tais emissões ocorrem durante o ciclo de vida do equipamento.
- *Emissões Totais =  $\Sigma$  Emissões na fabricação +  $\Sigma$  Emissões na instalação +  $\Sigma$  Emissões no uso +  $\Sigma$  Emissões na disposição*



# Estimativa de Emissões de SF<sub>6</sub> de Equipamentos Elétricos e Outras Fontes

- Método Tier 3b
- Se dados para calcular emissões nas etapas do ciclo de vida estão indisponíveis, emissões podem ser calculadas considerando o consumo total e a disposição de SF<sub>6</sub> por todos usuários e fabricantes. As emissões de instalação, uso e disposição da equação anterior são agregadas na categoria de emissões do usuário.
- *Emissões Totais =  $\Sigma$  Emissões na produção +  $\Sigma$  Emissões na utilização*



# Base de Dados RAC

<b>Período</b>	<b>US\$ FOB</b>	<b>Peso Líquido(Kg)</b>	<b>HFC-134a</b>
01/2001 até 12/2001	9.318.986	2.727.524	
01/2002 até 12/2002	8.701.348	2.763.658	
01/2003 até 12/2003	10.706.251	3.267.625	
01/2004 até 12/2004	11.257.786	3.218.763	
01/2005 até 12/2005	21.854.923	4.491.010	
01/2006 até 12/2006	19.008.282	3.833.893	
01/2007 até 12/2007	25.900.391	6.023.421	
01/2008 até 09/2008	15.800.622	3.665.547	

<b>Período</b>	<b>US\$ FOB</b>	<b>Peso Líquido(Kg)</b>	<b>R-407c</b>
01/2007 até 12/2007	2.782.938	484.553	
01/2008 até 09/2008	2.029.386	418.418	

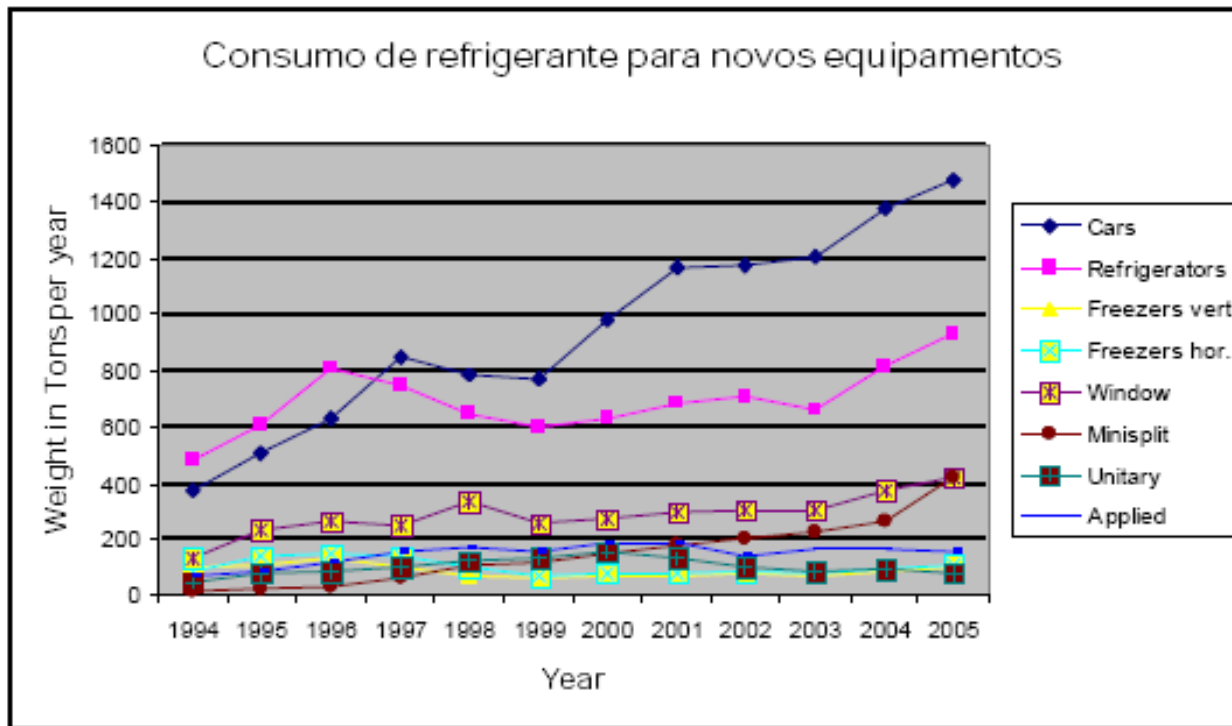


# Base de Dados RAC

LINHA BRANCA	Soma	Soma	Soma
	de 2000	de 2001	de 2002
Refrigeradores	3.239.111	3.649.331	3.488.098
Freezers" verticais	303.670	184.830	179.762
Congel./Conserv. horiz.	333.325	252.198	277.310
Lavadoras automáticas	991.787	1.015.593	1.213.104
Lavalouças Automática	57.077	30.889	33.831
Secadoras de Roupas	40.748	31.924	29.169
Fogões	3.658.602	3.693.492	3.484.775
Total	8.624.320	8.858.257	8.706.049



# Base de Dados RAC



Fonte: Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento - ABRAVA



# Base de Dados RAC

## Autoveículos – Produção, vendas internas e exportações

Vehicles – Production, domestic sales and exports

### 2.1 Produção - 1957/2007

Production - 1957/2007

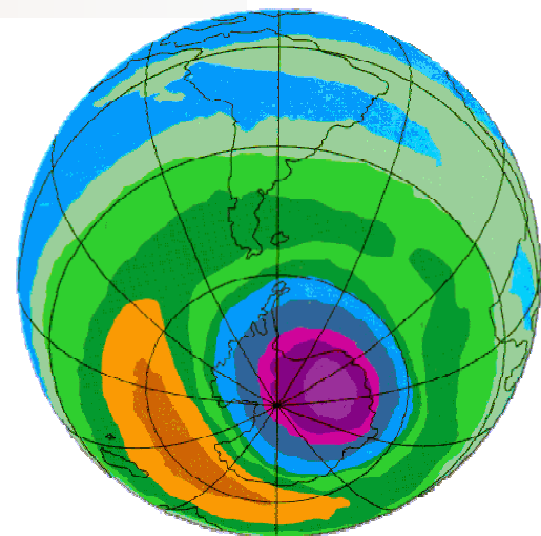
Unidades / Units

ANO YEAR	AUTOMÓVEIS CARS	COMERCIAIS LEVES LIGHT COMMERCIALS	CAMINHÕES TRUCKS	ÔNIBUS BUSES	TOTAL TOTAL
1957	1.166	10.871	16.259	2.246	30.542
1958	3.831	26.480	26.998	3.674	60.983
1959	14.495	41.959	36.657	3.003	96.114
1960	42.619	48.735	37.810	3.877	133.041
1961	60.205	54.886	26.891	3.602	145.584
1962	83.876	67.648	36.174	3.496	191.194
1963	94.764	55.397	21.556	2.474	174.191
1964	104.710	54.503	21.790	2.704	183.707
1965	113.772	46.456	21.828	3.131	185.187
1966	128.821	60.735	31.098	3.955	224.609
1967	139.260	54.421	27.141	4.665	225.487
1968	165.045	66.984	40.642	7.044	279.715
1969	244.379	63.073	40.569	5.679	353.700
1970	306.915	66.728	38.388	4.058	416.089
1971	399.863	73.840	38.868	4.393	516.964
1972	471.055	92.329	53.557	5.230	622.171
1973	564.002	110.810	69.202	6.362	750.376
1974	691.310	126.935	79.413	8.262	905.920
1975	712.526	128.895	78.688	10.126	930.235
1976	765.291	125.370	83.891	12.059	986.611
1977	732.360	73.637	101.368	13.828	921.193
1978	871.170	92.235	86.269	14.340	1.064.014
1979	912.018	110.065	93.051	12.832	1.127.966
1980	933.152	115.540	102.017	14.465	1.165.174
1981	585.834	105.264	76.350	13.393	780.841
1982	672.589	130.163	46.698	9.820	859.270
1983	748.371	106.390	35.487	6.206	896.454
1984	679.386	129.429	48.497	7.340	864.652
1985	759.141	134.411	64.769	8.385	966.706
1986	815.152	145.418	84.544	11.218	1.056.332
1987	683.380	148.847	74.205	13.639	920.071
1988	782.411	196.108	71.810	18.427	1.068.756
1989	730.992	205.008	62.699	14.553	1.013.252
1990	663.084	184.754	51.597	15.031	914.466
1991	705.303	182.609	49.295	23.012	960.219
1992	815.959	201.591	32.025	24.286	1.073.861
1993	1.100.278	224.387	47.876	18.894	1.391.435
1994	1.248.773	251.044	64.137	17.435	1.581.389
1995	1.297.467	239.399	70.495	21.647	1.629.008
1996	1.458.576	279.697	48.712	17.343	1.804.328
1997	1.677.858	306.545	63.744	21.556	2.069.703
1998	1.254.016	247.044	63.773	21.458	1.586.291



# Antecipação da Eliminação dos HCFCs

- A 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal, Setembro de 2007, mudou os prazos anteriormente fixados para eliminação dos HCFCs.
- Esta alteração levou em conta os benefícios para a recuperação da camada de ozônio e também para a proteção do clima. HCFCs, como CFCs e HFCs, são GEE





# Redução nas Emissões de HCFCs

## New Stronger Montreal Protocol Controls Reduce Developing Country HCFC Emissions about 58 Percent

