

# Como os gases industriais afetam a camada de ozônio<sup>1</sup>

**Paulo Roberto Mei**

Professor Titular. Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp. Campinas.

[pmei@fem.unicamp.br](mailto:pmei@fem.unicamp.br)

Os gases utilizados em sistemas de refrigeração (geladeiras, aparelhos de ar condicionado etc.) para fins de viabilizar a troca de calor, tais como os do tipo CFC (clorofluorcarbono), quando escapam para a atmosfera atingem e destroem a camada de ozônio, gás que fica na alta atmosfera e é responsável pela filtragem de radiação ultravioleta de alta energia emitida pelo sol, a qual é seriamente perigosa para todo ser vivo. Para entender o mecanismo de destruição da camada de ozônio, é preciso entender a radiação solar.

Todos objetos emitem energia em temperaturas acima do zero absoluto (zero Kelvin ou -273,15 °C). A radiação emitida é proporcional à quarta potência da temperatura em graus Kelvin, segundo a lei de Stefan-Boltzmann: **Radiação emitida (W/m<sup>2</sup>) = 5,67.10<sup>-8</sup>. T<sup>4</sup> (T em Kelvin)**

A temperatura do sol gira em torno de 5800 K enquanto a da Terra fica em torno de 15 °C ou 288 K, o que significa que a emissão do sol é de 642.10<sup>5</sup> W/m<sup>2</sup> enquanto que a da Terra é de 390 W/m<sup>2</sup>. Assim, a emissão solar por metro quadrado é 165.000 vezes maior que a da Terra (Pidwirny, 2017). A energia é emitida em diferentes comprimentos de onda, criando um espectro de emissão para cada temperatura. O comprimento de onda de máxima emissão é obtido pela equação de Wien:

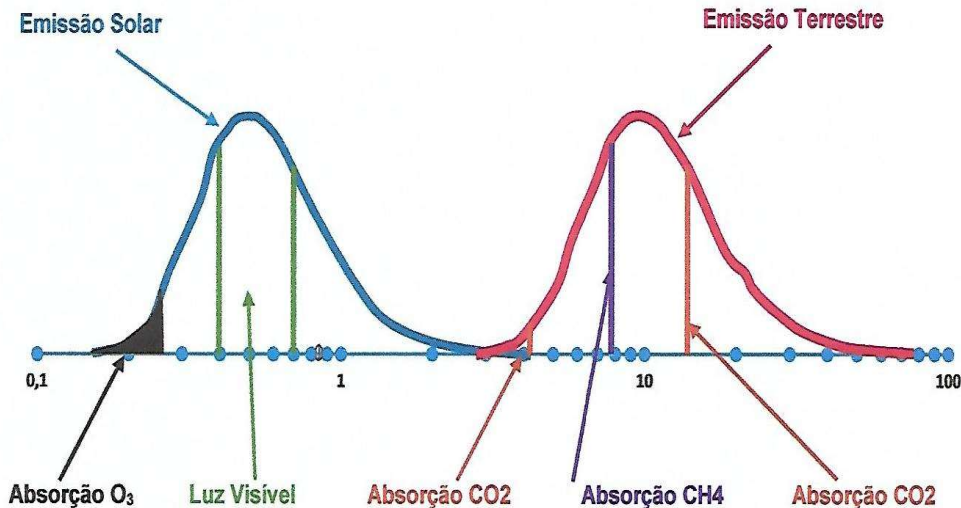
$$\text{Comprimento de onda da máxima emissão (microns)} = 2898/T \text{ (T em Kelvin)}$$

A energia irradiada pelo sol ocorre em vários comprimentos de onda (Tabela 1), com emissão máxima em 0,5 µm (500 nm), ou seja, no visível. A Terra, por sua vez, emite somente na faixa de infravermelho (3 a 80 µm), com emissão máxima no comprimento de onda de 10 µm (Figura 1).

**Tabela 1** - Categorias de comprimentos de onda de irradiação solar (Spacewx, 2004, adaptado).

<b>Categoria</b>	<b>Comprimento de onda</b>	<b>Comprimento de onda (m)</b>
Raio gama	10 fm ≤ λ < 1 pm	10 <sup>-14</sup> ≤ λ < 10 <sup>-12</sup>
Raio X	1 pm ≤ λ < 10 nm	10 <sup>-12</sup> ≤ λ < 10 <sup>-8</sup>
Ultravioleta extremo	10 nm ≤ λ < 121 nm	10.10 <sup>-9</sup> ≤ λ < 121.10 <sup>-9</sup>
UV-C	100 nm ≤ λ < 280 nm	100.10 <sup>-9</sup> ≤ λ < 280.10 <sup>-9</sup>
UV-B	280 nm ≤ λ < 315 nm	280.10 <sup>-9</sup> ≤ λ < 315.10 <sup>-9</sup>
UV-A	315 nm ≤ λ < 400 nm	315.10 <sup>-9</sup> ≤ λ < 400.10 <sup>-9</sup>
Visível	380 nm ≤ λ < 760 nm	380.10 <sup>-9</sup> ≤ λ < 760.10 <sup>-9</sup>
Infravermelho	760 nm ≤ λ < 1,00 mm	760.10 <sup>-9</sup> ≤ λ < 10 <sup>-3</sup>
Microondas	1,00 mm ≤ λ < 1,33 m	10 <sup>-3</sup> ≤ λ < 1,33

<sup>1</sup> Artigo escrito com dados do livro "Energia Solar Fotovoltaica: Oportunidades para o Brasil". ISBN: 978-85-88098-74-9. 1ª Edição impressa, Artliber 2019. 2ª Edição impressa e e-book, Kindle, 2020.

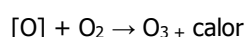


**Figura 1** - Espectros de emissão da radiação solar e terrestre. Comprimento de onda em microns (Planetforlife, 2020, adaptado).

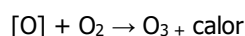
A “camada de ozônio da Terra” é uma faixa que se situa na estratosfera, parte da atmosfera que fica entre, aproximadamente, 10 e 50 quilômetros de altitude, é onde está concentrada a maior parte (90%) do ozônio (O<sub>3</sub>) do planeta. A quantidade média de ozônio na atmosfera é bem baixa (0,6 ppm ou partes por milhão) chegando ao máximo de 15 ppm a 32 km acima da superfície da Terra. Embora em baixa concentração, o ozônio absorve 100% da radiação ultravioleta C (UV-C) que é a de mais alta energia, absorve 90% da UV-B e 50% da UV-A. Sem essa proteção a radiação ultravioleta recebida do sol tornaria a Terra estéril (NASA, 2018). Estudos mostraram que a radiação ultravioleta dependendo da intensidade, pode provocar queimaduras, câncer de pele, envelhecimento da pele, dano ocular etc. (Chipperfield, 2015).

Estudos mostraram que a radiação ultravioleta dependendo da intensidade, pode provocar queimaduras, câncer de pele, envelhecimento da pele, dano ocular etc. (Chipperfield, 2015).

Ao ser atingida por fótons ultravioleta de alta energia (comprimento de onda menor que 242 nm, ou seja, na região do UVC e ultravioleta extremo) a molécula de gás oxigênio (O<sub>2</sub>) presente na estratosfera se dissocia em dois átomos de oxigênio atômico [O] e com isto essa radiação ultravioleta de alta energia é toda absorvida na atmosfera, e sua incidência na superfície terrestre é nula. Como o oxigênio atômico é altamente reativo, ao encontrar uma molécula de gás oxigênio, reage com a mesma produzindo ozônio (O<sub>3</sub>). A taxa de combinação depende da altitude, ou seja, de moléculas de gás oxigênio e oxigênio atômico, mas estima-se que o tempo de vida do oxigênio atômico na estratosfera seja menor que 1 segundo (CCPO, 2020). De uma maneira simplificada a reação final seria:

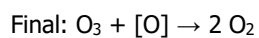
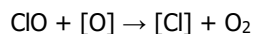
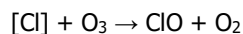
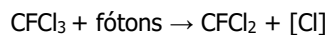
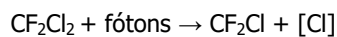


Uma parte do ozônio produzido é dissociada por fótons ultravioleta de alta energia, produzindo gás oxigênio. O oxigênio atômico produzido reage com gás oxigênio formando ozônio e dissipando calor. Em outras palavras a radiação ultravioleta de alta energia absorvida na estratosfera pelo oxigênio gera ozônio e calor.



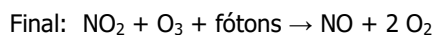
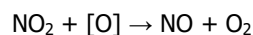
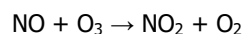
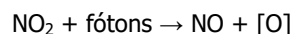
A produção diária de ozônio no globo terrestre é estimada em 400 milhões de toneladas, e o balanço de sua geração e dissociação mantém a massa total de ozônio na atmosfera em 3 bilhões de toneladas, significando que esta camada é renovada numa taxa de 12 % ao dia (CCPO, 2020).

Em 1974, dois pesquisadores (Molina e Rowland, 1974) publicaram um artigo mostrando que o aumento do teor de compostos de clorofluormetano (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> e CFCl<sub>3</sub>) usados em refrigeração e em aerossóis na atmosfera causaria a destruição da camada de ozônio da estratosfera. Segundo eles, esses gases eram bastante estáveis, com vida entre 40 e 150 anos, e na parte superior da atmosfera iriam interagir com fótons e produzir cloro atômico, que é bastante reativo com o ozônio, segundo as reações:



Como se observa nestas reações, o átomo de cloro age como um catalizador da reação, ou seja, não é absorvido. Assim, um único átomo de cloro pode destruir de dezenas a centenas de milhares de moléculas de ozônio, antes de ser retirado da estratosfera. O átomo de cloro fica na estratosfera até reagir com outro gás, como o metano (CH<sub>4</sub>), por exemplo, produzindo HCl, que pode ser trazido para a superfície pela chuva (Ozone Hole, 2006).

Em 1985, Farman e colaboradores (Farman, 1985) publicaram um artigo mostrando que a redução do teor total de ozônio durante a primavera na região Antártica (setembro a novembro) estava relacionada com a taxa de gases NO<sub>2</sub> e NO na atmosfera):



No mesmo ano (1985), 28 países assinaram a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio e, em 1987, 46 países assinaram o Protocolo de Montreal para limitar a produção e o consumo de substâncias que destroem a camada de ozônio (ODS = ozone depletion substances). Nestas substâncias incluem-se: clorofluorcarbonos (CFC), hidroclorofluorcarbonos (HCFC), hidrobromofluorcarbonos (HBFC), halons, brometo de metila, tetracloreto de carbono, clorobromometano e metil clorofórmio. Eles são bastante estáveis, sendo somente degradados por radiação ultravioleta de alta intensidade existente na estratosfera (Tabela 2).

O Brasil aderiu tanto à Convenção de Viena como ao Protocolo de Montreal em 1990, e, até junho de 2020, 198 países já tinham aderido a ambos (UNEP, 2020a).

O resultado foi uma drástica e redução na produção e consumo destes gases (Figura 2).

**Tabela 2 - Gases controlados pelo Protocolo de Montreal (EPA, 2020).**

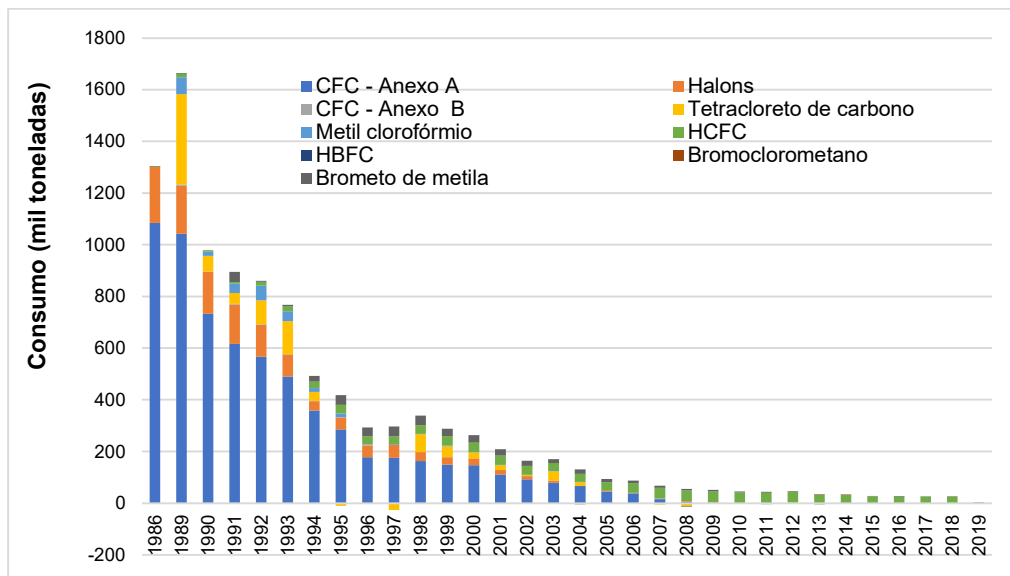
Nome/Fórmula	TV	PDO	GWP -AR5	Nome/Fórmula	TV	ODP	GWP - AR5
<b>Anexo A - Grupo 1</b>				C3H3FBr4		0.08-1.9	
CFC-11 (CCl3F)	45	1	4660	C3H3F2Br3		0.1-3.1	
CFC-12 (CCl2F2)	100	0.82	10200	C3H3F3Br2		0.1-2.5	
CFC-113 (C2F3Cl3)	85	0.85	5820	C3H3F4Br		0.3-4.4	
CFC-114 (C2F4Cl2)	190	0.58	8590	C3H4FBr3		0.03-0.3	
CFC-115 (C2F5Cl)	1020	0.5	7670	C3H4F2Br2		0.1-1.0	
<b>Anexo A - Grupo 2</b>				C3H4F3Br		0.07-0.8	
Halon 1211 (CF2ClBr)	16	7.9	1750	C3H5FBr2		0.04-0.4	
Halon 1301 (CF3Br)	65	15.9	6290	C3H5F2Br		0.07-0.8	
Halon 2402 (C2F4Br2)	20	13.0	1470	C3H6FBr		0.02-0.7	
<b>Anexo B - Grupo 1</b>				<b>Anexo C - Grupo 3</b>			
CFC-13 (CF3Cl)	640	1	13900	Clorobromometano (CH2BrCl)	0.37	0.12	
CFC-111 (C2FCI5)		1		<b>Anexo C - Grupo 1</b>			
CFC-112 (C2F2Cl4)		1		HCFC-21 (CHFCl2)	1.7		148
CFC-211 (C3FCI7)		1		HCFC-22 (CHF2Cl)	11.9	0.04	1760
CFC-212 (C3F2Cl6)		1		HCFC-31 (CH2FCI)			
CFC-213 (C3F3Cl5)		1		HCFC-121 (C2HFCl4)			
CFC-214 (C3F4Cl4)		1		HCFC-122 (C2HF2Cl3)			59
CFC-215 (C3F5Cl3)		1		HCFC-123 (C2HF3Cl2)	1.3	0.01	79
CFC-216 (C3F6Cl2)		1		HCFC-124 (C2HF4Cl)	5.9		
CFC-217 (C3F7Cl)		1		HCFC-131 (C2H2FCI3)			
<b>Anexo B - Grupo 2</b>				HCFC-132b (C2H2F2Cl2)			
Tetracloro de carbono (CCl4)	26	0.82	1730	HCFC-133a (C2H2F3Cl)			
<b>Anexo B - Grupo 3</b>				HCFC-141b (C2H3FCI2)	9.2	0.12	782
Metil clorofórmio (C2H3Cl3)	5	0.16	160	HCFC-142b (C2H3F2Cl)	17.2	0.06	1980
<b>Anexo E</b>				HCFC-221 (C3HFCl6)			
Brometo de metila (CH3Br)	0.8	0.66	2	HCFC-222 (C3HF2Cl5)			
<b>Anexo C - Grupo 2</b>				HCFC-223 (C3HF3Cl4)			
CH2FBr		1		HCFC-224 (C3HF4Cl3)			
HBFC-12B1(CHF2Br)				HCFC-225ca (C3HF5Cl2)	1.9	0.02	127
CH2FBr		0.73		HCFC-225cb (C3HF5Cl2)	5.9	0.03	525
C2HFBr4		0.3-0.8		HCFC-226 (C3HF6Cl)			
C2HF2Br3		0.5-1.8		HCFC-231 (C3H2FCI5)			
C2HF3Br2		0.4-1.6		HCFC-232 (C3H2F2Cl4)			
C2HF4Br		0.7-1.2		HCFC-233 (C3H2F3Cl3)			
C2H2FBr3		0.1-1.1		HCFC-234 (C3H2F4Cl2)			
C2H2F2Br2		0.2-1.5		HCFC-235 (C3H2F5Cl)			
C2H2F3Br		0.7-1.6		HCFC-241 (C3H3FCI4)			
C2H3FBr2		0.1-1.7		HCFC-242 (C3H3F2Cl3)			
C2H3F2Br		0.2-1.1		HCFC-243 (C3H3F3Cl2)			
C2H4FBr		0.07-0.1		HCFC-244 (C3H3F4Cl)			
C3HFBr6		0.3-1.5		HCFC-251 (C3H4FCI3)			
C3HF2Br5		0.2-1.9		HCFC-252 (C3H4F2Cl2)			
C3HF3Br4		0.3-1.8		HCFC-253 (C3H4F3Cl)			
C3HF4Br3		0.5-2.2		HCFC-261 (C3H5FCI2)			
C3HF5Br2		0.9-2.0		HCFC-262 (C3H5F2Cl)			
C3HF6Br		0.7-3.3		HCFC-271 (C3H6FCI)			
C3H2FBr5							
C3H2F2Br4		0.2-2.1					
C3H2F3Br3		0.2-5.6					
C3H2F4Br2		0.3-7.5					
C3H2F5Br		0.9-1.4					

**TV** = Tempo de vida, em anos

**PDO** = Potencial de Destruição do Ozônio (**ou ODP** = Ozone-Depleting Potential). Definido pelo Protocolo de Montreal e atualizado em 2010 (**WMO, 2011**)

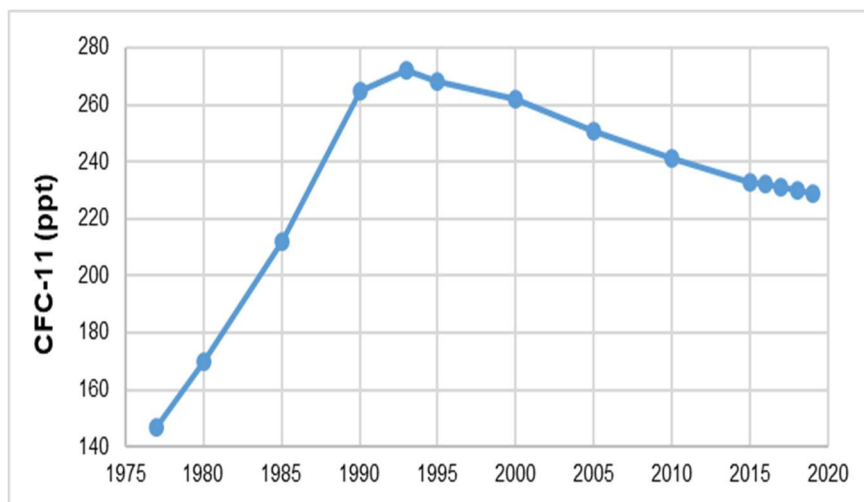
**GWP** = Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential) ao longo de 100 anos relativamente ao CO<sub>2</sub>, definido como 1. Dados do (**IPCC, 2013**).

**AR5** = Assessment Report 5

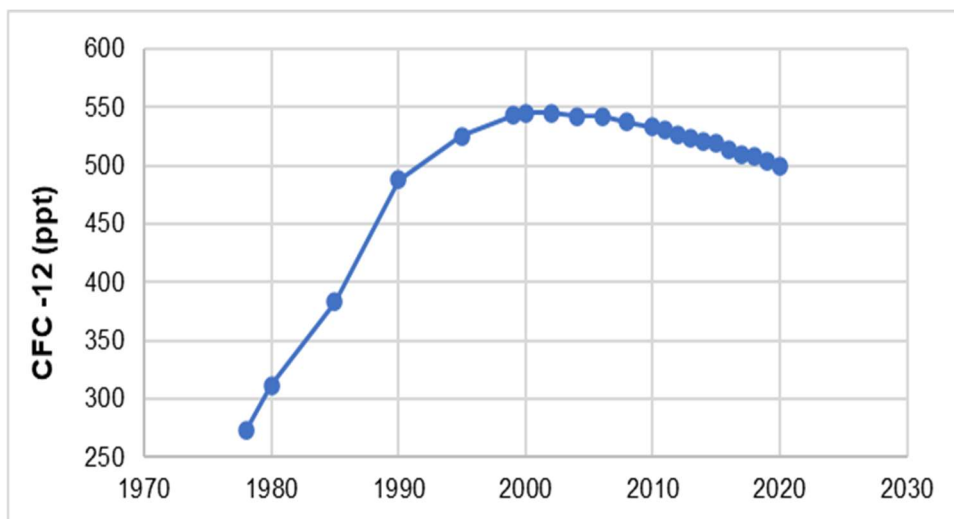


**Figura 2** - Consumo de gases com PDO (Potencial de Destruição do Ozônio) no mundo (UNEP, 2020b).

A redução na produção e consumo de gases tipo CFC (clorofluorcarbono), fez com o teor de CFC11 na atmosfera, depois de ter atingido um valor máximo de 272 ppt em 1993, começasse a diminuir desde então, situando-se em torno de 230 ppt (partes por trilhão) em 2019 (Figura 3). O mesmo ocorreu com o CFC-12, que passou por máximo valor na atmosfera de 545 ppt em 2000, e teve redução continuada desde então, convergindo para 500 ppt em 2020. (Figura 4).



**Figura 3** - Teor global médio de CFC-11 em janeiro de cada ano (NOAA, 2020).

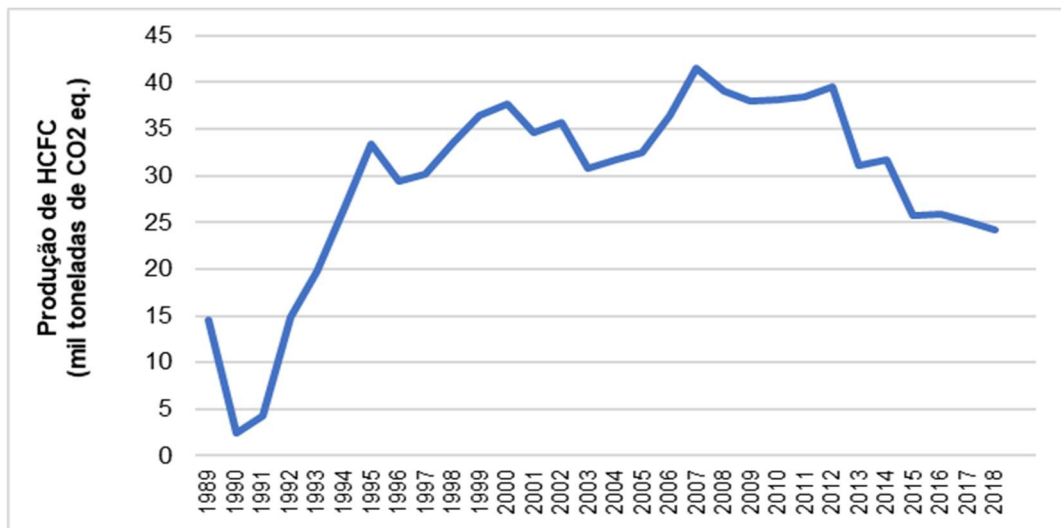


**Figura 4** - Teor global médio de CFC-12 em janeiro de cada ano (NOAA, 2020).

O motivo desta lenta diminuição na atmosfera é que, apesar de não haver mais produção dos CFC desde 2010 (Tabela 3) pelo protocolo de Montreal, o tempo de vida dos mesmos na atmosfera é de 45 anos para o CFC11 e 100 anos para o CFC12, o que significa que ainda serão necessárias várias décadas para que sejam eliminados da atmosfera. Os gases CFC foram substituídos pelos HCFC (hidroclorofluorcarbonos), os quais apresentam um menor potencial de dano na camada de ozônio e que poderão ser produzidos até 2040 (Figura 5). O HCFC22, por exemplo, tem um PDO (Potencial de Destruição do Ozônio) de 0,04 contra 1,0 do CFC11, além de um menor tempo de vida: 12 e 45 anos respectivamente, para o HCFC22 e CFC11.

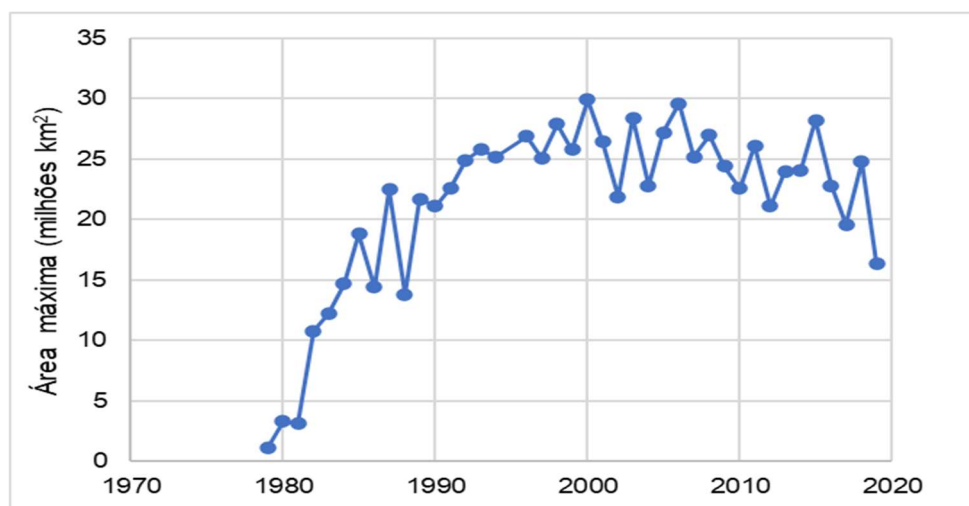
**Tabela 3** - Calendário de proibição de produção de gases com efeito na camada de ozônio pelo Protocolo de Montreal com ajustes em 2007 (UNEP, 2019).

Grupo	Tipo	100% de proibição da produção em 1º de janeiro de:
Anexo A - Grupo 1	CFC	2010
Anexo A - Grupo 2	Halons	2010
Anexo B - Grupo 1	CFC	2010
Anexo B - Grupo 2	Tetracloro de carbono	2010
Anexo B - Grupo 3	Metil clorofórmio	2015
Anexo C - Grupo 1	HCFC	2030. Permissão para produção de 2,5% entre 2030 e 2040 para uso em refrigeração e ar condicionado.
Anexo C - Grupo 2	HBFC	1996
Anexo C - Grupo 3	Clorobromometano	2002
Anexo E - Grupo 1	Brometo de metila	2015
Anexo F	HFC	Reduções a partir de 2019, chegando a 85% de redução entre 2036 e 2047 dependendo do país



**Figura 5** - Produção mundial de gases HCFC em mil toneladas de gás carbônico equivalente (UNEP, 2020b).

A redução na produção de gases com PDO nos últimos 30 anos permitiu a estabilização do tamanho do buraco na camada de ozônio, mas não o eliminou e isto deve-se ao fato de que os gases com ODP já lançados na atmosfera terem um tempo de vida muito longo. Os CFC do grupo 1, que eram os de maior produção, tem um tempo de vida entre 45 e 1020 anos! Assim, serão necessárias ainda muitas décadas, para neutralizar o efeito desses gases na camada de ozônio. Na **Figura 6** observa-se um crescimento contínuo no buraco da camada de ozônio sobre a Antártida entre 1979 e 2000, ficando entre 20 e 30 milhões de quilômetros quadrados até 2018. Em 2019 ficou abaixo de 17 milhões de quilômetros quadrados pela primeira vez desde 1988. Para se ter uma ideia da área deste buraco, a área do Brasil é de, aproximadamente, 8,5 milhões de km<sup>2</sup> (IBGE, Cartografia, 2020).



**Figura 6** - Área máxima do buraco da camada de ozônio ocorrida em cada ano no hemisfério sul (NASA, 2020)

Na 28ª reunião do Grupo Participante do Acordo de Montreal, realizada em Kigali, Ruanda, em outubro de 2016, decidiu-se controlar também os gases do tipo hidrofluorcarbono (HFC), os quais têm sido utilizados para substituir os gases com PDO (Potencial de Destruição do Ozônio). Embora não afetem a camada de ozônio, estes gases têm forte impacto no aumento do aquecimento global (**Tabela 4**). Eles deverão ser reduzidos entre 80 e 85% até 2047.

**Tabela 4** - Gases hidrofluorcarbono (HFC) controlados pelo Grupo Participante do Acordo de Montreal, em reunião realizada em Kigali, Ruanda, em 2016 (UNEP, 2020c).

Anexo F	Gás	GWP100CO2
Grupo I	HFC-32 (CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	675
	HFC-41 (CH <sub>3</sub> F)	92
	HFC-125 (CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> )	3.500
	HFC-134 (CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub> )	1.100
	HFC-134a (CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub> )	1.430
	HFC-143 (CH <sub>2</sub> FCHF <sub>2</sub> )	353
	HFC-143a (CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub> )	4.470
	HFC-152 (CH <sub>2</sub> FCH <sub>2</sub> F)	53
	HFC-152a (CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> )	124
	HFC-227ea (CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub> )	3.220
	HFC-236cb (CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> )	1.340
	HFC-236ea (CHF <sub>2</sub> CHFCF <sub>3</sub> )	1.370
	HFC-236fa (CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> )	9.810
	HFC-245ca (CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub> )	693
	HFC-245fa (CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> )	1.030
	HFC-365mfc (CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> )	794
	HFC-43-10mee (CF <sub>3</sub> CHFCHFCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> )	1.640
Grupo II	HFC-23 (CHF <sub>3</sub> )	14.800

\* GWP100CO2 = Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential) ao longo de 100 anos relativamente ao CO<sub>2</sub>, definido como 1.

## Referências Bibliográficas

CCPO, Center for Coastal Physical Oceanography. Old Dominion University. Life cycle of an ozone molecule: basic photochemistry. Chapter 2. [http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class/Chap\\_5/5\\_2.htm](http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class/Chap_5/5_2.htm) (Acesso 09-06-2020).

Chipperfield, M. P. Quantifying the ozone and ultraviolet benefits already achieved by the Montreal Protocol. Nature Communications 6, Article number: 7233. 26 May 2015, Open, <http://www.nature.com/ncomms/2015/150526/ncomms8233/full/ncomms8233.html> (Acesso 09-06-2020).

EPA, United States Environmental Protection Agency. Ozone-Depleting Substances. <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection/ozone-depleting-substances> (Acesso 09-06-2020).

Farman, J. C. et al. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction. Nature 315, 16 May 1985, p. 207-210.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartografia, 2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartografia. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e> (Acesso 09/06/2020).



IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. AR5 <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (Acesso 09-06-2020).

Molina, M. J. e Rowland, F. S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalyzed destruction of ozone. *Nature* 249, 28 June 1974, p. 810-812. <https://www.nature.com/articles/249810a0> (Acesso 09-06-2020).

NASA, National Aeronautics and Space Administration, 2018. Ozone watch. Facts. <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/SH.html> (Acesso 09-06-2020).

NASA, National Aeronautics and Space Administration, 2020. Ozone watch, Annual Records. [https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/statistics/annual\\_data.html](https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/statistics/annual_data.html) (Acesso 09-06-2020).

NOAA, National Oceanic & Atmospheric Administration, 2020. ESRL (Earth System Research Laboratory). Global Monitoring Division. CATS (Chromatograph for Atmospheric Trace Species). HATS (Halocarbons & other Atmospheric Trace Species Group). <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/hats/> (Acesso 08-06-2020).

Ozone Hole, 2006. <http://www.theozonehole.com/ozonedestruction.htm> (Acesso 09-06-2020).

Pidwirny, Michael. *Understanding Physical Geography. Part 2: Matter, Energy, and Our Planet.* chapter 4. Kindle Edition, 2014-2017.

Planetforlife, 2020. An Explanation of the Greenhouse Effect. <http://planetforlife.com/greenexplain/index.html> (Acesso 09-06-2020).

SPACEWX. Definitions of Solar Irradiance Spectral Categories. ISO 21348 [http://www.spacewx.com/pdf/SET\\_21348\\_2004.pdf](http://www.spacewx.com/pdf/SET_21348_2004.pdf). (Acesso 09-06-2020).

UNEP, United Nations Environment Programme, 2019. Handbook for the Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. 13<sup>a</sup> Ed., 2019. [https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-08/MP\\_Handbook\\_2019\\_0.pdf](https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-08/MP_Handbook_2019_0.pdf) (Acesso 09-06-2020).

UNEP, United Nations Environment Programme, 2020a. Ratifications, <https://ozone.unep.org/all-ratifications> (Acesso 09-06-2020).

UNEP, United Nations Environment Programme. 2020b. Ozone Secretariat, DATA CENTRE. <https://ozone.unep.org/countries/data> (Acesso 09-06-2020).

UNEP, United Nations Environment Programme, Control HFCs, 2020c. <http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7922-e-LegislativeandPolicyOptionstoControlHFCs.pdf> (Acesso 09-06-2020).

WMO, World Meteorological Organization, 2011. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 52, Geneva, Switzerland, 516 pp. <https://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/2010/chapters/prefaceprologue.pdf> (Acesso 09-06-2020).