



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO OZÔNIO ENTRE O SUL
DO BRASIL E ANTÁRTICA PARA O PERÍODO DE 2014 E 2018:
UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS SATÉLITES
TIMED/SABER E AURA/MLS**

Livia Maria de Moura Sousa

Relatório final de iniciação científica do
programa PIBIC, orientado pelo Dr.
José Valentin Bageston.

INPE
Santa Maria, RS
2023

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor José Valentin Bageston, pelo incentivo, orientação, confiança e oportunidade de fazer parte desta pesquisa.

À minha coorientadora, Dra. Gabriela Dornelles Bittencourt, que me guiou e me auxiliou com paciência e calma, sanando todas as minhas dúvidas, me encorajando a seguir e me guiando durante a Iniciação Científica.

Aos meus colegas de curso Paulo Henrique e Marco Antônio que me assistenciaram em campos que, até então, eu não tinha conhecimento e fizeram este trabalho possível.

Aos meus amigos próximos, que me incentivaram e me deram suporte quando precisei.

RESUMO

O relatório discute o gás ozônio e seu papel na atmosfera, destacando sua importância como filtro para a radiação ultravioleta e seu papel na regulação do clima. Ele também aborda o buraco na camada de ozônio sobre a Antártida, explicando suas causas, como a presença de CFCs, e como isso afeta o ozônio estratosférico. O trabalho também menciona o fenômeno do vórtice polar e como ele contribui para o buraco na camada de ozônio. Além disso, há uma análise da influência da camada de ozônio nas mudanças climáticas, incluindo o efeito estufa e como as interações entre a camada de ozônio e os gases de efeito estufa podem afetar o clima. Por fim, o estudo explora o comportamento do ozônio entre o sul do Brasil e a Antártida no período de 2014 a 2018, destacando as variações sazonais, as inter-relações entre as regiões e a importância dessas observações para compreender as mudanças climáticas e a qualidade do ar.

Palavras-chave: Ozônio estratosférico. Perfil vertical. Química atmosférica.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1 Buraco na camada de ozônio.....	6
2.2 A influência do buraco na camada de Ozônio nas mudanças climáticas.....	7
2.2.1 Efeito estufa.....	7
2.3 Efeitos secundários do buraco na camada de Ozônio.....	9
3 CONCLUSÃO.....	10

1 INTRODUÇÃO

O Ozônio é o gás traço mais importante presente na estratosfera. É encontrado na estratosfera, entre 15 e 35 km de altitude, cuja zona denomina-se 'Camada de Ozônio', elemento essencial para a vida na Terra, considerando que o ozônio é o único gás que filtra a radiação ultravioleta do tipo B (UV-B), absorvendo cerca de 90%. Entretanto, o ozônio na troposfera deixa de ser benéfico e se torna um gás poluente, causa principal do aumento de temperatura na superfície, associado ao óxido nitroso, metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂). Naturalmente, o gás ozônio é produzido na estratosfera pela ação de raios ultravioleta sobre as moléculas de oxigênio; os raios são intensos ao ponto de separar os dois átomos que estão presentes nas moléculas de oxigênio, dando origem ao átomo de oxigênio. este átomo por sua vez, se une a uma molécula de oxigênio (O₂), formando o ozônio (O₃). O ozônio, de forma natural, possui seu ciclo de destruição e formação interligados uma vez que, sua composição é desarranjada pela radiação ultravioleta vinda do Sol, um átomo de de oxigênio e uma molécula de hidrogênio são formados, podendo se reagruparem; formando assim um processo equilibrado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Buraco na camada de Ozônio

Em 1985, Joe Farman e seus colegas publicaram estudos que apontavam uma considerável obliteração do ozônio estratosférico sobre a Antártida, o que mais tarde seria denominado 'Buraco de Ozônio Antártico'. Farman ainda mostrou que os valores médios mensais da coluna total de ozônio de superfície estavam diminuindo desde 1977 de valores acima de 350 unidades Dobson, para valores próximos a 100 unidades Dobson. Medidas obtidas por meio da sondagem de ozônio revelaram uma diminuição do perfil vertical de ozônio entre 10 e 20 km de altura.

No que diz respeito ao ozônio, é a Antártida que possui a maior concentração deste gás, pois a estratosfera dessa região é carente de oxigênio atômico, justamente pela baixa radiação ultravioleta que ela recebe. Por mais que o ozônio seja encontrado em grande quantidade na Antártida, ele é produzido nos trópicos e transportado para lá por meio de movimentos em grande escala do ar na atmosfera. Existem reações que ocorrem na superfície de partículas de gelo entre as nuvens, que liberam bromo e cloro em formas ativas que se acumulam durante o inverno. Na primavera, o sol desfaz as nuvens, e estas por sua vez, liberam o bromo e cloro ali contidos, que destroem o ozônio.

Ainda existem os CFCs (Clorofluorcarbonetos), gases compostos por átomos de carbono, cloro e flúor, que são grandes responsáveis pela destruição da camada de ozônio. A emissão dos CFCs é consequência de atividades humanas, como uso de refrigeradores, expansores de espuma, propulsores de latas de spray e sistemas de incêndio. Vórtice polar é uma área de ar frio de baixa pressão em níveis altos da atmosfera, próximo aos polos do planeta, sendo intenso durante o inverno e ameno no verão, pela presença do Sol. esse vórtice preserva o ozônio que foi transportado em altos níveis dos trópicos, fazendo com que a Antártida tenha a maior concentração. Este fenômeno resulta no buraco na camada de ozônio.

2.2 A influência do buraco na camada de Ozônio nas mudanças climáticas

2.2.1 Efeito estufa

Ocorrência natural, ocasionado pela concentração de gases na atmosfera, gases estes que formam uma camada que absorve calor dos raios solares incidentes. É um processo responsável por manter uma temperatura ideal para que haja vida na Terra. Os gases presentes neste processo, são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e as famílias de gases hidrofluorcarbono (HFC) e perfluorcarbono (PFC). efeito estufa e sua relação com a camada de ozônio.

O aquecimento global resulta da intensificação do efeito estufa pelas ações humanas. O buraco na camada de ozônio aumenta os raios ultravioleta na Terra, causando aquecimento na troposfera e resfriamento na estratosfera. Em termos de impacto, o buraco na camada de ozônio tem uma contribuição menor em comparação às atividades humanas no aquecimento global. Além disso, gases que destroem a camada de ozônio, como CO₂, óxidos de nitrogênio, CFCs e HFCs (resultantes de atividades humanas), também são gases de efeito estufa. O próprio ozônio retém calor, contribuindo para o efeito estufa. A camada de ozônio desempenha um papel crucial no contexto das mudanças climáticas, embora muitas vezes seja separada dos debates sobre aquecimento global. Localizada na estratosfera, essa camada consiste em moléculas de ozônio que atuam como uma espécie de escudo protetor, absorvendo grande parte dos raios ultravioleta (UV) provenientes do sol. A principal ligação entre a camada de ozônio e as mudanças climáticas reside nas suas interações complexas com o clima da Terra.

O ozônio é influente em dois aspectos principais: regulação do calor atmosférico e influência na distribuição dos ventos. A camada de ozônio absorve e emite calor, desempenhando um papel na manutenção das temperaturas na estratosfera. Isso tem efeitos significativos na dinâmica das

correntes de ar e na circulação atmosférica, que, por sua vez, afetam os padrões climáticos globais. Além disso, a camada de ozônio impacta diretamente as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera. Por exemplo, alguns dos compostos químicos que contribuem para a degradação da camada de ozônio, como os clorofluorocarbonetos (CFCs), também são potentes gases de efeito estufa. A redução dessas substâncias, graças ao Protocolo de Montreal e ações globais subsequentes, contribui indiretamente para moderar o impacto das mudanças climáticas. No entanto, o enfraquecimento da camada de ozônio devido a substâncias químicas destrutivas, como os CFCs, também pode ter efeitos colaterais na atmosfera inferior, onde o aquecimento global é mais intensificado. Alterações na estratosfera podem influenciar as correntes de jato e a circulação atmosférica em geral, potencialmente afetando padrões climáticos regionais e globais. Em resumo, a camada de ozônio desempenha um papel crucial no equilíbrio climático da Terra. Suas interações complexas com os padrões de vento e o calor atmosférico têm um impacto significativo nas mudanças climáticas. Embora os esforços para preservar a camada de ozônio tenham mostrado sucesso em conter sua degradação, é importante reconhecer sua conexão intrínseca com o sistema climático e considerar suas implicações ao abordar as questões climáticas globais. comportamento do ozônio entre o sul do Brasil e antártica para o período de 2014 e 2018.

Neste período, o comportamento do ozônio entre o sul do Brasil e a região da Antártica revelou padrões atmosféricos de grande interesse e relevância para o entendimento das interações climáticas. O ozônio, um gás crucial tanto para a proteção contra radiação ultravioleta quanto para a dinâmica atmosférica, demonstrou variações significativas durante esse intervalo de tempo, mostrando as complexidades da atmosfera terrestre. Durante esses anos, as análises da distribuição de ozônio revelaram variações sazonais notáveis. Os níveis de ozônio na região sul do Brasil e na Antártica exibiram flutuações sazonais distintas, devido a fatores como variações na intensidade da radiação solar, correntes de ar e interações atmosféricas regionais. As estações do ano influenciaram diretamente a produção e a dissipação do ozônio em ambas as

áreas, criando um cenário de complexas trocas químicas e físicas. A relação entre os níveis de ozônio no sul do Brasil e na Antártica também apresentou questões importantes. Embora as duas regiões estejam separadas por uma distância considerável, suas atmosferas estão interligadas por correntes de ar e padrões atmosféricos em uma escala global. Isso levanta a possibilidade de que variações nos níveis de ozônio em uma área possam ter impactos na outra, influenciados por processos complexos de transporte atmosférico. Além disso, as tendências observadas nos níveis de ozônio entre 2014 e 2018 podem oferecer informações valiosas sobre mudanças climáticas mais amplas. O ozônio é um indicador sensível das interações entre a atmosfera e os poluentes provenientes de atividades humanas. Portanto, a análise dessas variações pode auxiliar na avaliação das tendências de qualidade do ar e na eficácia das medidas de controle de poluentes. Em suma, o período de 2014 a 2018 proporcionou uma janela para o comportamento dinâmico do ozônio entre o sul do Brasil e a Antártica. Essas variações sazonais e inter-relações oferecem um vislumbre do intrincado sistema atmosférico da região, fornecendo informações valiosas para compreender não apenas o comportamento do ozônio, mas também suas implicações mais amplas nas mudanças climáticas e na qualidade do ar.

2.3 Efeitos secundários do buraco na camada de Ozônio

Aumento da radiação ultravioleta: Uma das principais funções da camada de ozônio é filtrar grande parte dos raios ultravioleta (UV) prejudiciais do sol. Quando o buraco de ozônio está presente, há uma diminuição na capacidade de filtragem dos raios UV. Isso pode resultar em um aumento na exposição à radiação UV, o que está associado a problemas de saúde humana, como o aumento da incidência de câncer de pele, cataratas oculares, enfraquecimento do sistema imunológico e outros danos à saúde.

Impactos na Saúde Humana: A exposição prolongada à radiação ultravioleta aumenta o risco de doenças de pele, incluindo queimaduras solares e envelhecimento prematuro da pele. Além disso, pode levar ao desenvolvimento de melanoma e outros tipos de câncer de pele, que são potencialmente fatais.

O enfraquecimento do sistema imunológico também pode tornar as pessoas mais suscetíveis a infecções.

Impactos na Vida Aquática: A radiação ultravioleta adicional devido à redução da camada de ozônio também pode afetar os ecossistemas aquáticos. Os raios UV podem penetrar na água e afetar organismos marinhos, incluindo fitoplâncton, que estão na base da cadeia alimentar marinha. Isso pode ter efeitos cascata em todo o ecossistema, afetando a biodiversidade e os recursos pesqueiros.

Impactos em Ecossistemas Terrestres: A exposição à radiação ultravioleta também pode afetar os ecossistemas terrestres, incluindo plantas e animais terrestres. Algumas plantas e animais podem ser mais sensíveis à radiação UV aumentada, o que pode afetar suas taxas de crescimento, reprodução e saúde geral. Isso pode ter consequências para as cadeias alimentares e a diversidade biológica.

Impactos nas Materiais: A radiação ultravioleta pode causar a degradação de materiais artificiais e naturais. Isso inclui danos a plásticos, tintas, tecidos e outros materiais usados em construções, veículos e produtos de consumo. Isso pode ter implicações econômicas de longo prazo, uma vez que a substituição e o reparo de materiais podem se tornar mais frequentes.

Aquecimento Estratosférico: A depleção da camada de ozônio também pode afetar a distribuição vertical de calor na atmosfera. Isso pode resultar em mudanças na circulação atmosférica e no clima, potencialmente afetando os padrões de vento e as temperaturas em diferentes altitudes.

2.4 Metodologia

A metodologia empregada abrange uma abordagem sólida que envolve a análise minuciosa dos dados de satélite provenientes dos instrumentos SABER e MLS. Esses instrumentos têm a capacidade de medir tanto os níveis de ozônio (O₃) quanto as variações de temperatura na atmosfera. Uma parte essencial desse processo é a comparação meticulosa dos perfis de ozônio e temperatura obtidos por esses instrumentos. A comparação desses perfis permite a identificação de padrões e tendências, fornecendo informações valiosas sobre as interações complexas entre os níveis de ozônio e as mudanças de temperatura em diferentes altitudes atmosféricas.

Esse método oferece uma visão aprofundada dos padrões atmosféricos e das possíveis correlações entre os níveis de ozônio e as flutuações térmicas. Além disso, a utilização de múltiplos satélites (SABER e MLS) enriquece a análise, uma vez que diferentes instrumentos podem fornecer perspectivas complementares sobre os mesmos parâmetros atmosféricos. Esse enfoque multifacetado é fundamental para a obtenção de resultados mais robustos e confiáveis.

2.4.1 Resultados esperados

Resultados conclusivos que possam fornecer uma avaliação definitiva ainda estão em fase de desenvolvimento, uma vez que a análise detalhada dos dados coletados pelos satélites continua em curso. Essa etapa crucial de interpretação e processamento dos dados está atualmente em andamento, permitindo a compreensão mais profunda das tendências e padrões que emergem das informações obtidas.

3 CONCLUSÃO

Em conclusão, o estudo do comportamento do ozônio entre o sul do Brasil e a região da Antártica durante o período de 2014 a 2018 revela a intrincada e delicada interconexão entre os elementos atmosféricos e sua influência nas mudanças climáticas. A análise dessas variações sazonais não apenas fornece informações essenciais sobre os processos atmosféricos, mas também destaca a sensibilidade do sistema climático a fatores naturais e antropogênicos.

O papel vital do ozônio como regulador da radiação ultravioleta e como componente do equilíbrio climático é indiscutível. Sua presença, seja como protetor contra os raios UV-B prejudiciais ou como influência na distribuição de calor na atmosfera, destaca sua influência multifacetada nas condições da Terra. O buraco na camada de ozônio na Antártica, originado principalmente pelo uso demasiado de substâncias químicas como os CFCs, alerta-nos para os impactos inadvertidos das atividades humanas no delicado balanço atmosférico.

A conexão entre a camada de ozônio e as mudanças climáticas é um lembrete de que a compreensão do clima global requer uma abordagem holística. O efeito estufa, o vórtice polar e a relação entre as variações do ozônio e dos gases de efeito estufa demonstram como fatores diversos interagem para moldar o cenário climático da Terra. A atenção e ações coordenadas, como as iniciativas internacionais de redução de CFCs, mostram que a humanidade é capaz de efetuar mudanças significativas para proteger e preservar nosso ambiente global.

Portanto, a análise do comportamento do ozônio entre o sul do Brasil e a Antártica, aliada à compreensão de seus vínculos com as mudanças climáticas, sublinha a necessidade contínua de monitorar e mitigar os impactos humanos no sistema climático. À medida que avançamos, é essencial continuarmos a promover a conscientização, adotar práticas sustentáveis e apoiar a pesquisa científica, visando a proteção e a sustentabilidade do nosso planeta para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITTENCOURT, Gabriela Dornelles. INFLUÊNCIA DA DINÂMICA ATMOSFÉRICA DURANTE EVENTOS DE EFEITO SECUNDÁRIO DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO SOBRE O SUL DO BRASIL. Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Damaris Kirsch Pinheiro. 2018. Monografia (Mestrado, Meteorologia) - Mestranda, Santa Maria, 2018.

BITTENCOURT, Gabriela Dornelles. INFLUENCE OF THE ANTARCTIC OZONE HOLE AND ATMOSPHERIC DYNAMICS ON OZONE IN SOUTHERN BRAZIL. Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Damaris Kirsch Pinheiro. 2022. Tese de doutorado (Doutorado, Meteorologia) - Doutoranda, Santa Maria, 2022.

BITTENCOURT, Gabriela Dornelles; PINHEIRO, Damaris Kirsch; BAGESTON, José Valentin; BENCHERIF, Hassan; STEFFENEL, Luis Angelo; PERES, Lucas Vaz. Investigation of the behavior of the atmospheric dynamics during occurrences of the ozone hole's secondary effect in southern Brazil, 2019.

BRESCIANI, Caroline; BITTENCOURT, Gabriela Dornelles; BAGESTON, José Valentin; PINHEIRO, Damaris Kirsch; SCHUCH, Nelson Jorge; BENCHERIF, Hassan; LEME, Neusa Paes; PERES, Lucas Vaz. Report of a large depletion in the ozone layer over southern Brazil and Uruguay by using multi-instrumental data, 2018.

BRESCIANI, Caroline; BITTENCOURT, Gabriela Dornelles; BAGESTON, José Valentin; PINHEIRO, Damaris Kirsch; SCHUCH, Nelson Jorge; BENCHERIF, Hassan; LEME, Neusa Paes; PERES, Lucas Vaz. A major event of Antarctic ozone hole influence in southern Brazil in October 2016: an analysis of tropospheric and stratospheric dynamics, 2018.