



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

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**

Lívia Maria de Moura Sousa

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

INPE
Santa Maria, RS
2024

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor José Valentin Bageston, pela confiança e por me conceder a oportunidade de participar desta pesquisa.

À minha coorientadora, Dra. Gabriela Dornelles Bittencourt, pela paciência e serenidade ao me guiar, esclarecer todas as dúvidas e me encorajar ao longo da Iniciação Científica.

Aos meus colegas de curso, Paulo Henrique e Marco Antônio, que me ajudaram em áreas nas quais eu ainda não tinha conhecimento, tornando este trabalho possível.

À minha família e aos meus amigos próximos, que sempre me incentivaram e me apoiaram em todas as minhas decisões e desafios.

RESUMO

O ozônio (O_3) é o gás traço mais importante presente na estratosfera, e é encontrado entre 15 e 35 km de altitude, cuja zona denomina-se 'Camada de Ozônio'. É responsável pela absorção dos raios ultravioletas (UV) e combinado com o vapor d'água (H_2O) e o dióxido de carbono (CO_2), é também responsável pelo balanço energético da Terra. Estudos apontaram uma destruição temporária do conteúdo de ozônio estratosférico sobre a Antártica durante a primavera no hemisfério sul, o que é conhecido como 'Buraco de Ozônio Antártico' (BOA). Essa destruição temporária possui influência direta no ozônio em regiões polares e proximidades, resultando em uma forte redução de ozônio e no aumento dos níveis de radiação UV incidentes na superfície do planeta. Massas de ar carentes em ozônio podem se desprender do Buraco de Ozônio Antártico e atingir regiões de baixas e médias latitudes; fenômeno chamado 'Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico'. O objetivo deste estudo é observar o comportamento do ozônio no período de 2014 a 2018, utilizando dados dos satélites TIMED/SABER e AURA/MLS entre a região Antártica e o sul da América do Sul; usando como base dois pontos principais: a cidade de Santa Maria no Rio Grande do Sul (latitude: -29.69 e longitude: -53.80) e a Estação Antártica Comandante Ferraz, na continente Antártico (latitude: -62.09 e longitude: -58.39). A metodologia utilizada compreende a análise dos perfis diários disponíveis para as regiões de estudo, comparando as médias mensais entre os dois satélites através do perfil vertical da coluna total de ozônio e temperatura. As primeiras análises mostram que as duas bases de dados apresentam comportamento semelhante, principalmente na região estratosférica, além disso no período de atividade do Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico é observada uma diminuição no conteúdo de ozônio, e consequentemente uma diminuição no perfil vertical de temperatura no mesmo período.

Palavras-chave: Ozônio; Buraco de Ozônio Antártico; Ozônio estratosférico; Perfil vertical.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1 Satélites.....	6
2.1.1 AURA/MLS.....	6
2.1.2 TIMED/SABER.....	6
2.2 Buraco de Ozônio Antártico (BOA).....	7
3. METODOLOGIA.....	8
4. RESULTADOS.....	8
4.1 Perfis mensais de 2014.....	9
4.1.1 Satélite AURA/MLS.....	9
4.1.2 Satélite TIMED/SABER.....	11
4.2 Perfis mensais de 2015.....	14
4.2.1 Satélite AURA/MLS.....	14
4.2.2 Satélite TIMED/SABER.....	16
4.3 Perfis mensais de 2016.....	18
4.3.1 Satélite AURA/MLS.....	18
4.3.2 Satélite TIMED/SABER.....	21
4.4 Perfis mensais de 2017.....	23
4.4.1 Satélite AURA/MLS.....	23
4.4.2 Satélite TIMED/SABER.....	26
4.5 Perfis mensais de 2018.....	28
4.5.1 Satélite AURA/MLS.....	28
4.5.2 Satélite TIMED/SABER.....	30
5. CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O ozônio (O₃) é um dos gases traço mais importantes presentes na atmosfera, sua maior concentração está na estratosfera, entre 15 e 35 quilômetros, e é denominada como “Camada de ozônio”. É o único gás que filtra a radiação ultravioleta do tipo B (UV-B), absorvendo aproximadamente 90%, o que auxilia no balanço energético da Terra e protege os seres vivos. O ozônio também desempenha um papel importante na dinâmica atmosférica e nos processos químicos que ocorrem na estratosfera. Alterações na concentração de ozônio, causadas tanto por fenômenos naturais quanto por atividades humanas, como a emissão de clorofluorcarbonos (CFCs), podem impactar diretamente o clima e a saúde dos ecossistemas. A diminuição dessa camada, conhecida como “Buraco na camada de ozônio”, tem sido objeto de preocupação global, devido aos seus efeitos adversos.

O monitoramento do conteúdo de ozônio atmosférico através de satélites tem sido uma ferramenta essencial para a compreensão e acompanhamento das variações globais e regionais deste gás ao longo das últimas décadas. Os satélites equipados com sensores especializados permitem a detecção e quantificação do ozônio ao medir a radiação ultravioleta e infravermelha que é absorvida ou refletida pela atmosfera. Esses sensores são capazes de gerar mapas globais de concentração de ozônio com alta resolução, fornecendo dados contínuos sobre a distribuição espacial e temporal do gás. A tecnologia de monitoramento por satélite também desempenha um papel crucial na identificação e acompanhamento do “Buraco de Ozônio Antártico”, região principal que, nas últimas décadas, foi observado uma redução drástica nas concentrações de ozônio devido à emissão de substâncias como os clorofluorcarbonos (CFCs). Além disso, os satélites possibilitam o monitoramento do ozônio em diferentes altitudes, permitindo a distinção entre o ozônio troposférico, que é um poluente perigoso, e o ozônio estratosférico. Combinando medições de diferentes instrumentos, é possível mapear com precisão a espessura e a concentração da camada de ozônio, contribuindo para estudos sobre mudanças climáticas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Satélites

2.1.1 AURA/MLS

O satélite Aura é uma missão da NASA lançada como parte do programa "Earth Observing System" (EOS). Sua principal missão é estudar a atmosfera da Terra, com foco em sua composição química, incluindo a camada de ozônio, gases de efeito estufa, poluentes do ar e a interação entre esses componentes. O satélite Aura carrega quatro instrumentos científicos principais, um dos quais é o Microwave Limb Sounder (MLS).

O MLS é responsável por medir a radiação de micro-ondas emitida pela atmosfera da Terra. Ele observa a atmosfera na "borda" do planeta, o que permite a obtenção de perfis verticais detalhados de várias espécies químicas, temperatura, e pressão em diferentes altitudes. Seus objetivos principais são: visualizar a estabilidade da camada de ozônio estratosférica, obter dados que ajudem nos estudos de mudanças climáticas e observar a qualidade do ar. O MLS usa microondas para sondar a atmosfera, e sua resolução vertical é por volta de 3 quilômetros, mas pode medir concentrações de gases em altitudes que variam de 8 a 90 quilômetros.

2.1.2 TIMED/SABER

O satélite TIMED (Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics) é uma missão da NASA lançada com o objetivo de estudar as camadas superiores da atmosfera da Terra, especificamente a termosfera, a ionosfera e a mesosfera. O foco principal do TIMED é investigar a energia e a dinâmica nessas regiões, que são influenciadas por forças tanto do espaço quanto da superfície terrestre.

O SABER (Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry) é um dos quatro instrumentos a bordo do satélite TIMED. Ele é crucial para medir a radiação infravermelha emitida por diferentes constituintes

da atmosfera, o que permite estudar a composição, a temperatura e a dinâmica das camadas superiores da atmosfera. Seu objetivo principal é prover dados que contribuam com estudos de energia, química, dinâmica e transportes que acontecem na mesosfera e baixa termosfera. Ele é um radiômetro 3 de banda larga que opera em 10 canais espectrais, medindo a radiação infravermelha em diferentes comprimentos de onda. Isso permite a obtenção de perfis verticais da atmosfera para várias espécies químicas e parâmetros de energia.

2.2 Buraco de Ozônio Antártico (BOA)

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.

3. METODOLOGIA

O tema do presente trabalho está correlacionado a dois fenômenos atmosféricos: O Buraco de Ozônio Antártico e o Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico sobre o sul do Brasil; fenômenos esses que apresentam variações no conteúdo de ozônio.

Para observar o comportamento do ozônio entre o sul do Brasil e a Antártica, foram usados dois locais de referência: a cidade de Santa Maria-RS (latitude: -29.69 e longitude: -53.80) no Brasil, e a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) (latitude: -53.80 e longitude -58.39), na Antártica. Utilizando dados de temperatura e conteúdo de ozônio, disponibilizados online nos sites oficiais dos satélites AURA/MLS e TIMED/SABER, para os anos de 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018, foram feitos perfis mensais mostrando o comportamento de ambas as variáveis. A partir disso, foram feitas comparações entre ambos os satélites.

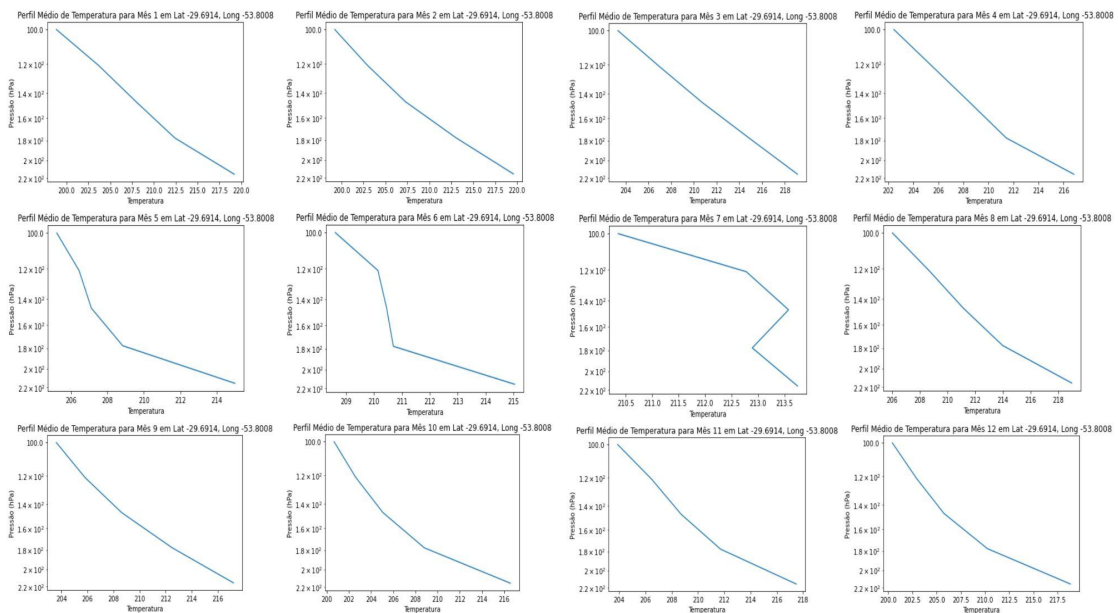
4. RESULTADOS

Foram gerados perfis mensais para os anos que o presente trabalho abrange, e após isso, houve a comparação entre como os satélites AURA/MLS e TIMED/SABER representam os dados de temperatura e ozônio.

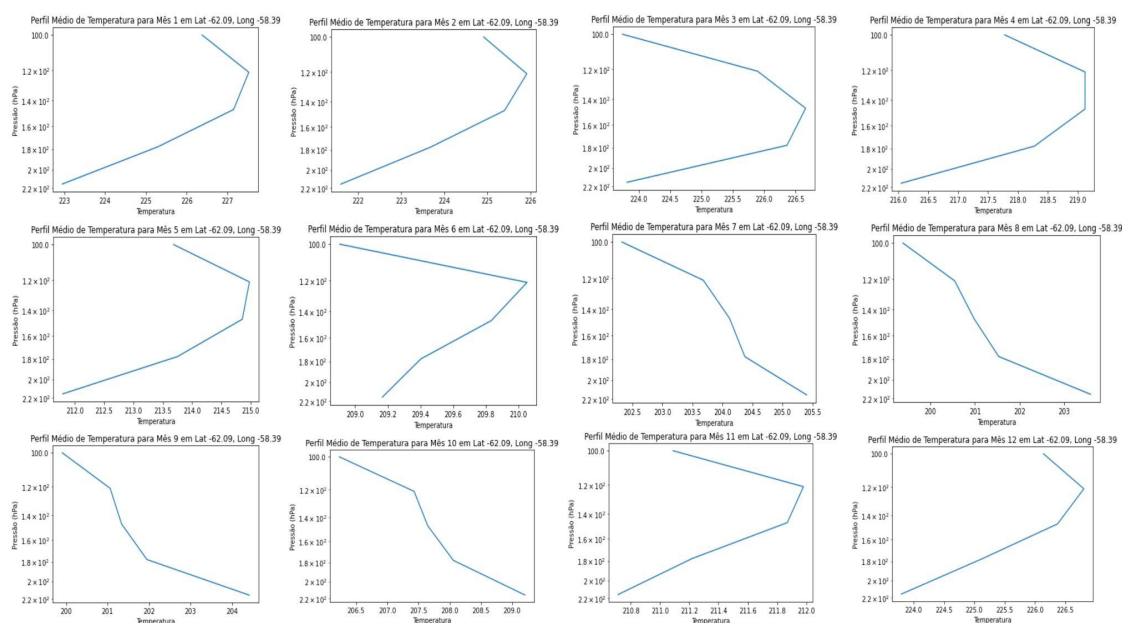
No AURA/MLS os dados de temperatura e ozônio ficam em arquivos separados, por isso existem dois quadros anuais de perfis mensais, onde um exibe apenas o comportamento da temperatura e o outro o comportamento do ozônio. Já no TIMED/SABER os dados de temperatura e ozônio ficam guardados no mesmo arquivo, permitindo que as duas variáveis sejam exibidas ao mesmo tempo no mesmo perfil, desse modo, há apenas um quadro anual reunindo todos os perfis mensais para aquele ano.

4.1 Perfis mensais de 2014

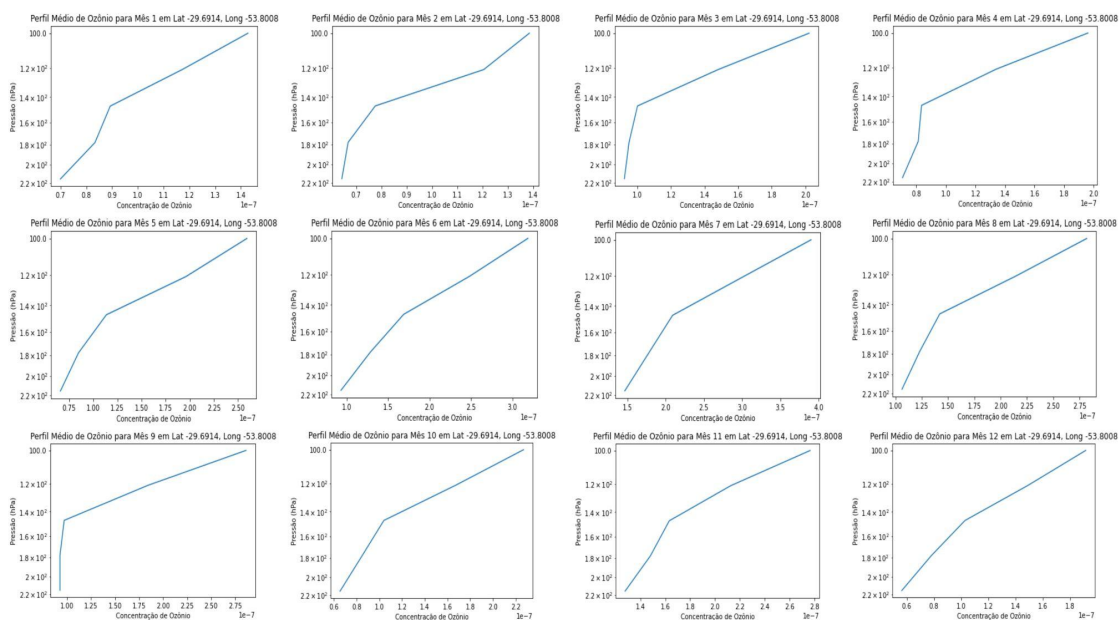
4.1.1 Satélite AURA/MLS



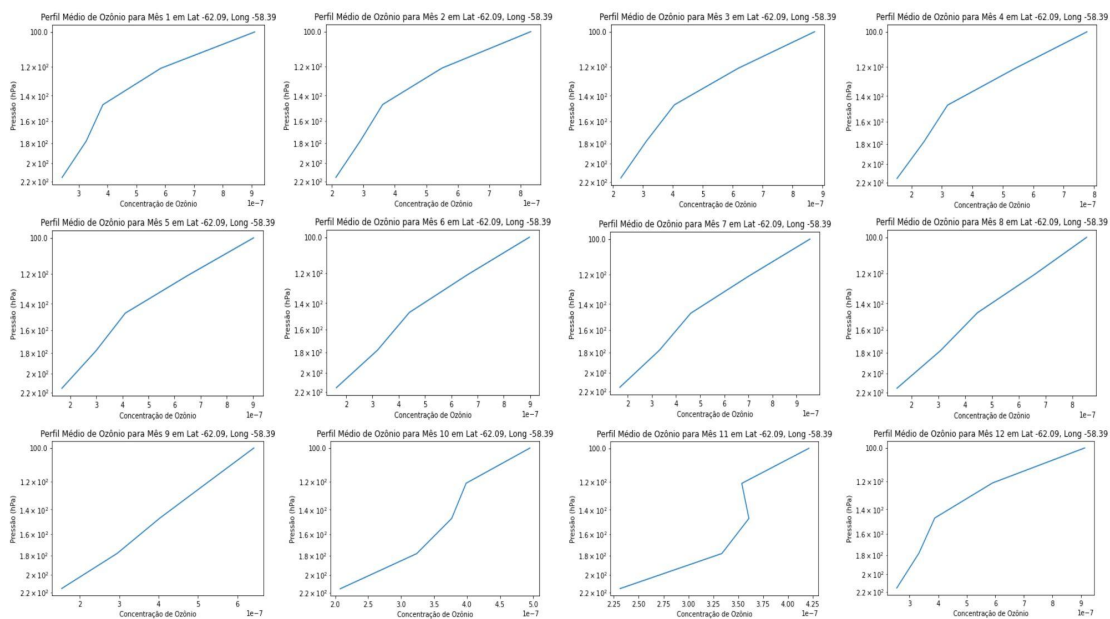
Perfil de temperatura para o ano de 2014, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.



Perfil de temperatura para o ano de 2014, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

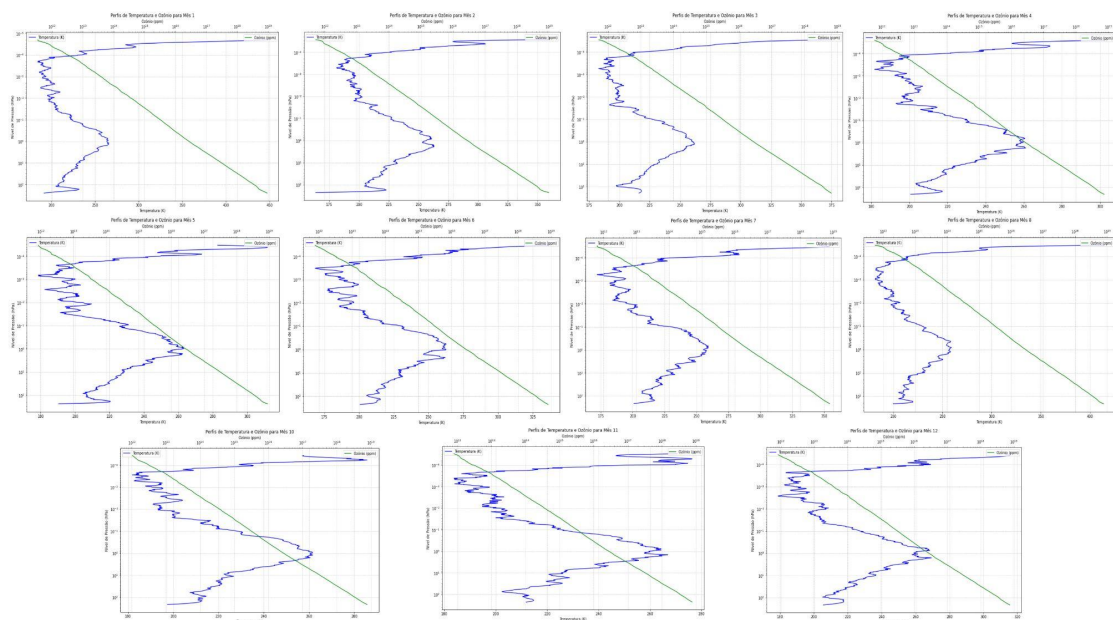


Perfil de ozônio para o ano de 2014, em Santa Maria, BR. O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.



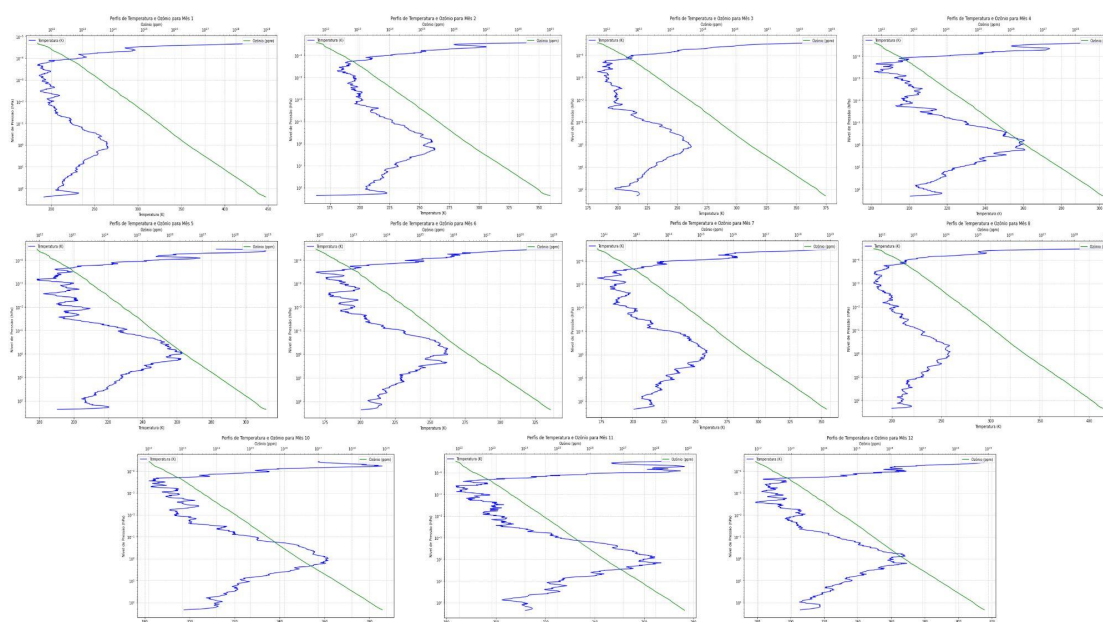
Perfil de ozônio para o ano de 2014, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

4.1.2 Satélite TIMED/SABER



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2014, em Santa Maria, BR. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o

conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2014, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.

Em 2014, as variações de temperatura com a altitude apresentaram comportamentos distintos na EACF e Santa Maria ao longo do ano. Na EACF, durante o verão, houve um aumento de temperatura com a altitude devido ao aquecimento solar direto, enquanto no inverno, a inversão térmica prevaleceu, com temperaturas mais baixas nas camadas inferiores, um fenômeno comum na Antártica. Em Santa Maria, a temperatura diminui com a altitude em janeiro, fevereiro, março, abril e maio, assim como durante os meses de inverno, mas em setembro, outubro e novembro a queda de temperatura foi mais gradual, refletindo a transição para o verão, culminando com um aumento significativo em dezembro.

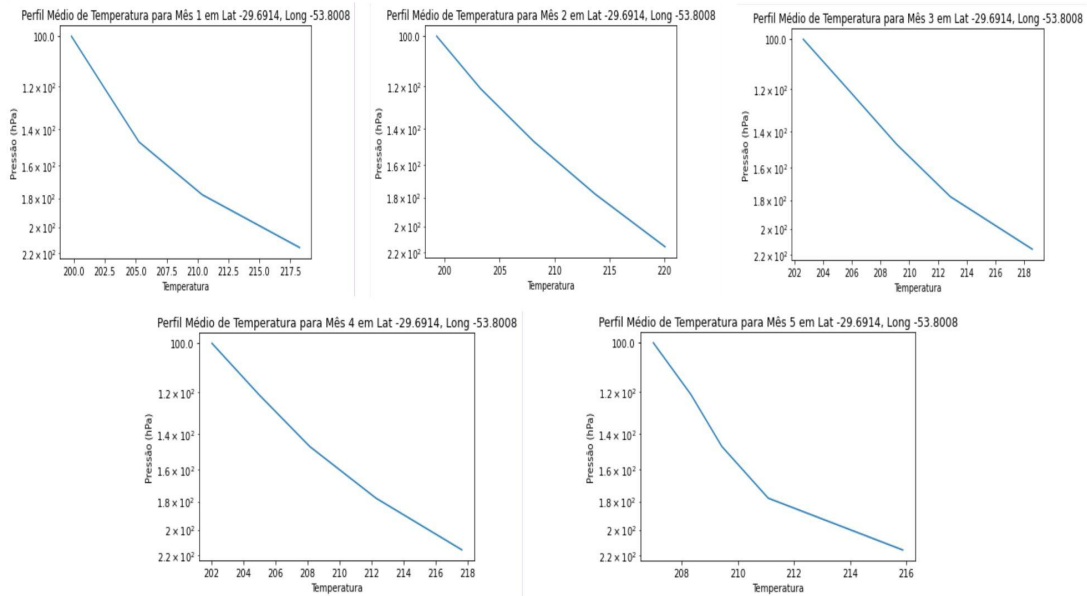
Em 2014, as concentrações de ozônio na EACF e Santa Maria apresentaram variações sazonais similares, influenciadas principalmente pela radiação solar. Na EACF, de janeiro a agosto, houve um aumento na concentração de ozônio

com a altitude, devido ao retorno da luz solar após o inverno polar, promovendo a formação de ozônio pela fotodissociação do oxigênio molecular. No entanto, a partir de setembro, o início da destruição do ozônio, causada pelo Buraco de Ozônio Antártico, resultou em uma queda acentuada nas concentrações, especialmente em altitudes mais elevadas, com sinais de recuperação observados em dezembro. Em Santa Maria, no verão, a concentração de ozônio também aumentou com a altitude devido à forte radiação solar, enquanto no outono, o aumento continuou de forma mais suave à medida que a radiação solar diminuía. No inverno, o aumento com a altitude foi mais pronunciado, com menor destruição de ozônio, e na primavera, embora ainda houvesse aumento de concentração com a altitude, a radiação solar mais intensa começou a reduzir levemente as concentrações nas camadas inferiores, preparando o perfil para o padrão mais acentuado do verão.

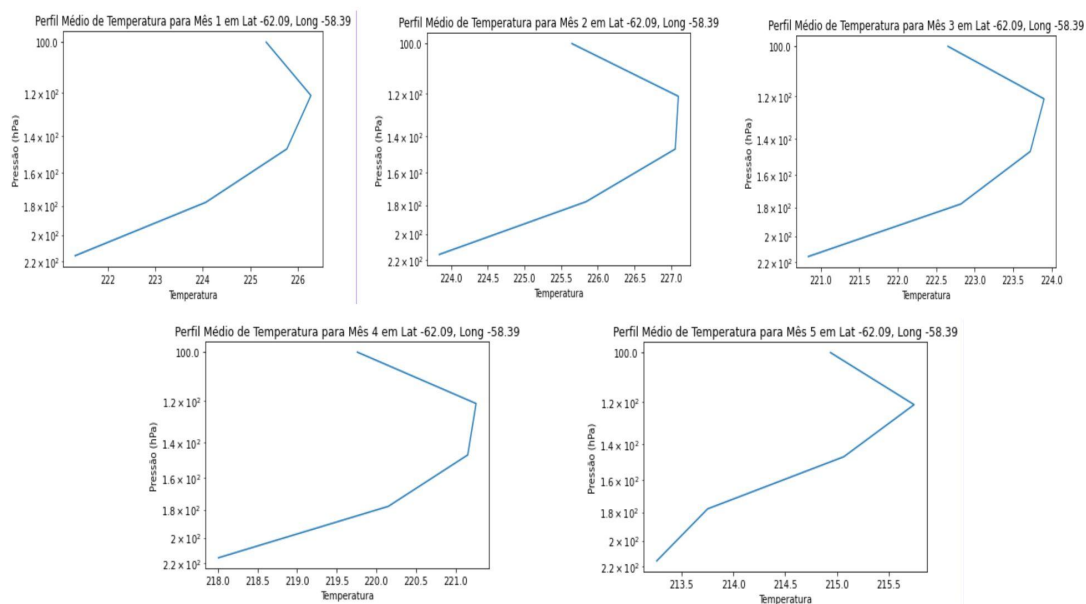
No processo de plotagem dos dados do TIMED/SABER, o computador encontrou inconsistências para processar os dados do mês de setembro, portanto não foi possível obter um perfil mensal deste mês.

4.2 Perfis mensais de 2015

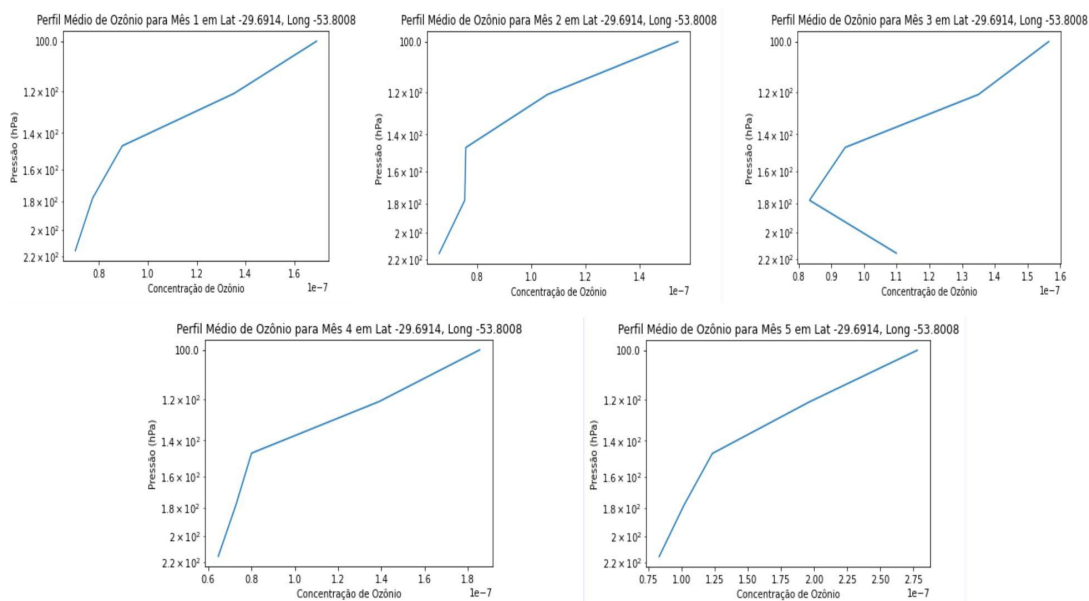
4.2.1 Satélite AURA/MLS



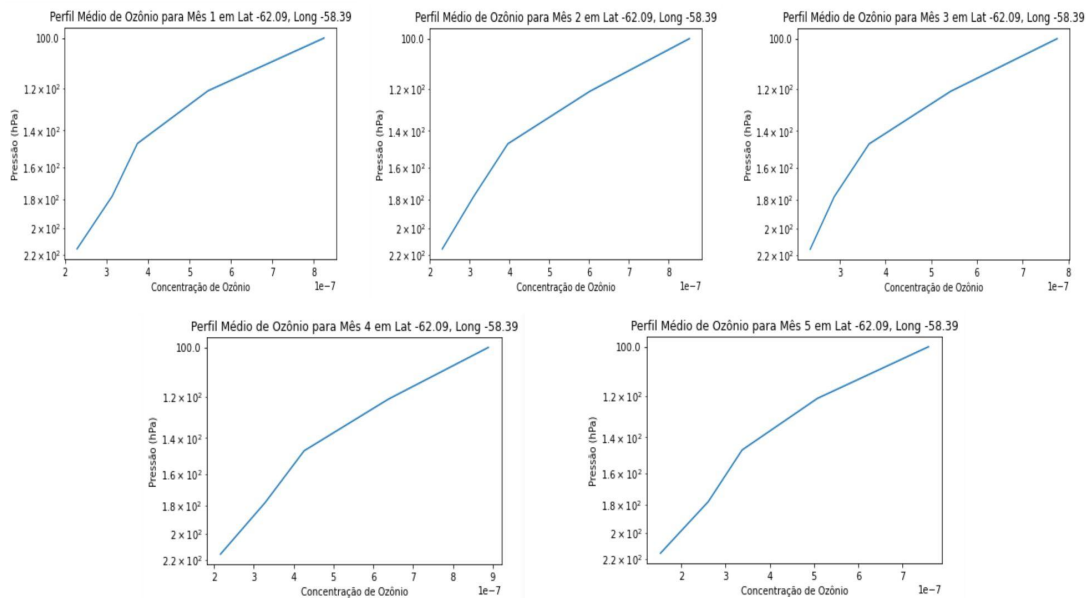
Perfil de temperatura para o ano de 2015, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.



Perfil de temperatura para o ano de 2015, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

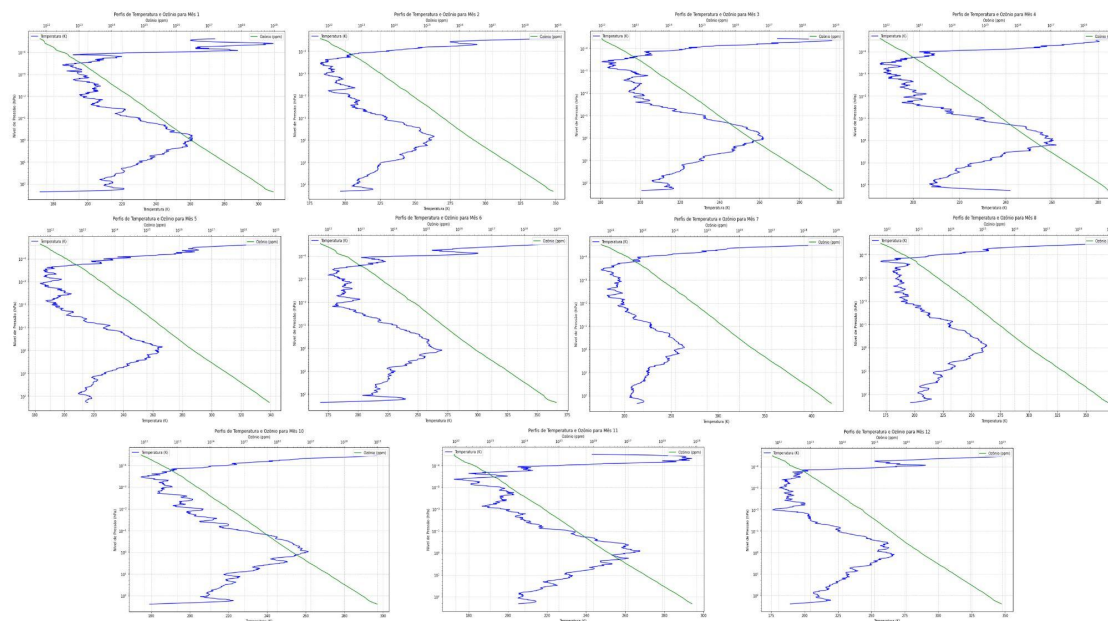


Perfil de ozônio para o ano de 2015, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

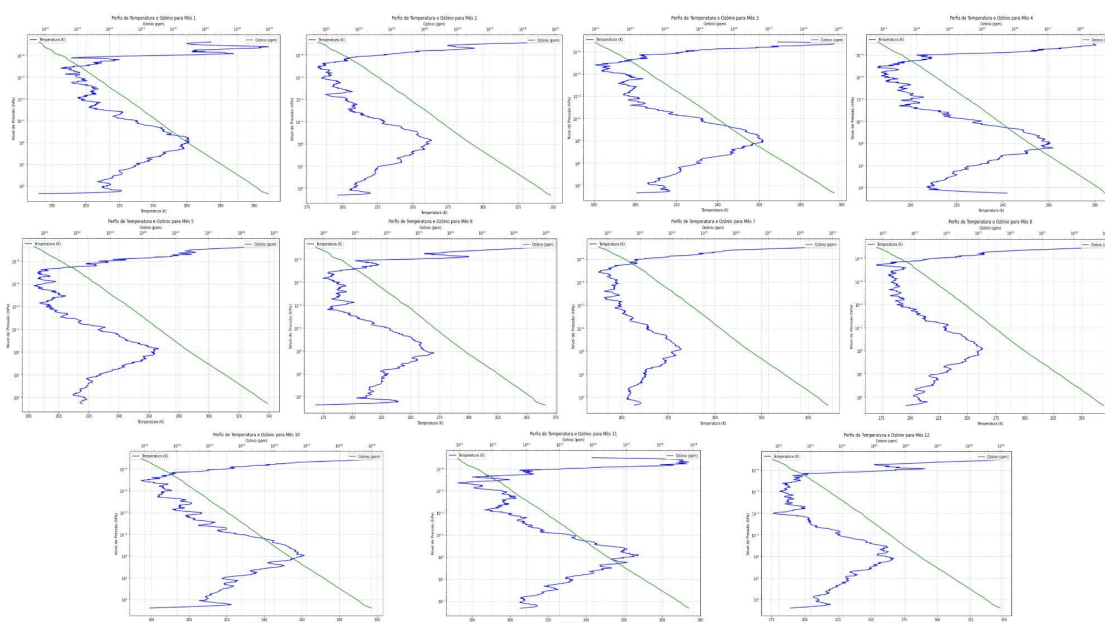


Perfil de ozônio para o ano de 2015, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

4.2.2 Satélite TIMED/SABER



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2015, em Santa Maria, BR. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2015, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.

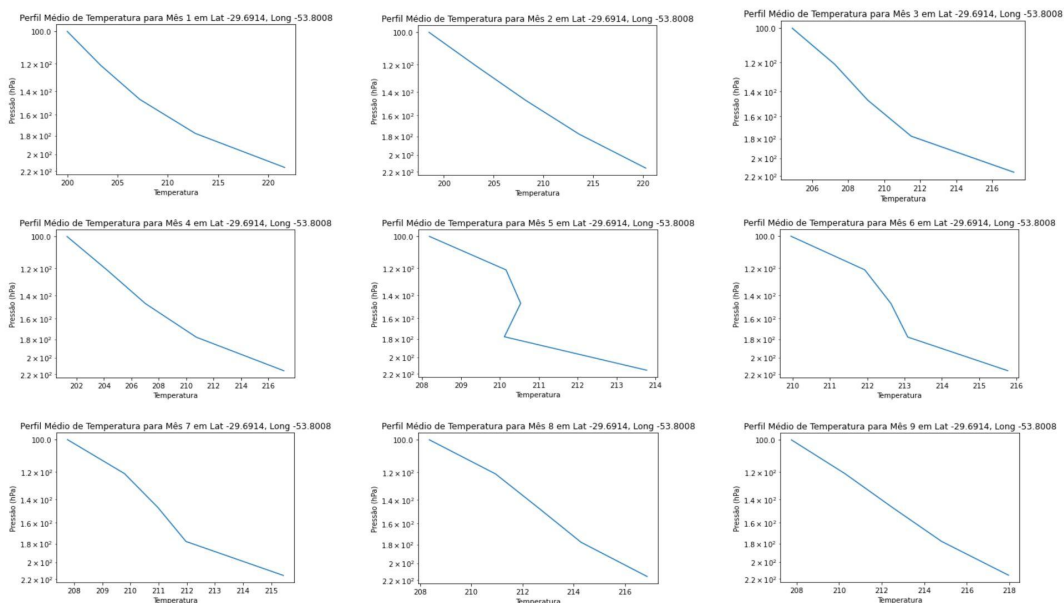
A temperatura na EACF apresenta um padrão de inversão térmica durante o inverno (junho a agosto), em que as camadas inferiores são mais frias do que as superiores, devido ao intenso resfriamento da superfície. No verão (janeiro, fevereiro, novembro e dezembro), ocorre um aquecimento significativo nas camadas superiores, resultado da radiação solar direta. Em Santa Maria, a temperatura também diminui com a altitude, mas sem a inversão térmica tão acentuada como na Antártica. No verão, observa-se um leve aquecimento nas camadas superiores, semelhante ao padrão da EACF, mas com uma amplitude térmica menor, já que Santa Maria não enfrenta condições climáticas tão extremas.

As concentrações de ozônio na EACF e em Santa Maria apresentaram variações sazonais semelhantes, influenciadas pela radiação solar. Na EACF, de janeiro a agosto, houve aumento de ozônio com a altitude devido ao retorno da luz solar após o inverno polar, enquanto a partir de setembro, o Buraco de Ozônio Antártico provocou uma queda acentuada, com sinais de recuperação em dezembro. Em Santa Maria, o aumento de ozônio com a altitude foi mais forte no verão e inverno, diminuindo no outono e primavera, quando a radiação solar mais intensa começou a reduzir as concentrações nas camadas inferiores.

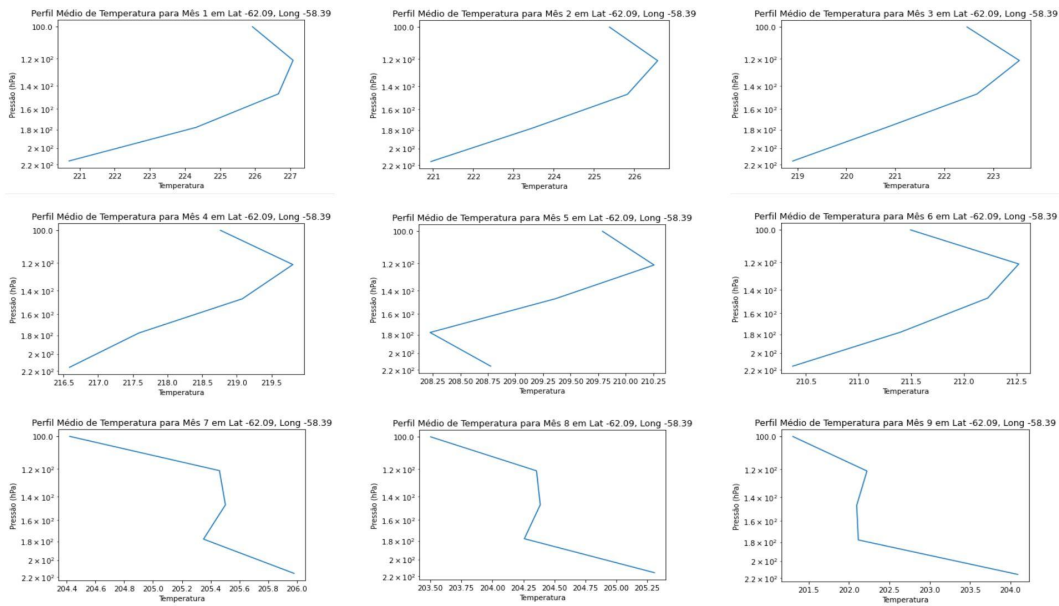
O computador encontrou imprecisões na plotagem dos perfis do AURA/MLS, gerando apenas perfis para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio. Já na leitura dos arquivos para a plotagem dos perfis do TIMED/SABER, o computador teve problemas com os dados do mês de setembro.

4.3 Perfis mensais de 2016

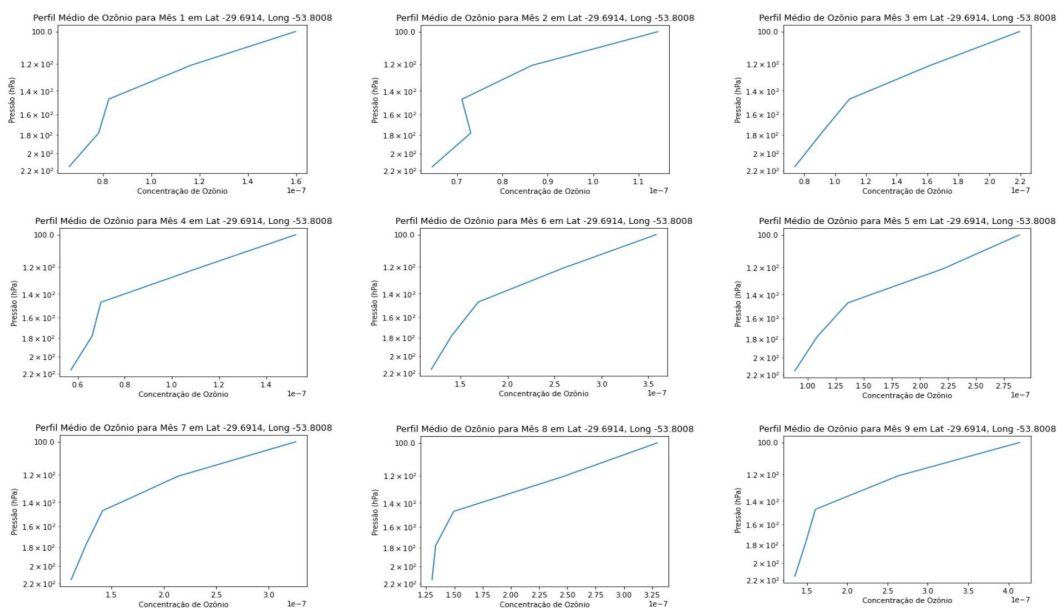
4.3.1 Satélite AURA/MLS



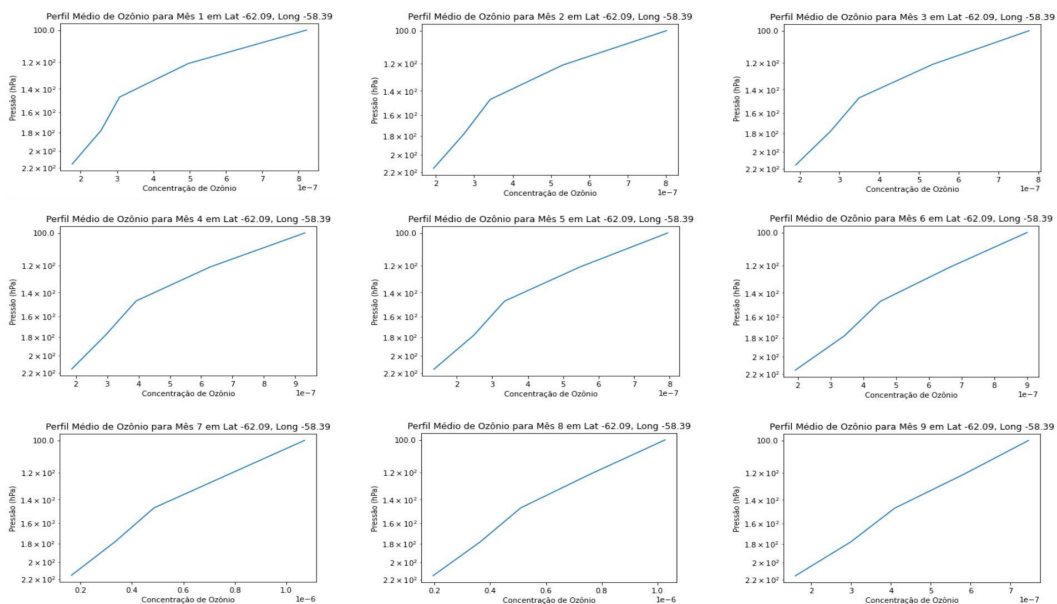
Perfil de temperatura para o ano de 2016, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.



Perfil de temperatura para o ano de 2016, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

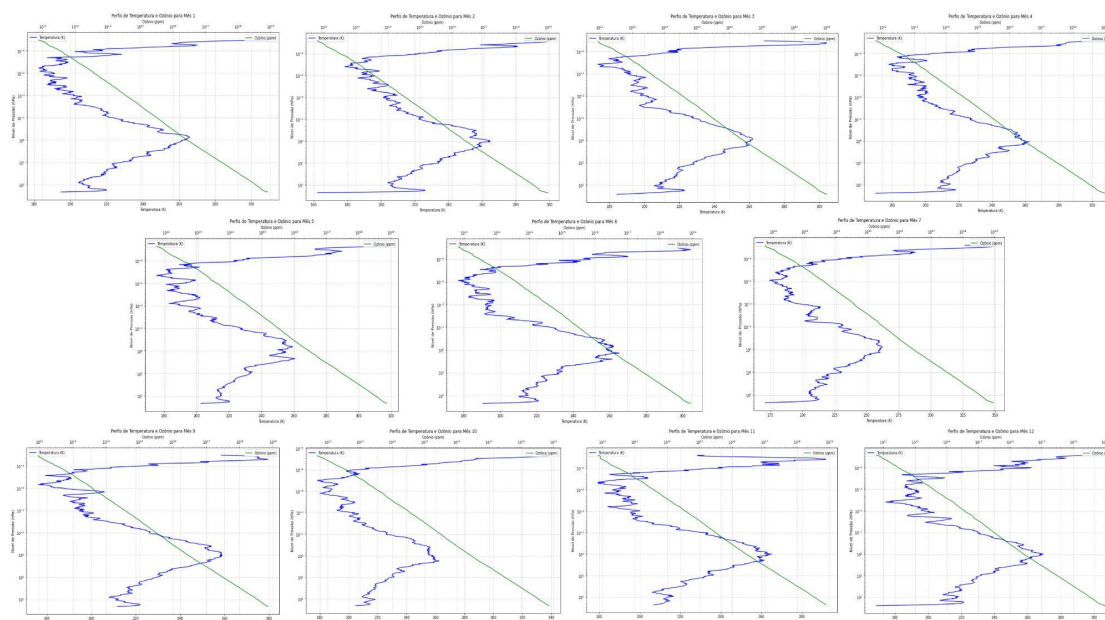


Perfil de ozônio para o ano de 2016, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

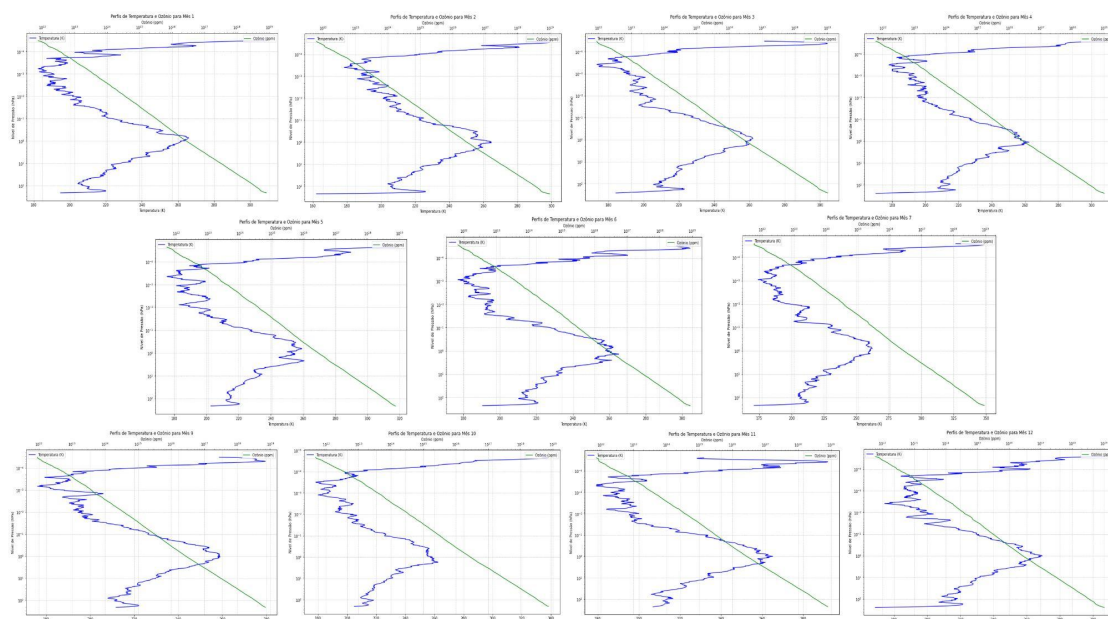


Perfil de ozônio para o ano de 2016, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

4.3.2 Satélite TIMED/SABER



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2016, em Santa Maria, BR. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2016, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.

A temperatura em Santa Maria (RS) apresenta uma queda esperada com o aumento da altitude, característica de regiões subtropicais; diminui de maneira gradual até atingir a tropopausa, onde a mudança se torna menos acentuada. Nas camadas mais altas da estratosfera, a temperatura tende a estabilizar e até aumentar ligeiramente devido à absorção de radiação UV pelo ozônio. Já na Antártida, observamos temperaturas extremamente baixas desde a superfície. A queda de temperatura com a altitude é mais acentuada nas camadas mais baixas, especialmente durante o inverno antártico, refletindo o frio extremo da região polar. No entanto, a estratosfera antártica, particularmente durante o inverno e o início da primavera, pode apresentar uma leve inversão térmica, onde a temperatura aumenta um pouco nas altitudes mais elevadas.

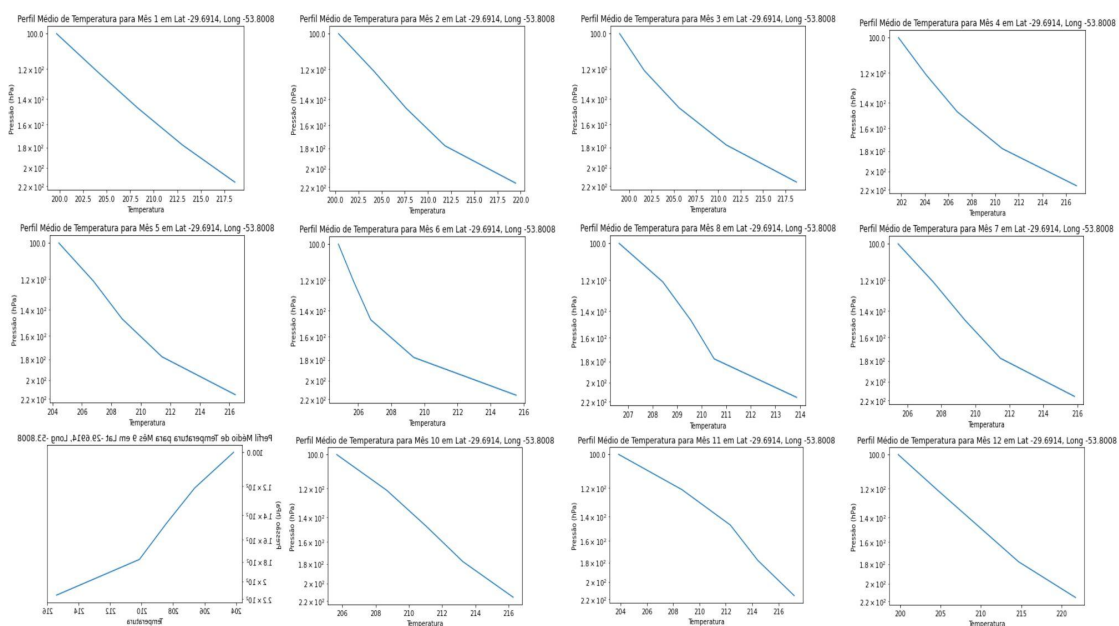
O perfil de ozônio em Santa Maria (RS) apresenta um aumento gradual da concentração de ozônio à medida que se sobe em altitude, com um pico claro

na estratosfera, onde se encontra a maior concentração de ozônio (camada de ozônio). Este comportamento é típico de latitudes médias, onde a camada de ozônio é relativamente estável, sem grandes variações sazonais extremas. Na Antártida, o comportamento do ozônio é drasticamente diferente, especialmente durante a primavera, que é quando o BOA se inicia. O perfil mostra uma redução significativa da concentração de ozônio nas altitudes estratosféricas. A concentração de ozônio na Antártida é muito mais baixa em comparação com Santa Maria, evidenciando o impacto direto da destruição da camada de ozônio sobre a região polar.

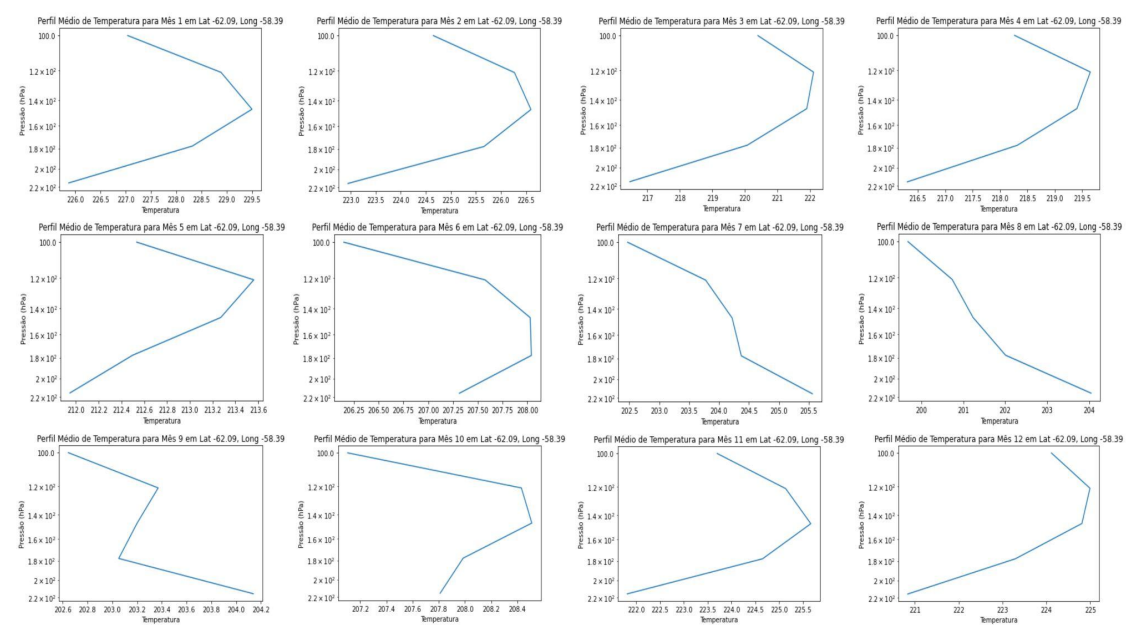
Os dados do AURA/MLS para o ano de 2016 não foram bem processados pelo computador, portanto só foram gerados perfis de temperatura e ozônio do mês de janeiro até setembro. Por outro lado, o TIMED/SABER processou quase todos os dados mensais, deste modo, foram gerados perfis atmosféricos para quase todos os meses, excluindo apenas o mês de agosto.

4.4 Perfis mensais de 2017

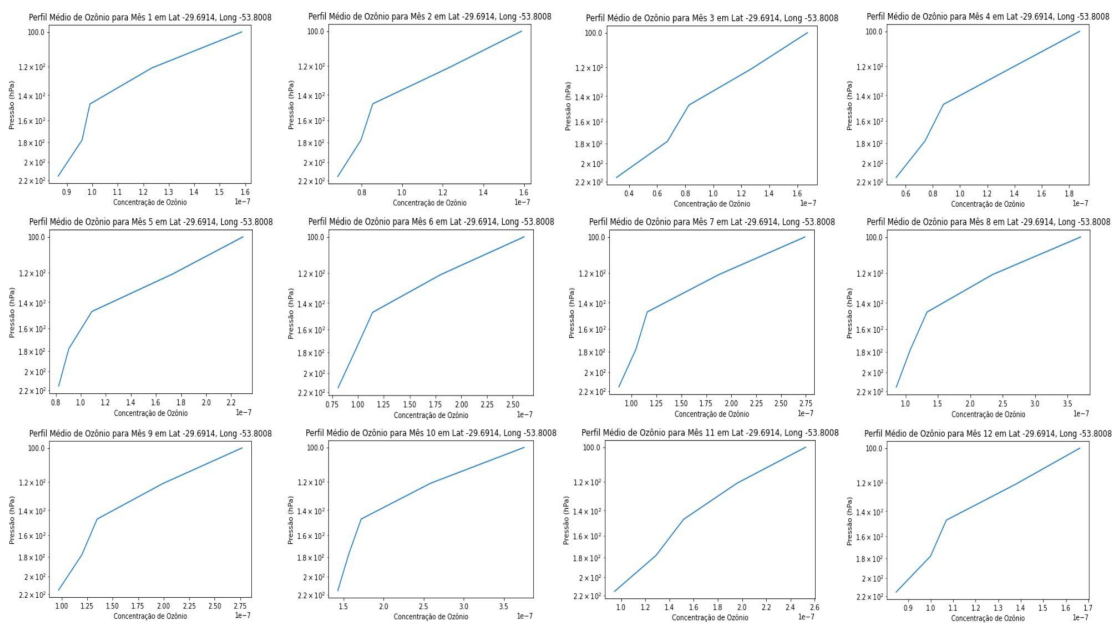
4.4.1 Satélite AURA/MLS



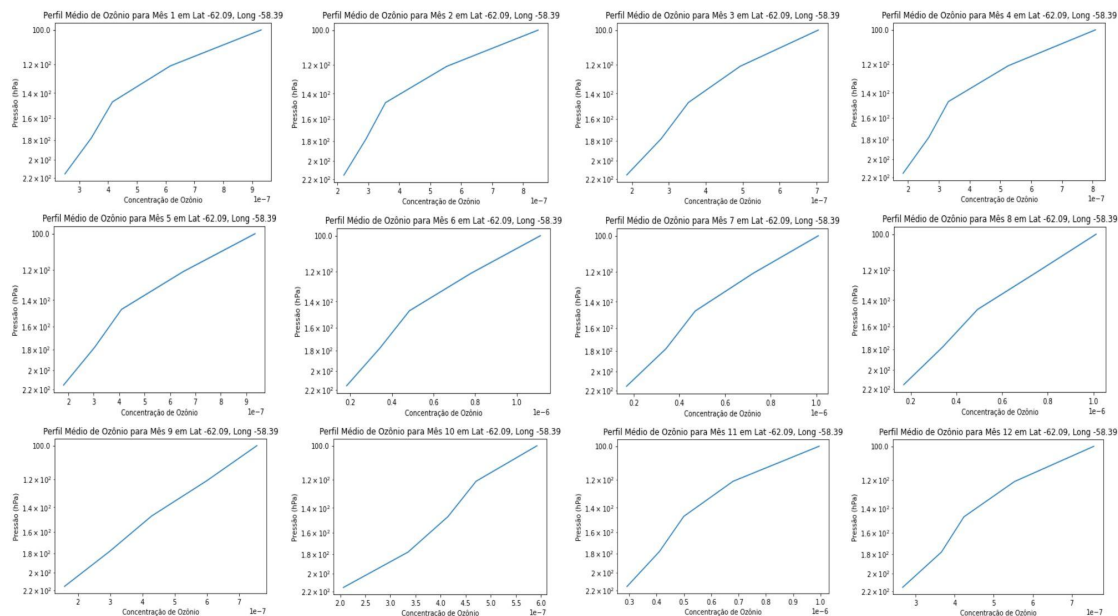
Perfil de temperatura para o ano de 2017, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.



Perfil de temperatura para o ano de 2017, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

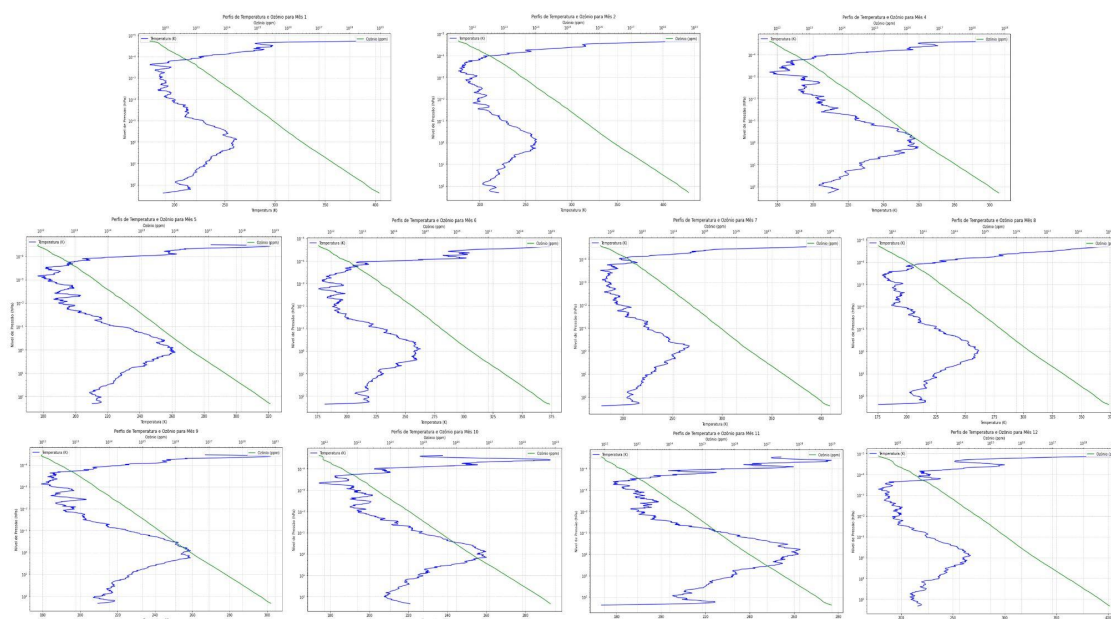


Perfil de ozônio para o ano de 2017, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

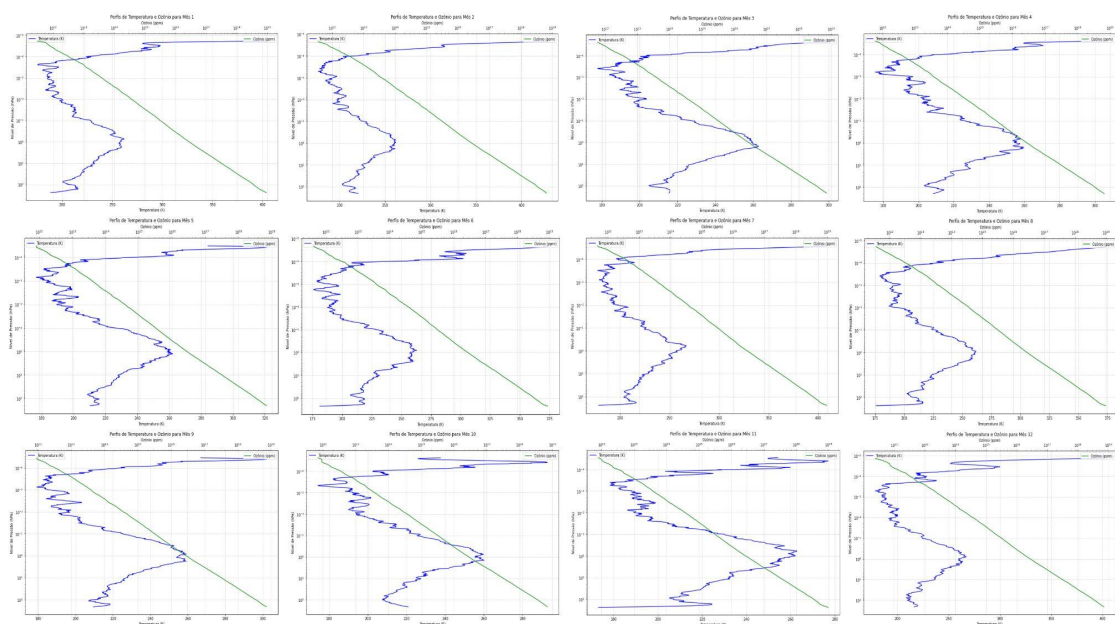


Perfil de ozônio para o ano de 2017, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

4.4.2 Satélite TIMED/SABER



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2017, em Santa Maria, BR. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2017, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.

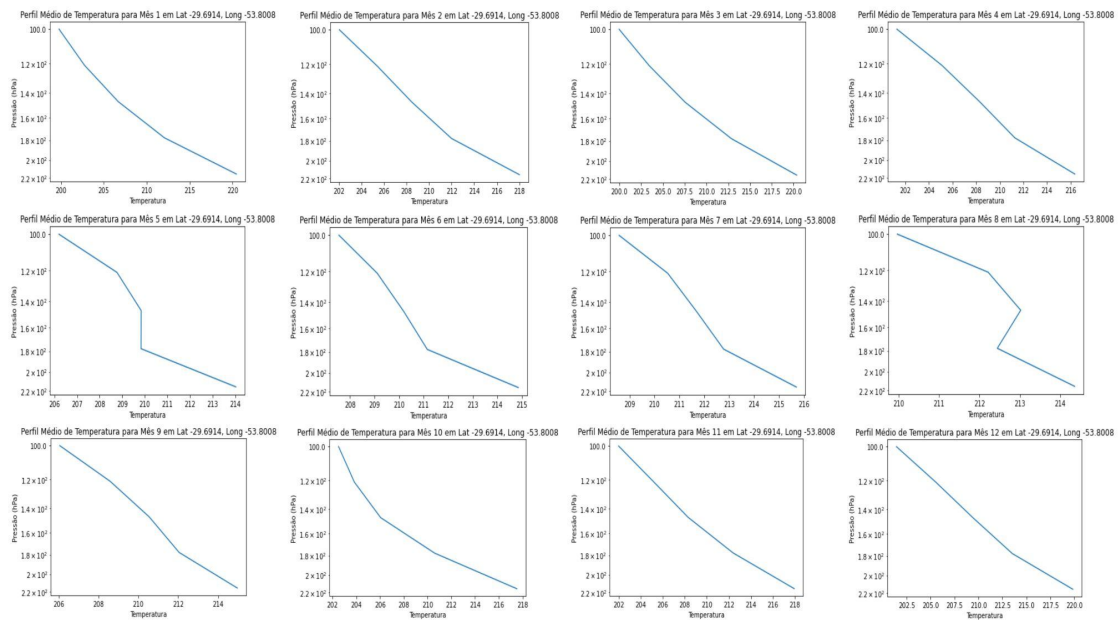
O perfil de temperatura em Santa Maria e na Antártida difere significativamente devido às suas condições climáticas. Em Santa Maria a temperatura nas altitudes baixas diminui gradualmente com a altitude, seguindo o padrão da troposfera. Na tropopausa, a temperatura se estabiliza, e na estratosfera, há um aumento de temperatura. Na Antártida a troposfera é extremamente fria, especialmente no inverno, com uma tropopausa mais baixa e fria.

Em Santa Maria, o ozônio apresenta índices padrões. Na Antártida, o ozônio também permanece se comportando de maneira usual, com redução drástica na primavera devido ao BOA e recuperação a partir de dezembro.

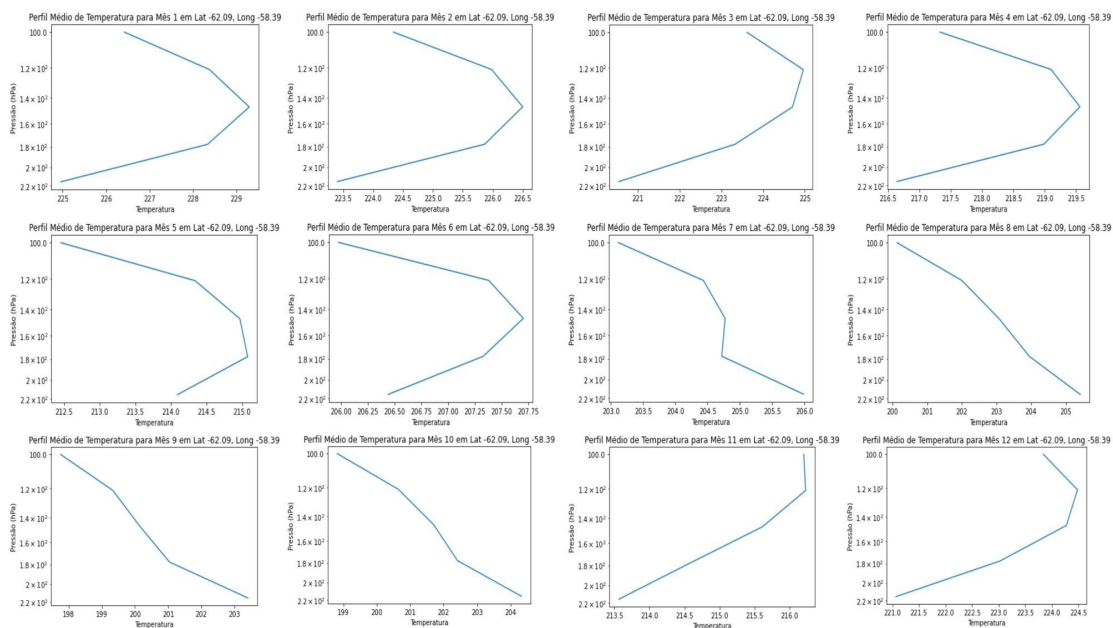
Curiosamente, para o ano de 2017, somente um erro foi presenciado na plotagem dos perfis. O computador encontrou dificuldades ao gerar o perfil atmosférico do mês de março, para Santa Maria, pelos dados do TIMED/SABER; para a EACF todos os meses tiveram perfis gerados.

4.5 Perfis mensais de 2018

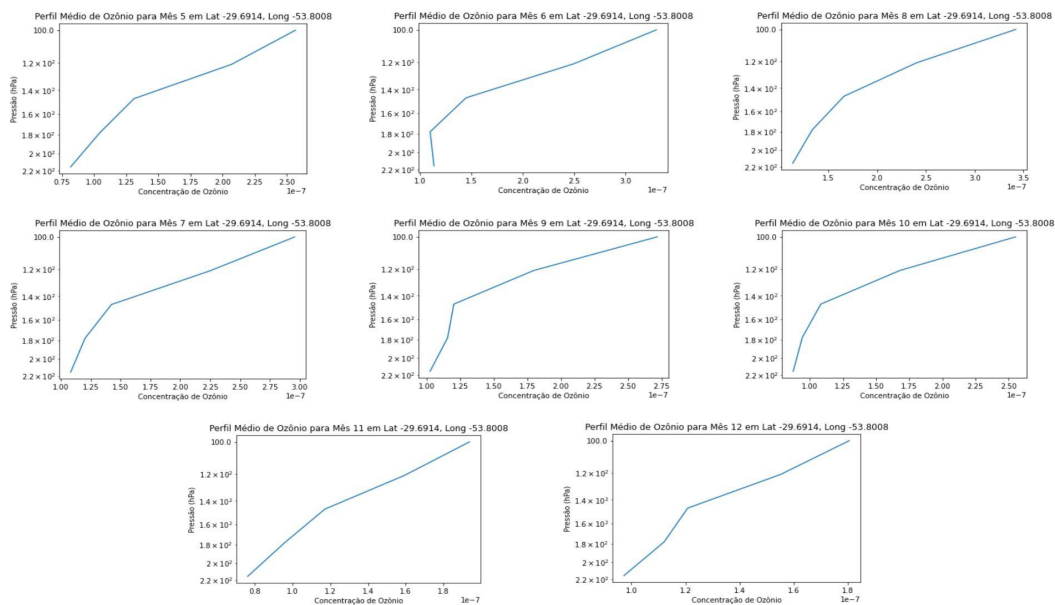
4.5.1 Satélite AURA/MLS



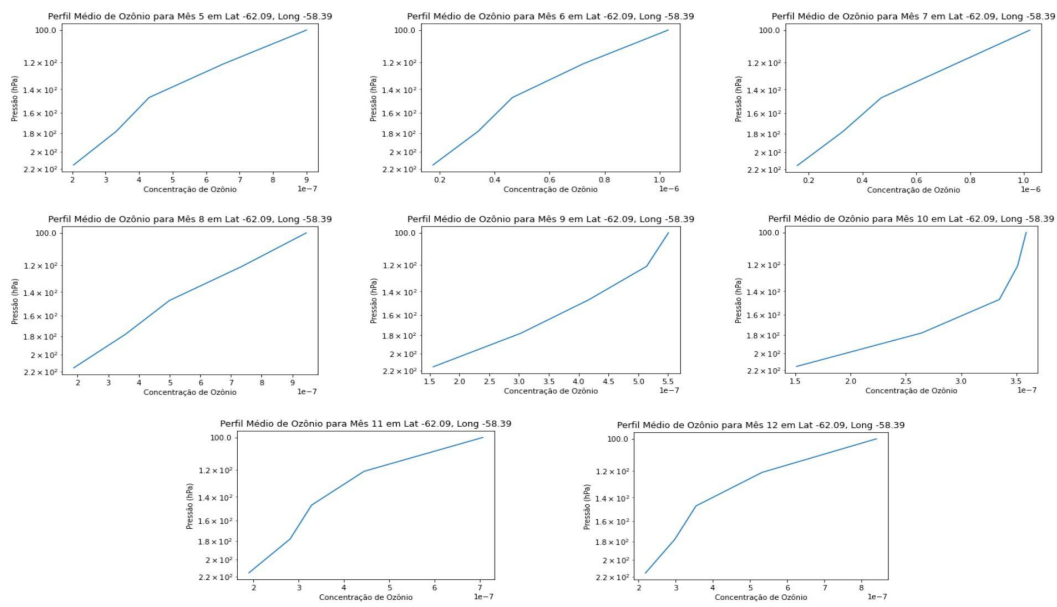
Perfil de temperatura para o ano de 2018, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.



Perfil de temperatura para o ano de 2018, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

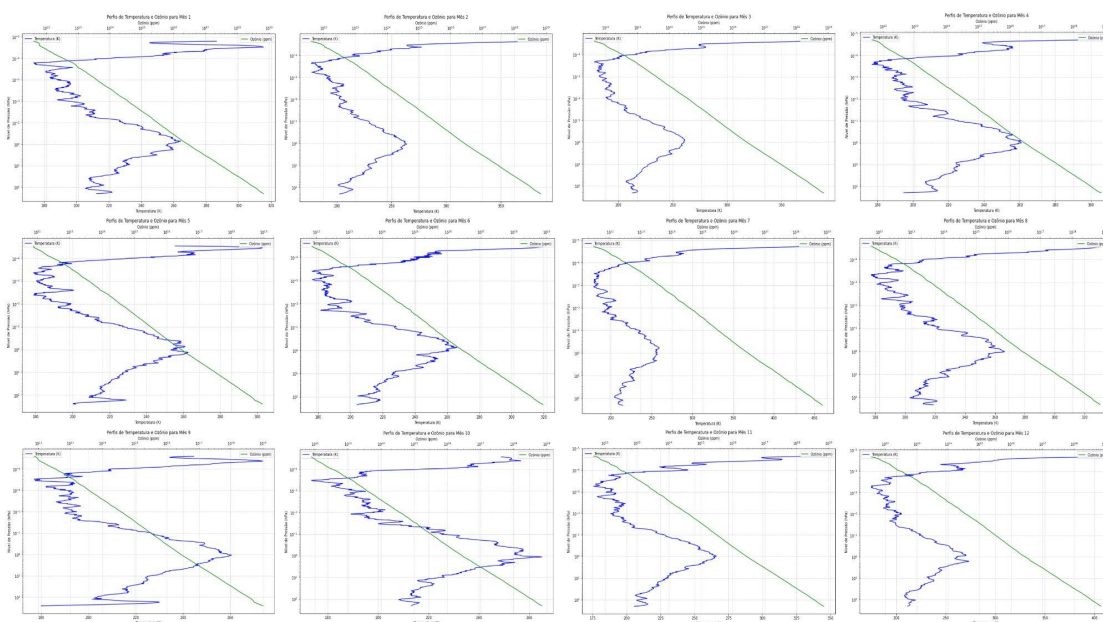


Perfil de ozônio para o ano de 2018, em Santa Maria, BR . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

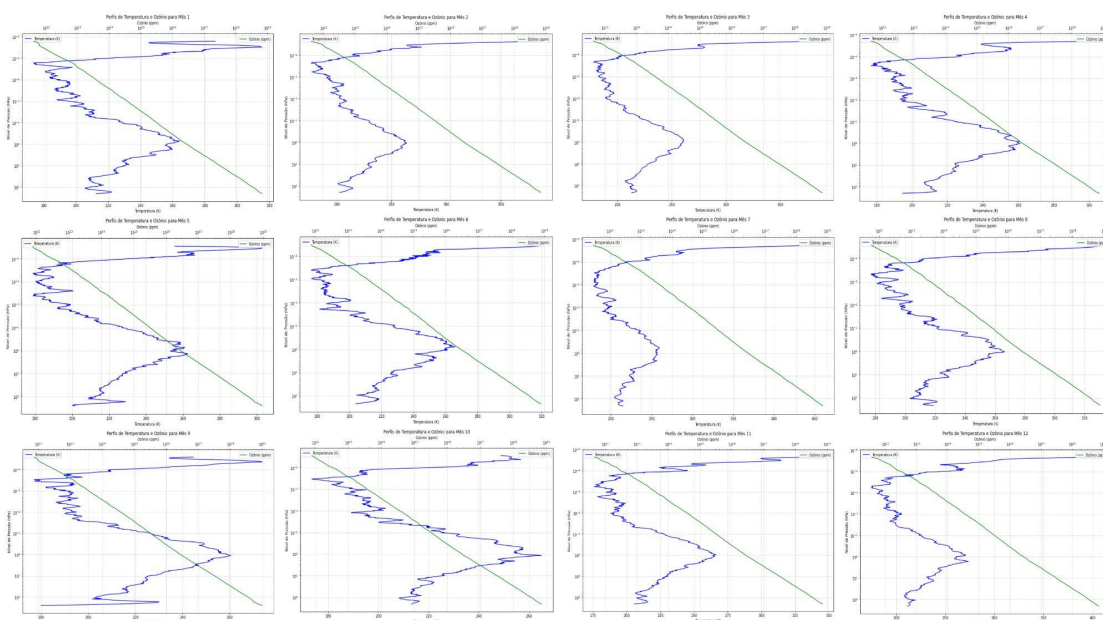


Perfil de ozônio para o ano de 2018, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ . O eixo y (vertical) representa a concentração de ozônio (em ppmv), e o eixo x (horizontal) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite AURA/MLS.

4.5.2 Satélite TIMED/SABER



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2018, em Santa Maria, BR. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.



Perfil de temperatura e ozônio para o ano de 2018, na Estação Antártica Comandante Ferraz, AQ. O eixo y (vertical) representa a altitude na atmosfera (em hPa), o eixo x superior (horizontal

acima) mostra o conteúdo de ozônio (em ppmv) e o eixo x inferior (horizontal abaixo) mostra a temperatura (em Kelvin). Dados do satélite TIMED/SABER.

Em Santa Maria, há temperaturas mais altas durante o verão austral e um declínio gradual conforme o outono se aproxima, atingindo os valores mais baixos durante o inverno, antes de começar a subir novamente na primavera até alcançar os níveis típicos de verão em dezembro. Na EACF observa-se temperaturas mais altas durante o verão austral e um declínio gradual conforme o outono se aproxima, atingindo os valores mais baixos durante o inverno, antes de começar a subir novamente na primavera até alcançar os níveis típicos de verão em dezembro.

Na cidade de Santa Maria, o ozônio se comportou de maneira uniforme, com aumento gradual conforme a altitude, e tendo sua concentração na Camada de ozônio, sem grandes variações durante o ano. Já na EACF, acontece o aumento com a altitude, porém o que é mais perceptível, é os baixos índices de conteúdo de ozônio na primavera austral, marcando a presença do BOA.

Gerando os perfis de ozônio com os dados do AURA/MLS, o computador só foi capaz de plotar do mês de maio em diante, para ambas as localidades.

5. CONCLUSÃO

A análise entre dados de temperatura e ozônio obtidos pelos satélites Aura/MLS e Timed/SABER ao longo do ano de 2018, revela diferenças significativas no comportamento das variáveis observadas. A comparação dos perfis de ozônio entre os dois satélites destacou uma discrepância significativa na representação de tal variável. O Timed/SABER mostrou limitações na representação precisa do ozônio, enquanto o Aura/MLS forneceu resultados mais consistentes. Essas divergências salientam a necessidade de cautela ao utilizar dados do SABER para análises de ozônio e sugerem o MLS como uma fonte mais confiável para estudos nessa área.

Além disso, durante o processamento dos dados de ambos os satélites, o computador enfrentou uma série de dificuldades que afetaram a geração dos perfis com boa acurácia. Para o Timed/SABER, os desafios incluíram a inconsistência na leitura dos dados brutos e a dificuldade em representar com precisão as concentrações de ozônio, especialmente em altitudes mais elevadas. Isso resultou em perfis menos detalhados com índices de conteúdo de ozônio pouco representativos.

No caso do Aura/MLS, embora os resultados tenham sido mais estáveis e consistentes, também houveram obstáculos durante o processamento. A complexidade dos algoritmos de correção e padrões de qualidade aplicados aos dados do MLS, somada ao grande volume de informações a serem processadas, resultou em uma demanda computacional elevada e maior tempo de processamento. Essas limitações, em ambos os casos, sugerem a necessidade de aprimorar os métodos de processamento de dados e implementar técnicas mais robustas de filtragem e correção para minimizar os erros e garantir que os perfis gerados reflitam com maior precisão as condições atmosféricas reais.

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.

NASA. (n.d.). Microwave Limb Sounder (MLS) Overview, from <https://aura.gsfc.nasa.gov/mls.html>

NASA. (n.d.). SABER Overview, from <https://saber.gats-inc.com/>

BITTENCOURT, G. D., PINHEIRO, D. K., BENCHERIF, H., BEGUE, N., PERES, L. V., BAGESTON, J. V., da SILVA, F. R., & de BEM, D. L. (2023). Multi-instrumental analysis of ozone vertical profile and total column in South America: comparison between subtropical and equatorial latitudes. EGUsphere [preprint]. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-1664>