



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**DEFINIÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL  
SIMPLIFICADO PARA A PREVISÃO DA  
OCORRÊNCIA DE GEADAS  
NA SERRA DA MANTIQUEIRA**

---

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**

**Ana Flávia Alves Ferreira**

**Itajubá, MG, Brasil**

**2023**

# **DEFINIÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL SIMPLIFICADO PARA A PREVISÃO DA OCORRÊNCIA DE GEADAS NA SERRA DA MANTIQUEIRA**

---

**por**

**Ana Flávia Alves Ferreira**

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

**Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Vanessa Silveira Barreto Carvalho**

**Itajubá, MG, Brasil  
2023**

**Universidade Federal de Itajubá  
Instituto de Recursos Naturais  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

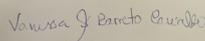
**DEFINIÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL SIMPLIFICADO PARA  
A PREVISÃO DE OCORRÊNCIA DE GEADAS NA SERRA DA  
MANTIQUEIRA**

elaborada por

**Ana Flávia Alves Ferreira**

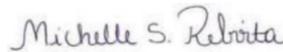
Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas**

**Comissão Examinadora:**



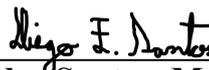
---

**Vanessa Silveira Barreto Carvalho, Dr<sup>a</sup>.** (UNIFEI)  
(Presidente/Orientador)



---

**Michelle Simões Reboita, Dr<sup>a</sup>.** (UNIFEI)  
(Coorientador)



---

**Diego Felipe dos Santos, Msc.** (UNIFEI)

Itajubá, 03 de novembro de 2023.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais pelo amor incondicional que sempre me proporcionaram e pelos cuidados dedicados a mim ao longo de minha vida. À minha mãe, Laurelise, agradeço pelos valiosos ensinamentos, conselhos e por ter me ensinado a enfrentar a vida com apreço. Ao meu pai, Maurício, agradeço por ser meu maior exemplo de superação e por me mostrar que a fé e a determinação são os alicerces de todas as vitórias.

À minha irmã, Mábele, cujo apoio e constante incentivo têm sido a motivação por trás de todos os meus almejos e minhas realizações, sempre paciente, compreensiva e disposta a ajudar. Ao meu cunhado, Luiz Gustavo, pela linda amizade que construímos.

Aos meus queridos avós, tios e tias, expresso gratidão pelo carinho, pelas lições e por sempre torcerem por mim.

Ao meu namorado Rafael, por ser um modelo de motivação, sempre empenhado e ambicioso.

À minha orientadora Vanessa, pela orientação, confiança, atenção e suporte ao longo deste processo.

Aos meus amigos de graduação, Alana, Dayane, Sabrina, Werik, Hernan, e aos demais colegas de curso, pelo companheirismo, apoio mútuo, pela divertida convivência e por todos os momentos memoráveis vividos durante esses anos. Agradeço também à Aline, Vitor, Raul e Denis pela ajuda especial na reta final deste trabalho.

A todos os pesquisadores, autores e professores, por compartilharem seus ensinamentos, conhecimentos e experiências, promovendo o aprendizado e contribuindo para o crescimento acadêmico, além de serem inspiração na busca por novos saberes.

Aos meus finados avôs

*Sebastião Corrêa Alves*  
&  
*Emídio Gomes Ferreira*

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*  
ARTHUR SCHOPENHAUER

## **RESUMO**

Monografia de Graduação  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

### **DEFINIÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL SIMPLIFICADO PARA A PREVISÃO DA OCORRÊNCIA DE GEADAS NA SERRA DA MANTIQUEIRA**

AUTOR(A): ANA FLÁVIA ALVES FERREIRA  
ORIENTADOR: DR<sup>a</sup> VANESSA SILVEIRA BARRETO CARVALHO  
Local e Data da Defesa: Itajubá, 03 de novembro de 2023.

O estudo e a previsão da ocorrência de eventos de geadas é essencial para o cenário socioeconômico brasileiro, principalmente nas regiões mais afetadas. Compreender este fenômeno contribui para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e para a previsibilidade de tal evento. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a frequência e os parâmetros que estão diretamente envolvidos na ocorrência de geadas em quatro cidades localizadas na Serra da Mantiqueira, sudeste do Brasil, para o período de maio a setembro entre 2002 e 2022. Para avaliar a frequência, os valores médios e o comportamento das variáveis atmosféricas tanto locais como de grande escala, foram utilizados dados de reanálise e de estações meteorológicas. A partir disso, verificou-se que a cidade que mais registra geadas é Monte Verde-MG, com média de 19 casos por ano. Em relação às ocorrências mensais, julho é o mês com mais registros de geadas, com média de 8 casos/mês e máxima de 27 casos/mês. O padrão atmosférico geral mais propício para a formação da geada é temperatura do ar menor que 3° C, ventos fracos, atuação de sistema de alta pressão, anomalia negativa de temperatura em 925 hPa e anomalia positiva de altura geopotencial em 500 hPa.

Palavras-chave: Geada. Reanálise. Sistemas Meteorológicos.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Geada registrada na cidade de Maria da Fé - MG, nos dias: a) 30/07/2021 e b) 19/05/2023. (Fonte: William Siqueira) .....	2
FIGURA 2 – Topografia da região da Serra da Mantiqueira com as cidades de estudo representadas pelos pontos.....	6
FIGURA 3 – Casos mensais da ocorrência de geada nas quatro cidades estudadas e no período de 2002 a 2022.....	10
FIGURA 4 – Boxplot dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura mínima para as cidades: a) Caldas, b) Campos do Jordão, c) Maria da Fé e d) Monte Verde.....	11
FIGURA 5 – <i>Boxplot</i> dos valores mínimos, médios e máximos de pressão atmosférica para as cidades: a) Caldas, b) Campos do Jordão, c) Maria da Fé e d) Monte Verde.....	12
FIGURA 6 – <i>Boxplot</i> dos valores mínimos, médios e máximos de umidade relativa para as cidades: a) Caldas, b) Campos do Jordão, c) Maria da Fé e d) Monte Verde.....	13
FIGURA 7 – Rosa dos ventos da velocidade e direção predominante do vento para as cidades: a) Caldas, b) Campos do Jordão, c) Maria da Fé e d) Monte Verde.....	14
FIGURA 8 – Anomalia de temperatura em 925 hPa com as cidades de estudo representadas pelos pontos.....	15
FIGURA 9 – Composição de média de pressão ao nível médio do mar (hPa) em shaded, anomalia de geopotencial (m) em pontilhado branco e direção e velocidade do vento em 925 hPa (m/s) em vetores.....	16
FIGURA 10 – Fluxograma representando os requisitos para a verificação de: a) condições de grande escala e b) condições meteorológicas locais em superfície.....	17

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Especificações das estações utilizadas.....	7
TABELA 2 – Total de ocorrência de geada nas quatro cidades estudadas e no período de 2002 a 2022.....	9

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

CCCMG – Centro do Comércio de Café do Estado de Minas Gerais

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

ECMWF - *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*

EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (MG)

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

ERA5 – *Fifth Generation of ECMWF Atmospheric Reanalysis*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IOG – Índice de Ocorrência de Geada

PNMM – Pressão ao nível médio do mar

SMG – Sul de Minas Gerais

Tmin – Temperatura mínima

UR – Umidade relativa

WRF – *Weather Research and Forecasting*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
2.2. BASE DE DADOS.....	6
2.3. METODOLOGIA.....	7
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>8</b>
3.1. FREQUÊNCIA DOS EVENTOS DE GEADA.....	8
3.2. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS LOCAIS.....	10
3.3. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE ESCALA SINÓTICA.....	15
3.4. MODELO CONCEITUAL PARA A PREVISÃO DE GEADAS.....	17
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>

## 1. INTRODUÇÃO

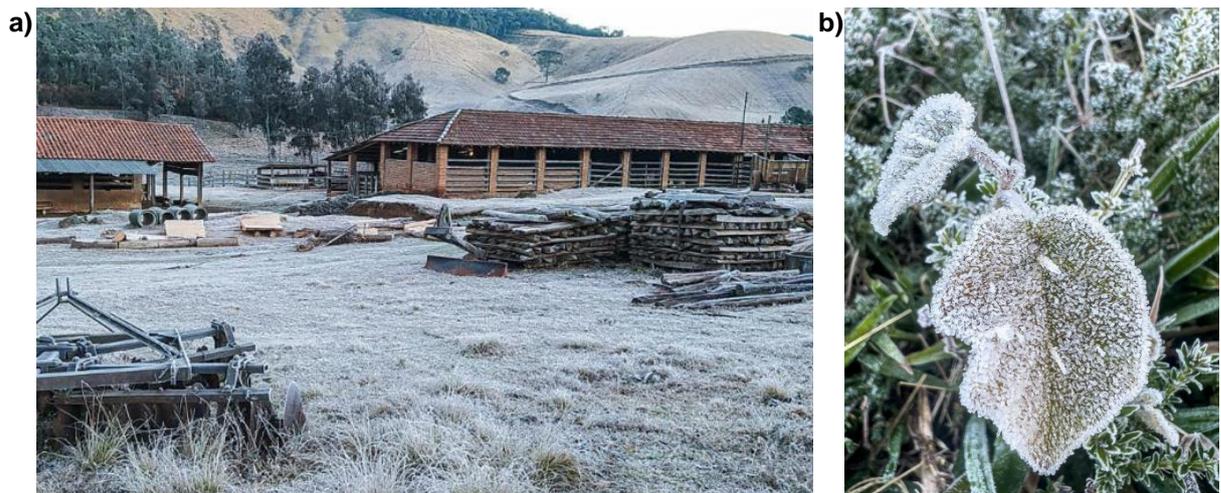
A agricultura desempenha um papel fundamental como atividade econômica, englobando a produção e cultivo de alimentos de origem animal e vegetal. Na região sul do estado de Minas Gerais (SMG), essa prática exerce um papel significativo no desenvolvimento regional, suprimindo tanto a demanda local quanto nacional por alimentos e matérias-primas. Destaca-se na região a produção de diversos cultivos de grande importância para a segurança alimentar e para a economia em geral, como o milho, feijão, soja, batata e, principalmente, o café (SILVA, 2012). Além disso, a agricultura tem um impacto significativo na geração de empregos e renda, especialmente para a população rural e os agricultores familiares, que representam a maioria dos produtores na região. Outro aspecto relevante é o papel desempenhado pela atividade agrícola na conservação dos recursos naturais, contribuindo para a sustentabilidade e qualidade da produção agrícola, bem como para a preservação do meio ambiente (ALVES e LINDNER, 2020).

Conforme o primeiro levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023) sobre a produção brasileira de café para o ano de 2023, Minas Gerais se destacou como o principal Estado produtor e, segundo a estimativa, a produção mineira de café pode atingir a marca de 27.491,9 sacas em uma área plantada total de 1.108.035 hectares, em 2023. Esses números evidenciam a relevância de Minas Gerais no cenário nacional, consolidando o estado como líder na produção de café, e refletindo o comprometimento dos agricultores em expandir as áreas de plantio além de investir na qualidade do cultivo.

Dados provenientes do Centro do Comércio de Café do estado de Minas Gerais (CCCMG, 2020) revelam que aproximadamente 30% de toda a produção de café do Brasil tem origem no SMG. Essa relevância econômica do território está diretamente ligada às características locais que proporcionam condições ideais para o cultivo do grão, tais como o clima propício, topografia favorável e as terras altamente produtivas (MARTINS et al., 2022).

Contudo, as altitudes da região da Serra da Mantiqueira, localizada no sudeste do país, favorecem a ocorrência de geadas principalmente no período de temperaturas mais baixas. Dados revelam que em cidades como Campos do Jordão-SP e Monte Verde-MG, que possuem altitudes consideráveis, são comumente registradas geadas durante os meses de inverno (INMET, 2023). Esse fenômeno pode

causar um impacto considerável nas produções agrícolas, afetando culturas como a cana de açúcar, hortaliças, banana, e, principalmente, as plantações de café. Registros fotográficos de eventos de geada ocorridos em Maria da Fé, uma das cidades mais atingidas por geadas no SMG, podem ser vistos na Figura 1. De acordo com o relatório da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG, 2021), em 2021, aproximadamente 30% das áreas de cultivo do SMG foram afetadas por geadas, resultando em perdas significativas com registros de até 70% das produções queimadas. Estima-se que cerca de 7 milhões de sacas foram comprometidas, tornando 2021 o pior ano em termos de prejuízo econômico na região desde 1994. Como consequência disso, houve uma redução na produção do café, o que, por sua vez, resultou em um aumento expressivo dos preços finais do produto (EMATER, 2021).



**Figura 1** – Geadas registradas na cidade de Maria da Fé - MG, nos dias: a) 30/07/2021 e b) 19/05/2023. Fonte: William Siqueira.

De acordo com Varejão (2006), a geada é caracterizada como um fenômeno meteorológico que ocorre quando a temperatura do ar atinge ou fica abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ , levando à formação de gelo cristalino sobre superfícies expostas ao ar livre, como consequência da sublimação do vapor de água depositado. Há dois fatores que levam à ocorrência desse fenômeno: a advecção do ar frio e a perda radiativa (AHRENS e HENSON, 2017). No primeiro caso, a geada ocorre em decorrência de ventos fortes e constantes e de baixas temperaturas e, no segundo caso, quando há o resfriamento intenso da superfície em noites de céu limpo, sem vento e com umidade reduzida (SIMÕES, 2015). Porém, também é possível classificar a geada levando em consideração seu aspecto visual, como é o caso da geada branca e da geada negra.

Na geada branca, existe a formação de cristais de gelo sobre as superfícies e, geralmente ocorre quando a umidade do ar é maior que 60%, ao contrário da geada negra, onde a umidade do ar é menor que 60%, não há a formação de gelo e a temperatura atingida pelos órgãos vegetais é inferior ao ponto de orvalho, sendo a última a mais severa e danosa às plantas (PEREIRA et al., 2015).

A ocorrência de geadas no SMG é resultado de diversos fatores. Silva et al. (2014) e Sapucci et al. (2018), por exemplo, observaram que as geadas nesta região são influenciadas pela perda de calor radiativo durante a noite. Essa perda ocorre devido à ausência de nuvens, associada à atuação do Anticiclone Subtropical Do Atlântico Sul (ASAS). Os autores também evidenciaram que embora a presença de anticiclones pós-frontais resultantes da invasão de ar polar também possa levar a ocorrência de geadas, essas situações são menos frequentes.

É importante ressaltar que a topografia elevada da Serra da Mantiqueira é um dos fatores que contribui para a ocorrência de geadas, uma vez que a temperatura tende a diminuir à medida que a altitude aumenta. Conforme um estudo de Alvares et al. (2018), as áreas da Serra da Mantiqueira com altitudes superiores a 1500 m são as que apresentam o maior número com ocorrência de geadas no país, resultado da combinação da topografia peculiar da região com a influência de sistemas frontais e anticiclones.

Apesar da geada ser um fenômeno recorrente, comum e de impacto relevante, ainda são escassos os estudos voltados para a previsão desse evento na região da Serra da Mantiqueira. A fim de avaliar o desempenho do modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) na simulação das variáveis meteorológicas predominantes em casos de geada na cidade Maria da Fé, situada no sul de Minas Gerais, Pereira et al. (2015) observaram que embora o modelo tenha um bom desempenho em simular certas variáveis, outras ainda não apresentaram resultados aceitáveis, o que pode ser atribuído à dificuldade do modelo em reproduzir adequadamente a orografia local. Por outro lado, Sapucci et al. (2018) encontraram através de um modelo conceitual condições propícias para a formação de geadas nessa região, como a presença de uma crista no centro-sul do Brasil, queda de mais de 2°C na temperatura do ar e aumento de 1,5 hPa na pressão ao nível médio do mar.

A região sul do Brasil, caracterizada por temperaturas mais baixas durante o inverno, com média variando entre 10°C e 15°C (NERY, 2005), também tem sido alvo de estudos relacionados à previsão de geadas. Santos et al. (2013), por exemplo,

investigaram a eficácia do Índice de Ocorrências de Geadas (IOG) nesta região. Durante o período estudado, os autores observaram que as geadas ocorridas foram associadas à passagem de um anticiclone pós-frontal, o que difere dos resultados relatados por Silva et al. (2014) para a região do SMG, mencionada anteriormente. Além disso, constataram que o IOG teve um bom desempenho ao indicar a ocorrência de geadas previstas pelo modelo utilizado. Em outro estudo mais recente, Bussoni et al. (2022) conduziram testes utilizando o modelo WRF na região sul do Brasil, empregando diferentes parametrizações e levando em consideração as variáveis do modelo para o cálculo de um índice de geada, obtendo resultados notáveis ao utilizarem a influência da microfísica das nuvens em conjunto com a radiação em suas simulações. Já Garcia (2021), realizando experimentos a partir de técnicas de aprendizado de máquina para construir modelos estatísticos de previsão de geadas na região sul e sudeste do Brasil, obteve resultados com desempenhos relevantes, indicando que essa é uma técnica de modelagem promissora no desenvolvimento de previsões de geada.

Ressalta-se que a avaliação da previsão de geadas ainda é escassa na literatura mesmo em escala global. Um estudo realizado no estado da Geórgia (EUA), utilizando WRF, investigou dois casos de geada que causaram danos severos às lavouras no sudeste do país. Os resultados desse estudo demonstraram que as simulações do modelo foram precisas no alerta de geadas, mostrando seu potencial como ferramenta para auxiliar a tomada de decisões na agricultura (PRABHA e HOOGENBOOM, 2008). Além disso, Kim et al. (2022), por meio do algoritmo *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost), realizaram uma análise da precisão regional visando aprimorar a previsão de eventos de geada, levando em consideração diferentes características geográficas. Os autores observaram que cada tipo de terreno apresenta contribuições distintas para a formação da geada e destacaram que estabelecer padrões específicos para variáveis essenciais à ocorrência de geada em cada região pode levar a melhorias significativas na precisão da previsão.

Nesse contexto, considerando a relevância da realização de previsões de geada para o alerta da população, crescimento econômico local, planejamento e gerenciamento eficiente de recursos, e, acima de tudo, para a proteção da agricultura, o objetivo deste trabalho é desenvolver um novo modelo conceitual para a previsão dos eventos de geada na região da Serra da Mantiqueira. Através dessa abordagem,

busca-se fornecer informações valiosas que possam contribuir para a implementação de procedimentos de previsibilidade adequado na região.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Descrição da área de estudo**

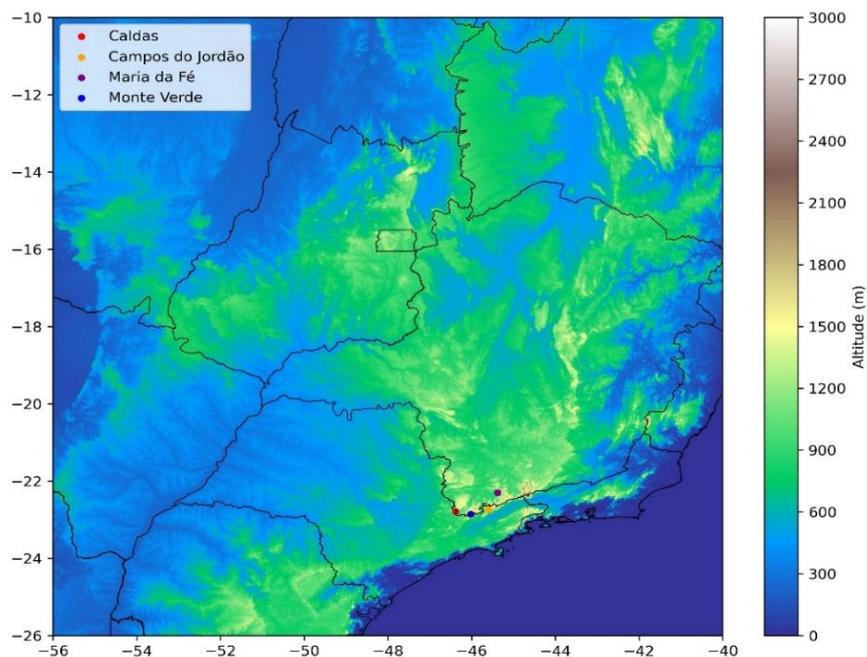
A Serra da Mantiqueira é um conjunto de montanhas de aproximadamente 500 km de extensão e altitudes que variam entre 1000 e quase 3000 metros e está localizada ao longo da divisa dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, com sua maior porção na faixa sul de Minas Gerais (PELLISSARI e RIUMANIC NETO, 2013).

A mesorregião do Sul de Minas Gerais é composta por 154 municípios divididos em seis microrregiões, que são: Alfenas, Itajubá, Passos, Poços de Caldas, Pouso Alegre e Varginha (IBGE, 2022). Nessa mesorregião, a economia é altamente agrícola, marcada pela presença do agronegócio, mas também das indústrias e do comércio, destacando-se os setores metalúrgicos e automotivos. Acrescentado a isso, a região possui alto potencial turístico, agregando ainda mais a economia local (IBGE, 2015).

De acordo com a classificação de Köppen, a região SMG apresenta três tipos climáticos: Aw (tropical), Cwa e Cwb (temperado quente). Essa diversidade está associada à topografia elevada, principalmente na faixa próxima à Serra da Mantiqueira, onde em cidades com altitudes mais elevadas as temperaturas são mais amenas e cidades de menor altitude apresentam temperaturas mais elevadas (MARTINS et al., 2018). Assim, o SMG pode ser caracterizado por: (a) verões chuvosos e úmidos, com média de temperatura mínima em torno de 18°C, média de temperatura máxima de 28°C e precipitação acumulada em torno de 900 mm; e (b) invernos secos, com média de temperatura mínima de 11°C, média de temperatura máxima de 25°C e precipitação acumulada de 500 mm (REBOITA et al., 2015). Em geral, as baixas temperaturas que ocorrem durante o inverno no SMG são consequência da passagem de ondas de frio ou sistemas frontais, além das características montanhosas que contribuem ainda mais para a redução das temperaturas na região (OLIVEIRA, 2019).

## 2.2. Base de dados

Por conta da grande ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira, foram selecionadas quatro cidades nesta região para a avaliação dos resultados: Caldas - MG, Campos do Jordão - SP, Maria da Fé - MG e Monte Verde – MG, cuja distribuição espacial está apresentada na Figura 2. As informações das ocorrências de geada foram obtidas através do mapa de geadas do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde também foram obtidos os dados das estações meteorológicas automáticas de cada cidade (Tabela 1). Foram coletados dados horários de temperatura mínima ( $T_{min}$ , °C), pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (PNMM, hPa), umidade relativa do ar (UR, %), velocidade dos ventos (m/s) e direção do vento (°) das estações meteorológicas no intervalo de maio a setembro para os dias quando houve registro de geada referentes ao período de 2002 a 2022, no horário em que são registradas as temperaturas mínimas, 0900. O intervalo de maio a setembro foi utilizado uma vez que os resultados obtidos por Sapucci et al. (2018) indicam este como o período de ocorrências de geadas na região. Ressalta-se também, como descrito por Rozante et al. (2020), que neste período são registradas condições favoráveis e essenciais para a formação da geada, como baixa temperatura, céu limpo, ventos fracos, alta pressão e baixa umidade.



**Figura 2** – Topografia da região da Serra da Mantiqueira com as cidades de estudo representadas pelos pontos.

**Tabela 1** – Especificações das estações utilizadas.

Nome	Código	Localização	Altitude (m)	Data de instalação
Caldas, MG	A530	21.9180°S 46.3829°O	1077,34	27/11/2006
Campos do Jordão, SP	A706	22.7502°S 45.6038°O	1662,95	12/03/2002
Maria da Fé, MG	A531	22.3145°S 45.3730°O	1281,43	30/11/2006
Monte Verde, MG	A509	22.8616°S 46.0433°O	1544,89	18/12/2004

Para complementar as análises, foram utilizados dados de reanálise do ERA5 (*Fifth Generation of ECMWF Atmospheric Reanalysis*) das seguintes variáveis: temperatura do ar em 925 hPa, pressão ao nível médio do mar, geopotencial em 500 hPa e as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento em 925 hPa. Todos os dados foram baixados no formato NetCDF para o período de maio a setembro dos anos de 2002 a 2022, nos horários sinóticos de 00, 06, 12 e 18 Z para a área entre 10° N, 40° L, 26° S e 56° O. Vale ressaltar que os dados de reanálise do ERA5 são disponibilizados para diversas variáveis meteorológicas, em diversos níveis da atmosfera, desde o ano de 1959, com grade de 0,25° de latitude e longitude, contendo informações de combinações dos dados gerados por modelo numérico com observações feitas em todo o globo e seu uso tem por objetivo auxiliar na descrição do ambiente atmosférico em escala sinótica (HERSBACH et al., 2018).

### 2.3. Metodologia

Para analisar a frequência dos registros de geada na Serra da Mantiqueira, foram realizados cálculos do total mensal e anual de ocorrências de geada em cada cidade considerada. Em seguida, foram gerados gráficos *boxplot* para cada variável meteorológica de interesse (Tmin, UR, PNMM e velocidade e direção dos ventos), considerando os dados das estações do INMET nos dias quando foram registradas geadas, no horário de 0900. Neste passo, os anos que apresentaram nenhum registro de geada ou dados faltantes foram excluídos. A partir disso, os gráficos foram construídos utilizando o método dos quartis, um critério estatístico que permite analisar a distribuição dos dados, incluindo valores máximos, médios e mínimos (MARTINS, 2014). Nesse contexto, os valores máximos e mínimos desempenham um papel crucial, pois permitem observar o comportamento de cada variável atmosférica

nos dias de geada, ajudando a estabelecer um padrão de ocorrência para toda a região.

Para analisar o comportamento de vento durante os dias quando foram registradas geada, foram geradas rosas dos ventos a partir dos dados do INMET. Essas representações gráficas foram geradas a partir dos dados de direção e velocidade do vento obtidos utilizando o *software* WRPLOT, um programa gratuito que possibilita o uso de informações meteorológicas e a criação de gráficos, além de fornecer dados estatísticos relevantes. Através dessas figuras foi possível analisar de forma mais detalhada a direção predominante e a intensidade do vento nos dias com registro de geada.

A partir dos dados do ERA5, também foram elaboradas composições dos campos médios meteorológicos através da média de cada variável durante os dias de geada. Além disso, foi calculado o padrão climatológico considerando todos os dias dos meses de maio a setembro, e a anomalia, sendo essa obtida pela subtração da média nos dias de geada em relação à climatologia. Com isso, foi criado um modelo conceitual dos padrões atmosféricos associados com a ocorrência de geadas na região.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Frequência dos eventos de geada**

Entre os anos de 2002 e 2022, foram registrados no total 968 casos de geada nos municípios de Caldas, Campos do Jordão, Maria da Fé e Monte Verde (Tabela 2). Nesse período, os anos que se destacaram foram 2010 e 2021, com 90 e 97 casos registrados, respectivamente. De acordo com o Boletim de Monitoramento e Análise Climática publicado pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC (2010), em junho de 2010 seis massas de ar frio adentraram o território brasileiro, algumas delas passando pela região sudeste e resultando em quedas consideráveis na temperatura. Essas condições climáticas propiciaram a formação da geada, o que pode explicar o grande número de registros de geada naquele ano. Além disso, Monte Verde foi a cidade que teve mais registros de geadas no período analisado, causando impactos na saúde, na agricultura e no turismo local.

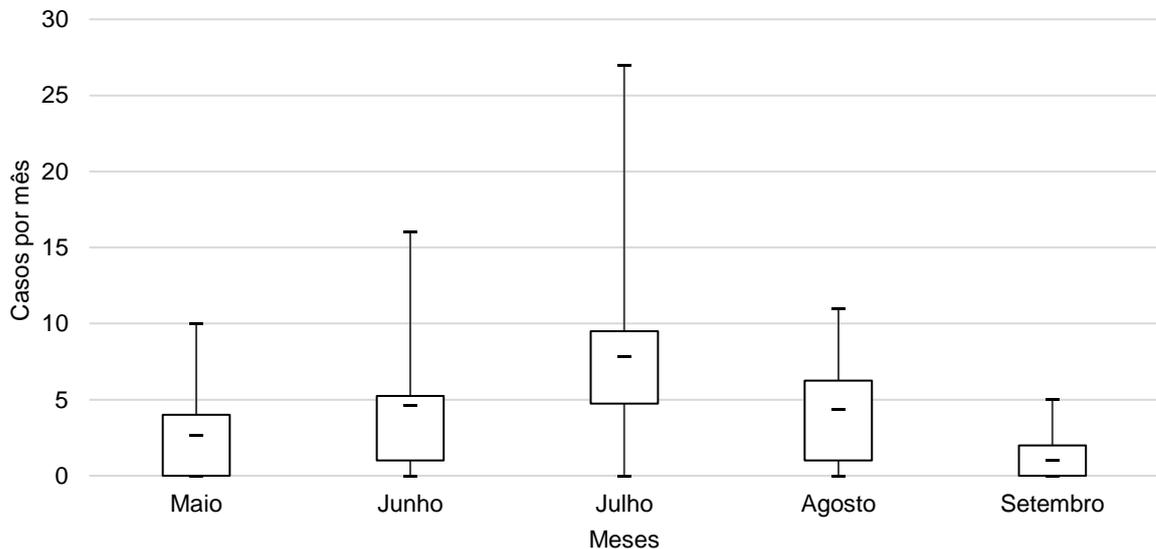
Em relação ao comportamento médio mensal, a Figura 3 revela que os eventos de geada têm uma maior incidência nos meses de junho e julho. Em junho, a média é de 5 casos por mês, enquanto em julho, a média chega a aproximadamente 8 casos por mês. Notavelmente, julho registrou um valor máximo de 27 casos no mês, sendo este um número expressivo de ocorrências. Esses resultados estão de acordo com os apresentados por Sapucci et al. (2018), os quais também apontam para uma frequência maior de ocorrência de geada durante os meses de junho e julho.

**Tabela 2** – Total de ocorrência de geada nas quatro cidades estudadas e no período de 2002 a 2022.

Ano	Caldas MG	Campos do Jordão SP	Maria da Fé MG	Monte Verde MG	Total
2002	-	8	-	-	8
2003	-	14	-	-	14
2004	-	0	-	-	0
2005	-	0	-	7	7
2006	-	0	-	20	20
2007	12	14	12	16	54
2008	18	11	13	27	69
2009	10	2	9	24	45
2010	32	16	12	30	90
2011	21	18	15	26	80
2012	8	9	10	13	40
2013	14	9	10	26	59
2014	5	2	4	12	23
2015	0	2	1	4	7
2016	19	17	16	31	83
2017	11	5	16	21	53
2018	14	9	12	17	52
2019	16	12	15	13	56
2020	20	7	11	22	60
2021	29	15	23	30	97
2022	15	12	13	11	51
Total	244	182	192	350	968
Média	15	9	12	19	-

Embora Campos do Jordão possua a maior altitude entre as cidades selecionadas, é interessante notar que Monte Verde apresentou a maior quantidade de registros, totalizando 350 casos. Essa diferença pode estar relacionada a fatores como a vegetação, cobertura do solo e até mesmo a localização geográfica da cidade, já que a mesma está situada em um vale cercado por montanhas, o que pode influenciar as condições de formação da geada (BACHI, 2018). Vale ressaltar também

que a detecção da geada se baseia totalmente em observação visual, o que pode introduzir elementos subjetivos e até mesmo erros por parte dos observadores.

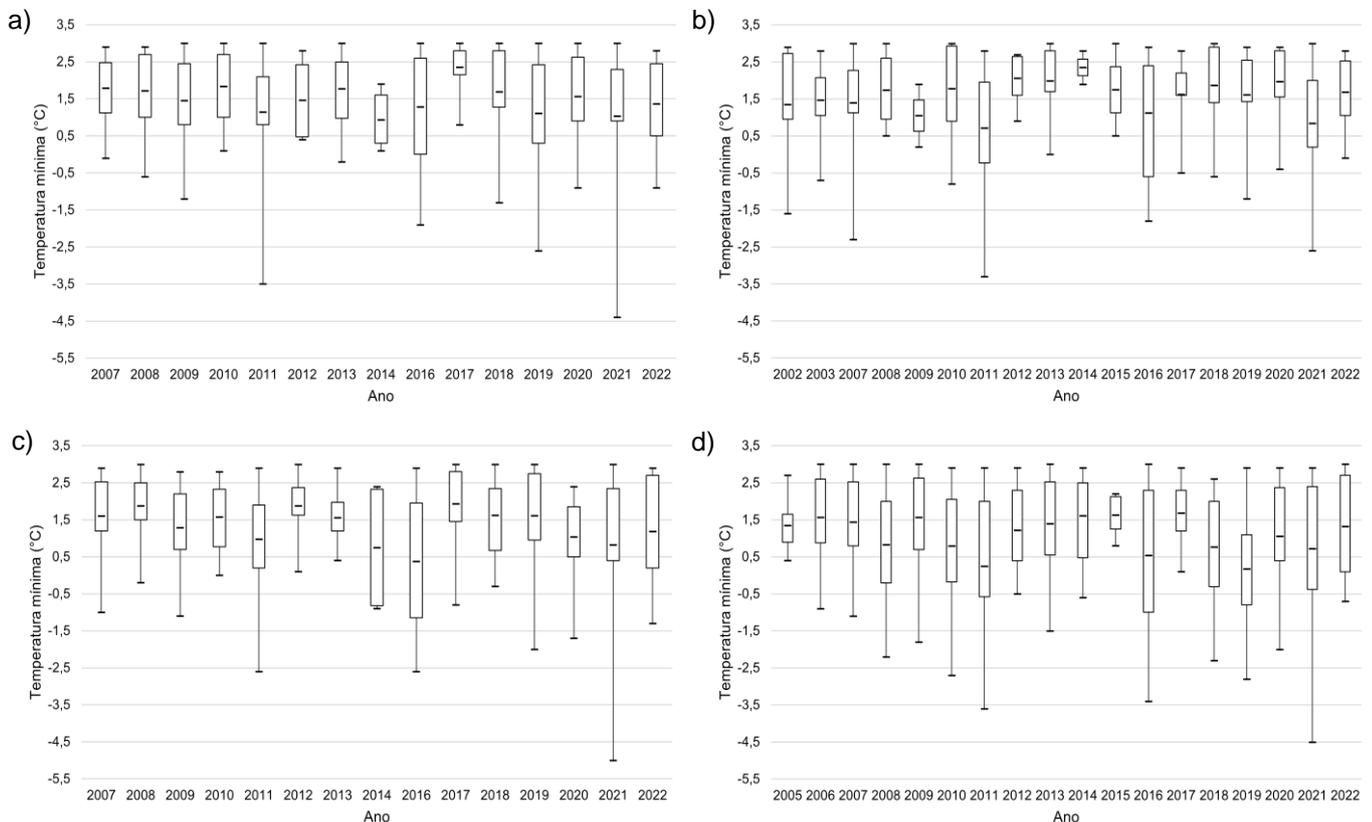


**Figura 3** – Casos mensais da ocorrência de geada nas quatro cidades estudadas e no período de 2002 a 2022.

### 3.2. Condições meteorológicas locais

Analisando os dados meteorológicos registrados em dias com ocorrência de geadas nos municípios analisados, observa-se, de forma geral, que o menor valor de temperatura registrado em todas as cidades consideradas esteve abaixo ou próximo de  $0^{\circ}\text{C}$ . Notavelmente, o ano de 2021 se destacou como o período com as temperaturas mínimas mais baixas, sendo registrado  $-5,0^{\circ}\text{C}$  em Maria da Fé (Figura 4c), seguido de  $-4,5^{\circ}\text{C}$  em Monte Verde (Figura 4d) e  $-4,4^{\circ}\text{C}$  em Caldas (Figura 4a). Por outro lado, em Campos do Jordão, a menor temperatura registrada foi em 2011, atingindo  $-3,3^{\circ}\text{C}$  (Figura 4b). Esses dados refletem a variação climática em cada localidade e evidenciam a ocorrência de condições frias extremas, especialmente como ocorreu no ano de 2021. Em relação ao maior valor entre os mínimos, verificou-se uma variação mais significativa. Os registros foram de  $0,8^{\circ}\text{C}$  em 2017,  $1,9^{\circ}\text{C}$  em 2014,  $0,4^{\circ}\text{C}$  em 2013 e  $0,8^{\circ}\text{C}$  em 2015, para as cidades de Caldas, Campos do Jordão, Maria da Fé e Monte Verde, respectivamente. Além disso, outro ponto a ser notado é o valor máximo da temperatura mínima, que esteve entre  $1,9^{\circ}\text{C}$  e  $3,0^{\circ}\text{C}$ . O menor valor máximo registrado foi de  $1,9^{\circ}\text{C}$  em Caldas no ano de 2014 (Figura 4a) e em Campos do Jordão em 2009 (Figura 4b), enquanto Maria da Fé registrou  $2,4^{\circ}\text{C}$  em 2014 e 2020 (Figura 4c) e Monte Verde  $2,2^{\circ}\text{C}$  em 2015 (Figura 4d). Considerando

as médias, é possível notar que os valores estão sempre próximos de  $1,0^{\circ}\text{C}$ , não sendo maiores que  $2,0^{\circ}\text{C}$  e nem menores que  $0,0^{\circ}\text{C}$ . Dessa forma, verifica-se um padrão no máximo da temperatura mínima nos dias de geada, que durante todo o período de estudo não excedeu  $3,0^{\circ}\text{C}$ .

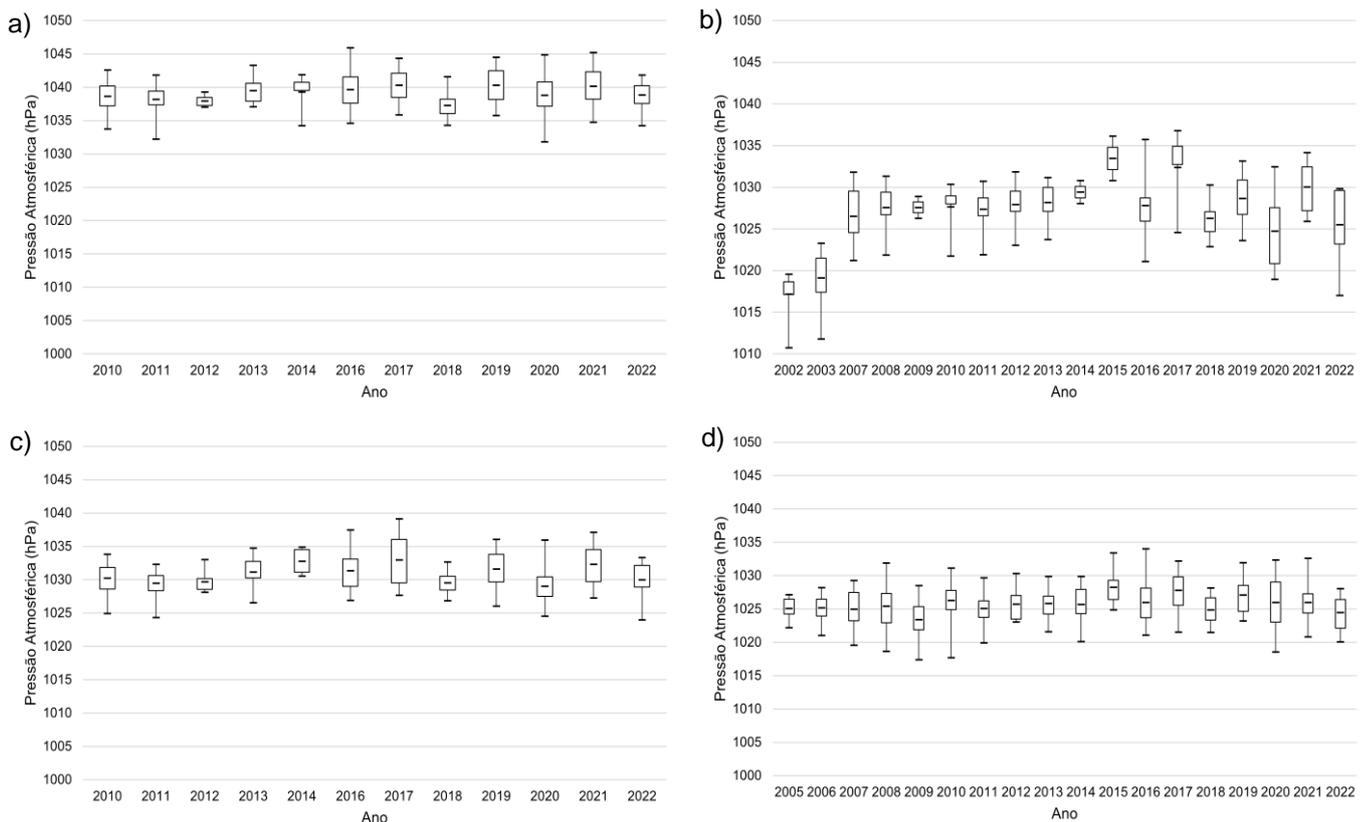


**Figura 4 –** *Boxplot* dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura mínima para as cidades: a) Caldas, b) Campos do Jordão, c) Maria da Fé e d) Monte Verde.

Considerando que este valor corresponde a temperatura do ar a 2 m, é importante destacar que existe uma diferença em relação à temperatura medida no abrigo meteorológico e à temperatura de relva, que é registrada na superfície do solo e determina a formação da geada. Essa variação depende das condições atmosféricas locais e da topografia e cobertura do solo, com uma diferença maior em noites de céu claro, pouco vento e baixa umidade do ar, fatores que propiciam a inversão térmica (FERREIRA et al., 2006). Por exemplo, em um estudo realizado em dez localidades de São Paulo, verificou-se que a diferença média de temperatura a 2 m e a temperatura de relva oscilou em  $4,1^{\circ}\text{C}$  (SENTELHAS et al., 1995), enquanto no Paraná, considerando oito regiões do estado, a diferença foi de  $5^{\circ}\text{C}$  (VIEIRA JUNIOR et al., 2018).

Em relação à pressão atmosférica ao nível médio do mar, verifica-se um padrão médio de valores mais altos de pressão. Nesse contexto, Campos do Jordão registrou

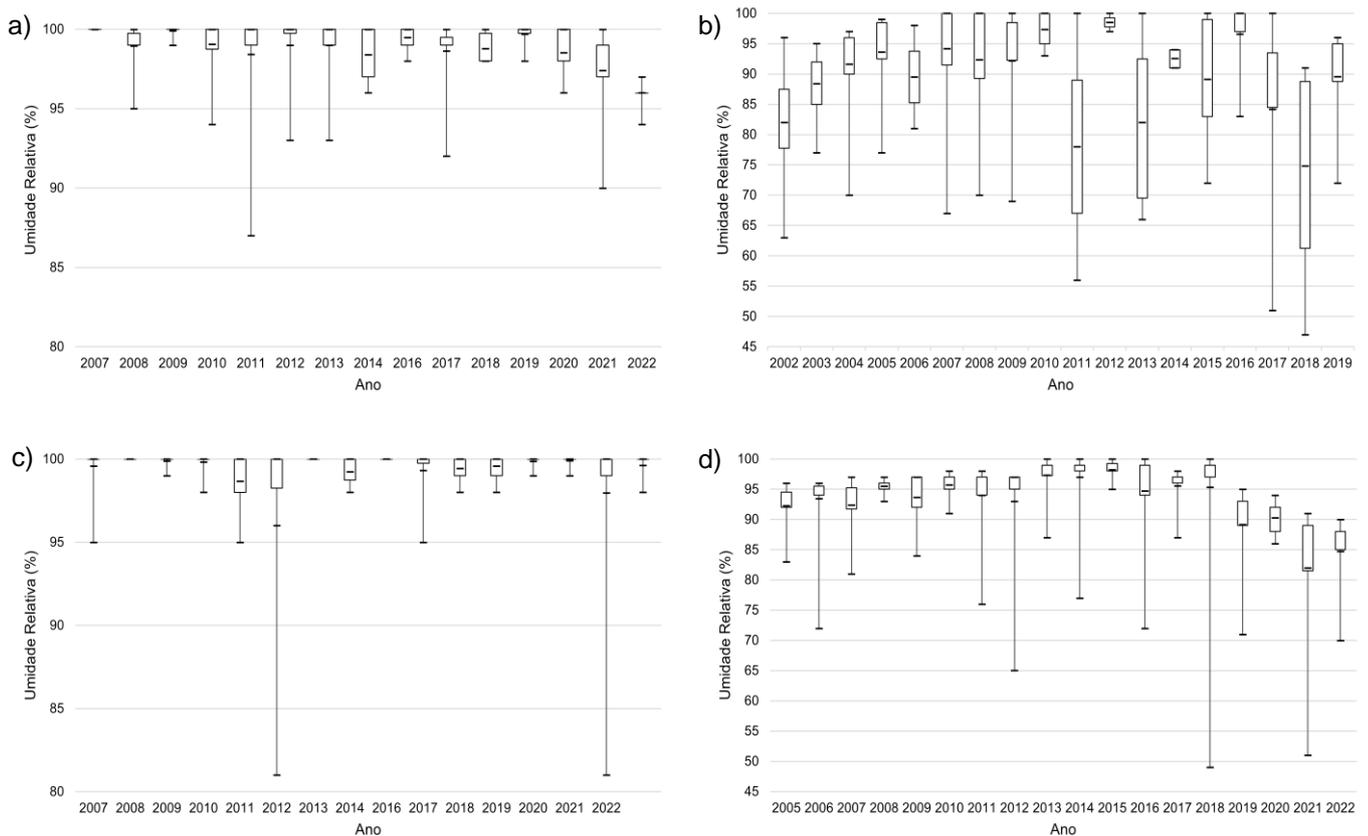
a pressão mínima em 2002 (Figura 5b), enquanto Caldas alcançou o valor máximo em 2016 (Figura 5a). Além disso, Caldas também se destacou pelas médias mais elevadas, com uma pressão média aproximada de 1039,1 hPa. Em contraste, Monte Verde apresentou as médias mais baixas, variando entre 1023,4 hPa e 1028,3 hPa, obtendo uma média de 1025,7 hPa (Figura 5d). Esse padrão de pressão mais elevada pode ser explicado devido à influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que durante o inverno do Hemisfério Sul, tende a se posicionar mais a oeste (REBOITA et al., 2012). Por ser um sistema de alta pressão, o ASAS contribui para condições climáticas estáveis e dias sem nuvens, favorecendo o resfriamento da superfície durante a noite, levando a uma redução significativa na temperatura mínima e criando condições ideais para a formação da geada (REBOITA et al., 2015; SILVA et al., 2014).



**Figura 5 – Boxplot dos valores mínimos, médios e máximos de pressão atmosférica para as cidades: a) Caldas, b) Campos do Jordão, c) Maria da Fé e d) Monte Verde.**

A umidade relativa também desempenha um papel crucial, uma vez que é um fator determinante sobre o tipo de geada a ser formada. Por exemplo, a geada branca tende a ocorrer em condições de alta umidade enquanto a geada negra é mais comum em ambiente de baixa umidade relativa (HIGA et al., 1995). Na região de Caldas, foi

observada uma predominância de valores de umidade acima de 87%, com uma média em torno de 99% (Figura 6a). Em Maria da Fé, dentre 192 ocorrências analisadas, apenas dois casos registraram umidade relativa próxima aos 80% (Figura 6c), enquanto os demais dias registraram valores acima de 90%. Ao examinar Campos do Jordão e Monte Verde, nota-se que registros de umidade acima de 80% são predominantes, mas ainda há alguns casos com valores mais baixos, próximos a 50% (Figura 6b, 6d).

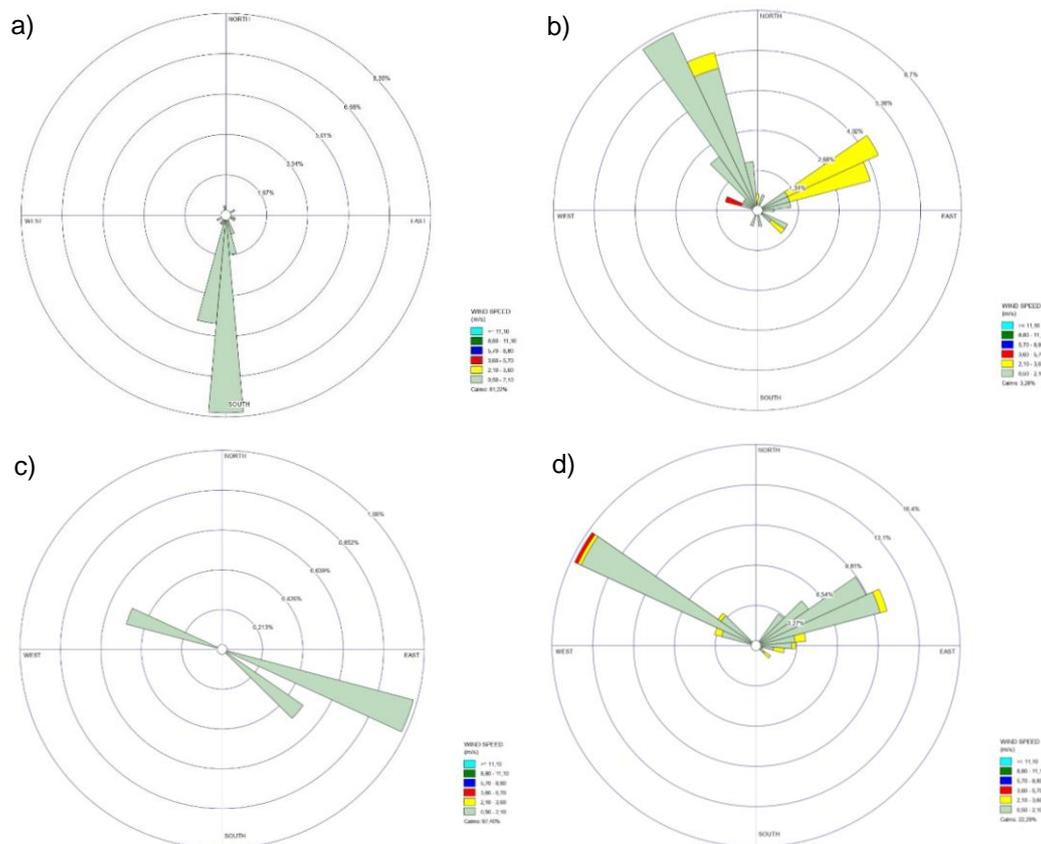


**Figura 6 – Boxplot dos valores mínimos, médios e máximos de umidade relativa para as cidades: a) Caldas, b) Campos do Jordão, c) Maria da Fé e d) Monte Verde.**

Ao se analisar as condições do vento predominantes em dias de ocorrência de geadas, pode-se notar que em todas as cidades predominam valores de velocidade do vento inferiores a 2,1 m/s. É importante destacar que, independentemente da localidade, a frequência de ocorrência diminui quando as velocidades ultrapassam 2,1 m/s. Em Caldas e Maria da Fé, por exemplo, foram registradas condições de calmaria, ou seja, ventos abaixo de 0,5 m/s, em 81,22% e 97,40% das ocorrências, respectivamente (Figura 7a, 7c), e que em ambas as cidades não foram verificadas ocorrências de geadas em condições de vento acima de 2,1 m/s. Para Campos do Jordão e Monte Verde também observam-se predominância de ventos abaixo de 2,1

m/s, contudo, ventos mais intensos também são registrados em dias de geada (Figura 7b, 7d).

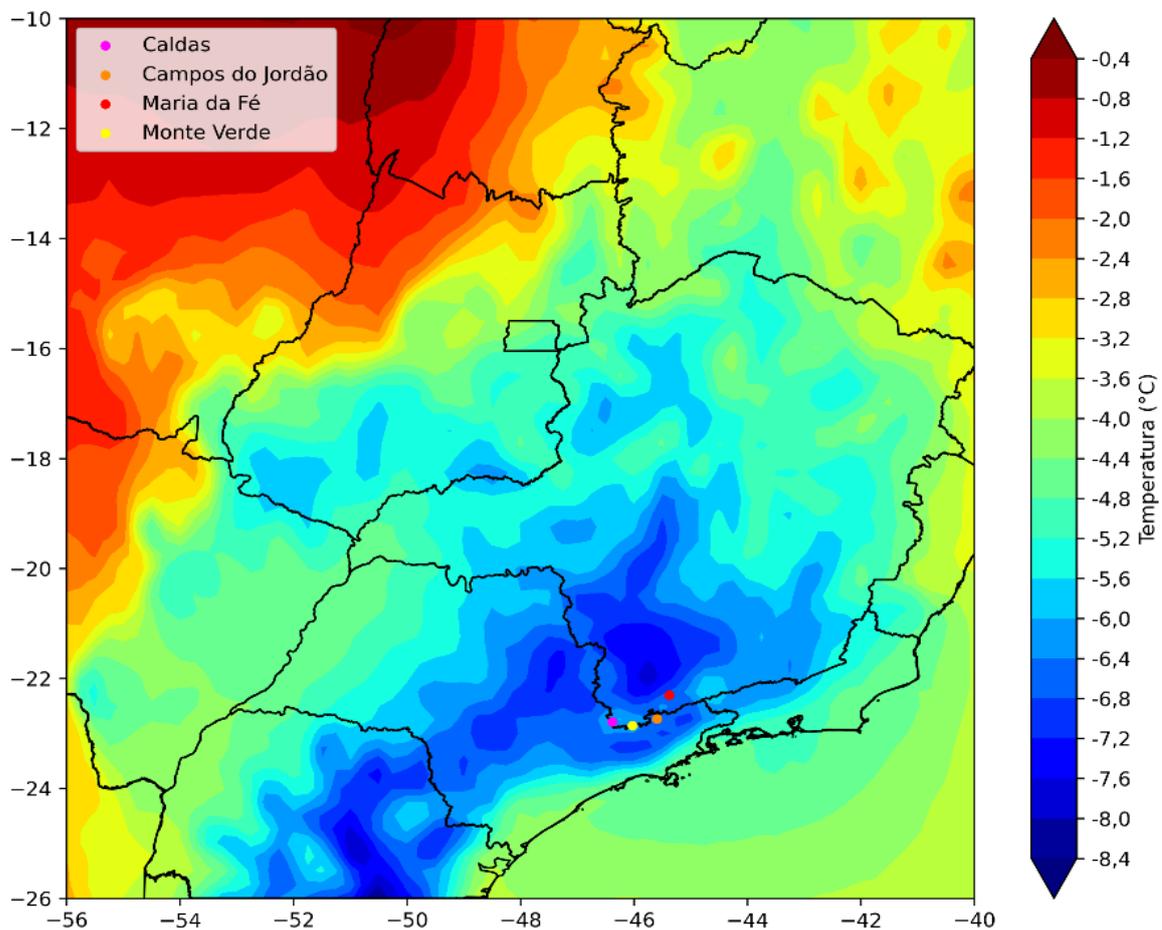
Em relação à direção do vento, que desempenha um papel relevante na advecção de ar frio, é possível verificar nas regiões de Campos do Jordão e Monte Verde predominância de ventos dos quadrantes noroeste e nordeste (Figura 7b, 7d), direções que em geral estão associadas com a atuação do ASAS na região. Em Maria da Fé são observados ventos predominantes de sudeste e noroeste (Figura 7c) enquanto em Caldas prevalecem ventos oriundos do quadrante sul (Figura 7a). Ventos de sul e sudeste podem estar associados com a atuação da alta pós-frontal, o que pode contribuir para a advecção de ar frio para a região. Isso corrobora os resultados obtidos por Sapucci et al. (2018), que revelaram que o ASAS exerce influência na direção dos ventos, favorecendo a predominância de ventos provenientes de norte durante sua atuação e que a presença de anticiclones pós-frontais também pode influenciar na direção dos ventos, resultando, neste cenário, em ventos predominantemente do quadrante sul.



**Figura 7** – Rosa dos ventos da velocidade e direção predominante do vento para as cidades: a) Caldas, b) Campos do Jordão, c) Maria da Fé e d) Monte Verde.

### 3.3. Análise das condições de escala sinótica

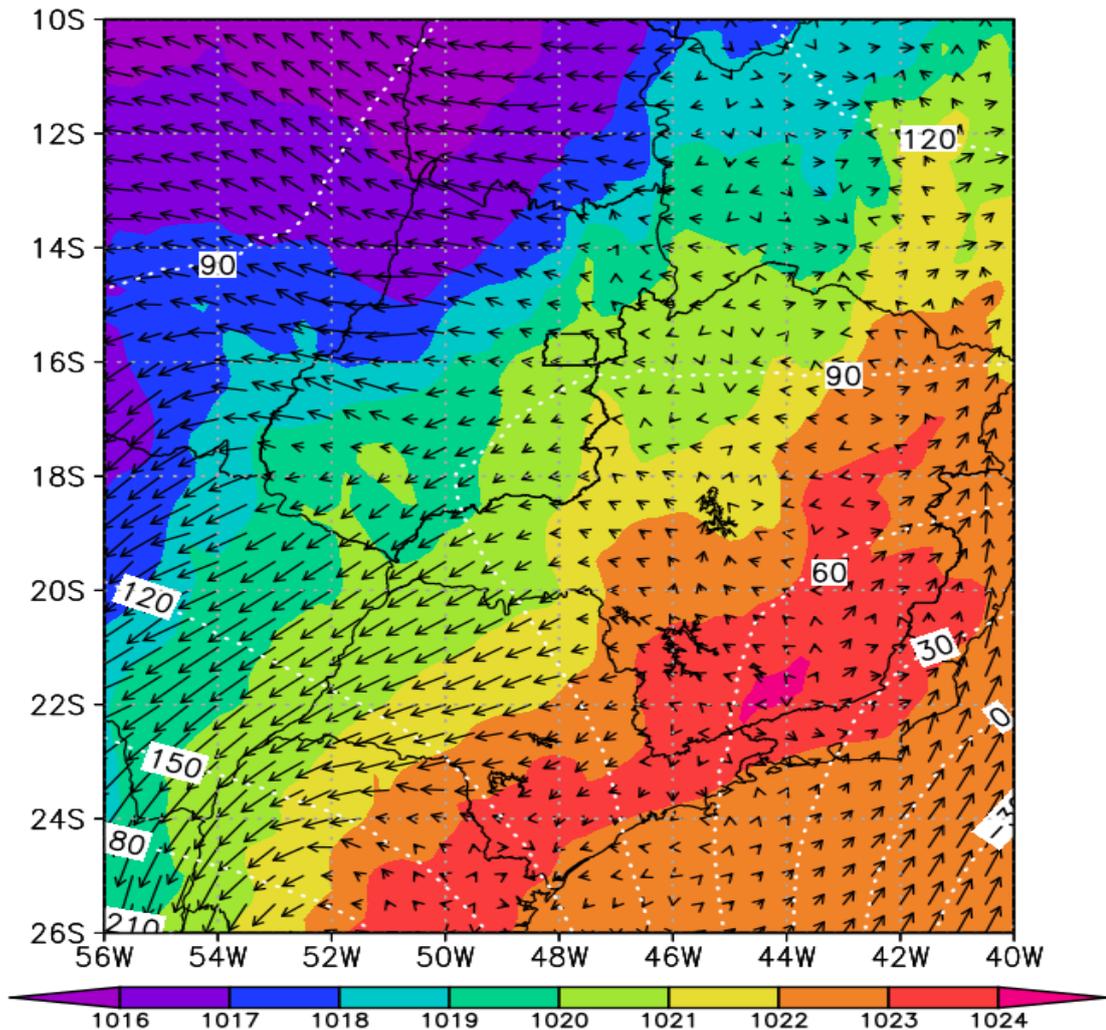
A anomalia de temperatura do ar em 925 hPa ilustrada na Figura 8 evidencia a presença de uma anomalia negativa na região de Serra da Mantiqueira. Essa anomalia reflete temperaturas medidas que estão abaixo do padrão ou média esperada para o período analisado (maio a setembro) com valores de aproximadamente  $-6,0^{\circ}\text{C}$ , o que sugere um período de resfriamento acentuado em comparação com as condições climáticas usuais da região. É importante destacar que nas cidades consideradas, a média da Tmin registrada na superfície, nos dias com geada, ficou próxima de  $1,5^{\circ}\text{C}$  (Figura 4).



**Figura 8** – Anomalia de temperatura em 925 hPa às 0900 com as cidades de estudo representadas pelos pontos.

A Figura 9 revela um padrão atmosférico caracterizado por anomalias positivas de alta pressão na região, com uma média da PNMM de 1023 hPa. Além disso, a anomalia de geopotencial revela um aumento de 60 a 90 m em relação à média, indicando a atuação de sistemas de alta pressão. Esses fatores estão associados com

a atuação do setor oeste do ASAS em superfície, o que contribui ainda mais para condições estáveis e indica uma atmosfera menos propensa a perturbações. Outro ponto a ser analisado é a anomalia do vento, que apresenta velocidade baixa e direção predominante de quadrante norte, o que também confirma a atuação do anticiclone na região (BASTOS e FERREIRA, 2000).

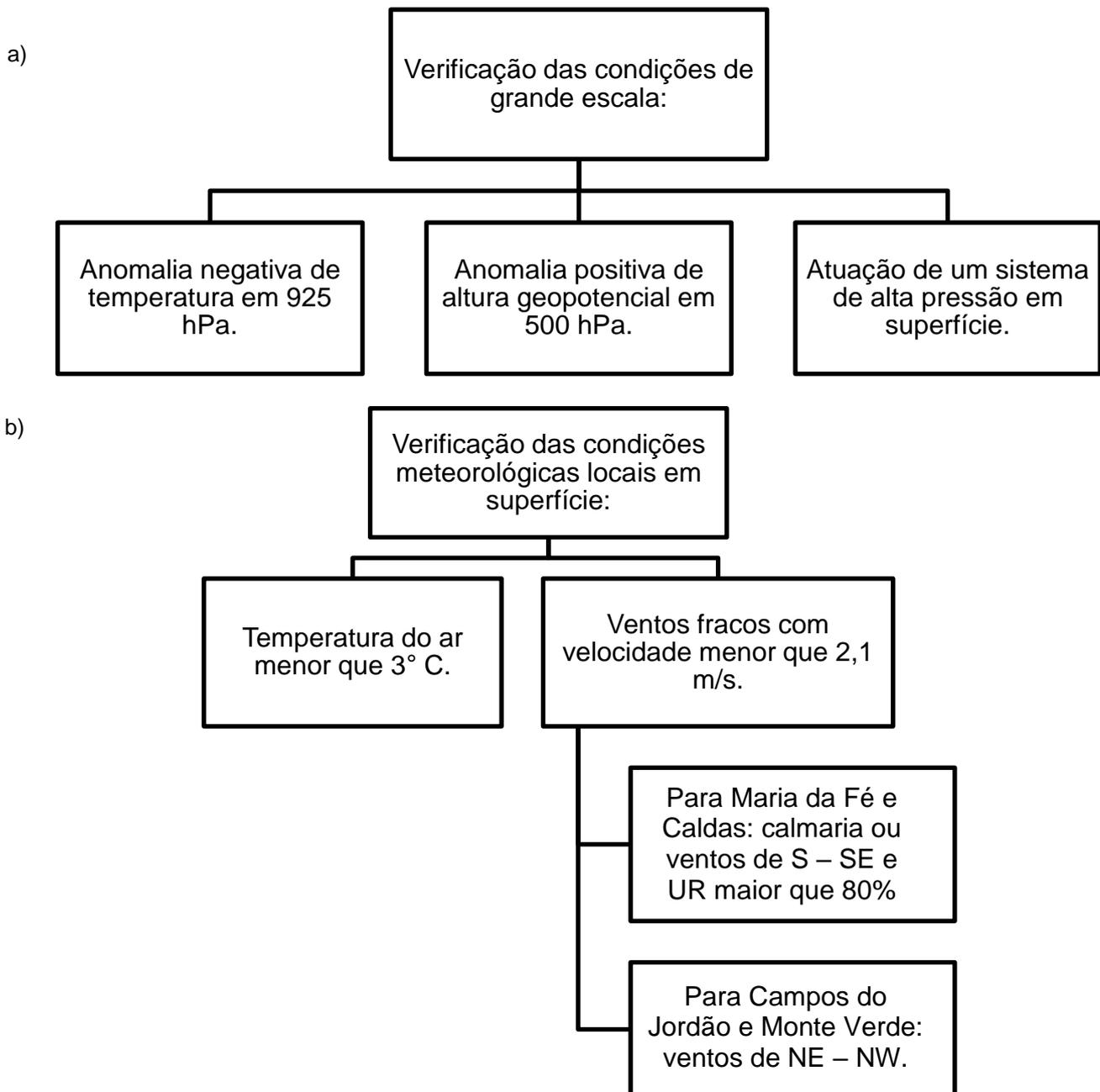


**Figura 9** – Composição de média de pressão ao nível médio do mar (hPa) em shaded, anomalia de geopotencial (m) em pontilhado branco e direção e velocidade do vento em 925 hPa (m/s) em vetores.

De maneira geral, a presença de anomalia negativa de temperatura e a anomalia positiva de geopotencial na região também foram constatadas nos resultados de Sapucci et al. (2018), confirmando assim, um padrão de grande escala que influencia a formação da geada na região. Além desses fatores, outras condições meteorológicas podem influenciar ou intensificar a ocorrência de geadas, tais como a presença de cristas e cavados em níveis médios sobre o Brasil, assim como a incursão de massas de ar polar e ondas de frio (ALGARVE, 1996; CAPUCIN, 2021).

### 3.4. Modelo conceitual para a previsão de geadas

A partir dos resultados encontrados nesse estudo, foi desenvolvido o modelo conceitual para a previsão de geadas na região da Serra da Mantiqueira ilustrado na Figura 10. O modelo apresenta condições gerais que, caso atendidas, já indicam a possibilidade da ocorrência de geada na região, além de condições meteorológicas específicas que podem ser avaliadas para a emissão de alertas para as cidades consideradas por este estudo.



**Figura 10** – Fluxograma representando os requisitos para a verificação de: a) condições de grande escala e b) condições meteorológicas locais em superfície.

## 4. CONCLUSÃO

Após investigar a frequência da ocorrência de geadas nas cidades Caldas-MG, Campos do Jordão-SP Maria da Fé-MG e Monte Verde-MG, localizadas na Serra da Mantiqueira, entre os anos de 2002 e 2022, constatou-se que a cidade com maior número de ocorrências de geadas nesse período foi Monte Verde, com média de 19 casos por ano. Considerando os totais anuais de todas as cidades, 2021 foi o ano com maior número de registros, com destaque para o mês de julho, com média de 8 casos/mês e máxima de 27 casos/mês.

A formação da geada requer a atuação de um sistema de alta pressão no sudeste do Brasil e que a anomalia seja negativa para a temperatura em 925hPa e positiva para a altura geopotencial em 500 hPa. Além disso, em superfície, é necessário que os ventos sejam fracos ou estejam em calmaria, enquanto a temperatura do ar deve ser menor que 3° C. Para trabalhos futuros recomenda-se a aplicação do método para a verificação de sua eficácia na previsão de geadas.

## 5. REFERÊNCIAS

- AHRENS, C. D.; HENSON, R. *Meteorology Today: An introduction to weather, climate and the environment*. 12ª edição. Estados Unidos da América: Cengage, 2017.
- ALGARVE, V. R. Geadas no Brasil. **Climanálise Especial**, p. 123-128, 1996.
- ALVARES, C. A.; SENTELHAS, P. C.; STAPE, J. L. Modeling monthly meteorological and agronomic frost days, based on minimum air temperature, in Center-Southern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 134, p. 177-191, 2018.
- ALVES, F. D.; LINDNER, M. Agronegócio do café no sul de Minas Gerais: territorialização, mundialização e contradições. **Revista OKARA: Geografia em Debate**, v. 14, n. 2, p. 433-451, 2020.
- BACHI, L. M. G. S. **Paisagem e turismo: mapeamento e modelagem dos serviços ecossistêmicos culturais do distrito de Monte Verde, em Camanducaia/MG**. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Gestão da Paisagem) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2018.
- BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. In: Congresso Brasileiro De Meteorologia, XI, 2000. Rio de Janeiro. **Anais[...]**. Rio de Janeiro, p. 612-619, 2000.
- BUSSONI, C. V. A.; MOREIRA, D. S.; MACHADO, J. P. Avaliação do modelo WRF para a aplicação de um Índice de Previsão de Geada na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 3, p. 279-287, 2022.

CAPUCIN, B. C. **Análise sinótica e de grande escala de ondas de frio extremas no sudeste do Brasil no século XX**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2021.

CCCMG – Centro do Comércio de Café do Estado de Minas Gerais. **Notícias**, [2020]. Disponível em: [Notícias – Centro do Comércio de Café do Estado de Minas Gerais \(cccmg.com.br\)](http://noticias.cccmg.com.br). Acesso em: 10 mai. 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Portal de Informações Agropecuárias: produtos 360°**, [2023]. Disponível em: [Conab - Portal de Informações Agropecuária](http://conab.gov.br). Acesso em: 10 mai. 2023.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, [2010]. Disponível em: [C:\Climanalise\2010\PageMaker\0 \(inpe.br\)](http://climanalise.inpe.br). Acesso em: 18 set. 2023.

EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. **Portal do site de notícias**, [2021]. Disponível em: [Emater-MG faz levantamento de áreas produtoras de café atingidas pela geada da última semana](http://emater-mg.gov.br). Acesso em: 10 mai. 2023.

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. **Notícias da Agropecuária Mineira**, [2021]. Disponível em: [EPAMIG – Notícias da agropecuária mineira. \(wordpress.com\)](http://epamig.com.br). Acesso em: 11 mai. 2023.

ERA5 – *Fifth Generation of ECMWF Atmospheric Reanalysis*. **Copernicus Climate Change Service**, [2023]. Disponível em: [Search results \(copernicus.eu\)](https://cds.clms.copernicus.eu). Acesso em: 24 mar. 2023.

FERREIRA, C. F.; FONTANA, C. F.; BERLATO, M. A. Relação entre a temperatura mínima do ar medida no abrigo meteorológico e na relva no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 1, p. 53-63, 2006.

GARCIA, J. R. M. Explorando técnicas de aprendizado de máquina para aprimoramento da previsão de geada no sul e sudeste do Brasil. In: **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agroinformática**. SBC, 2021. p. 144-153.

HERSBACH, H.; ROSNAY, P.; BELL, B.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A.; SOCI, C. et al. Operational global reanalyses: progress, future directions and synergies with NWP. In: ERA Report Series, ECMWF, 2018.

HIGA, A. R.; GARCIA, C. H.; SANTOS, E. T. Geadas, prejuízos à atividade florestal. **Silvicultura**, v.15, n. 58, p. 40-43, 1994.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**, [2015]. Disponível em: [cidades.ibge.gov.br/brasil/mg](http://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg). Acesso em: 24 jun. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **DTB: Divisão Territorial Brasileira**, [2022]. Disponível em: [Divisão Territorial Brasileira | IBGE](#). Acesso em: 11 mai. 2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos**, [2023]. Disponível em: [Instituto Nacional de Meteorologia - INMET](#). Acesso em: 18 mar. 2023.

KIM, H.; KIM, J. M.; KIM, S. Frost forecasting considering geographical characteristics. **Advances in Meteorology**, 2022.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 129-156, 2018.

MARTINS, H. S.; GUIMARÃES, T. E. P.; NOGUEIRA, T. A importância do café na economia do sul de Minas. UNIFEOP, 2022.

MARTINS, M. E. G. Quartis. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 4, 2014.

NERY, J. T. Dinâmica climática da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 61-75, 2005.

OLIVEIRA, T. P. **Diagnóstico e análise de ondas de calor e de frio em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia, Climatologia de Meso e Grande Escalas) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2019.

PELISSARI, G.; ROMANIUC NETO, S. Ficus (Moraceae) da Serra da Mantiqueira, Brasil. **Rodriguésia**, v. 64, p. 91-111, 2013.

PEREIRA, R. A. A.; FREITAS, C. H.; CAMPOS, B.; CARVALHO, V. S. B.; MARTINS, F. B. Utilização do modelo WRF para simulação de episódios de geada registrados na região de Maria da Fé, Minas Gerais. In: IX WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 2015, Santa Maria, RS.

PRABHA, T.; HOOGENBOOM, G. Evaluation of the Weather Research and Forecasting model of two frost events. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.64, n. 2, p. 234-247, 2008.

REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G.; LOPES, V. S. Climatologia sinótica de eventos de ondas de frio sobre a região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 72-92, 2015.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 206-226, 2015.

ROZANTE, J. R.; GUTIERREZ, E. R.; DIAS, P. L. S.; FERNANDES, A. A.; ALVIM, D. S.; SILVA, V. M. Development of an index for frost prediction: Technique and validation. **Meteorological Applications**, v. 27, n. 1, p. e1807, 2020.

SANTOS, A. P. P.; GONÇALVES, J. P.; FERREIRA, J. A. S.; SANTOS, S. R. Q. Previsão de geada para a região sul do Brasil: uma avaliação do Modelo ETA 15 km durante o outono de 2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n.1, p. 100-109, 2013.

SAPUCCI, C. R.; REBOITA, M. S.; CAVALHO, V. S. B.; MARTINS, F. B. Condições meteorológicas para a ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira, região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, (Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais), p. 153-167, 2018.

SENTELHAS, P. C.; ORTOLAN, A. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geada. **Revista Bragantia**, v. 54, n. 2, p. 437-445, 1995.

SILVA, L. J.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. Relação da passagem de frentes frias na região sul de Minas Gerais (RSMG) com a precipitação e eventos de geada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n.1, p. 229-246, 2014.

SILVA, M. P. **De gado a café: as ferrovias no sul de Minas Gerais (1874-1910)**. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de Concentração História Econômica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.

SIMÕES, D. S. **Ambiente físico e meteorológico para análise do risco de geada**. 2015. 133 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. Versão digital, 2. Recife, 2006.

VIERA JUNIOR, N. A.; CARAMORI, P. H.; SILVA, M. A. A.; NITSCHKE, P. R. Minimum temperature differences between the meteorological screen and grass in radiative frost nights. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 6, p. 2337-2350, 2018.